

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Державний університет інфраструктури та технологій

МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ УКРАЇНИ
Державне підприємство „Український науково-дослідний інститут вагонобудування”

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Державний університет інфраструктури та технологій

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ФЕДОСОВ-НИКОНОВ ДМИТРО ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

УДК 629.463.62.023

ДИСЕРТАЦІЯ

**ПОКРАЩЕННЯ МІЦНІСНИХ ЯКОСТЕЙ ДОВГОБАЗНИХ
ВАГОНІВ-ПЛАТФОРМ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ЇХ
КОНСТРУКЦІЙ ТА МЕТОДІВ РОЗРАХУНКІВ**

Спеціальність 05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів
Галузь знань 27 - Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

_____ Д.В. Федосов-Ніконов

Науковий керівник:
Фомін Олексій Вікторович,
докт. техн. наук, доцент

Київ – 2018

АНОТАЦІЯ

Федосов-Ніконов Д.В. Покращення міцнісних якостей довгобазних вагонів-платформ шляхом удосконалення їх конструкцій та методів розрахунків.
– Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.07 – Рухомий склад залізниць і тяга поїздів. – Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, 2018.

Дисертація присвячена актуальному питанню підвищення динаміко-міцносних показників довгобазних вагонів-платформ.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в наступному.

Вперше:

- створена процедура оцінювання НДС рами довгобазного вагона-платформи в залежності від різних видів експлуатаційних навантажень, яка на відміну від існуючих враховує особливості вантажів (контейнерів різних типорозмірів, труб і т. д.) що плануються до перевезень;

- розроблений метод уточненої оцінки коефіцієнта запасу опору втомі в залежності від конструктивного варіанту рами довгобазного вагона-платформи.

Удосконалено:

- розрахункову модель для визначення та дослідження напружено-деформованого стану довгобазного вагона-платформи в частині формування експлуатаційних навантажень з урахуванням реальних величин вертикальних збуджень зі сторони колії;

- математичну модель просторових коливань довгобазної платформи, яка на відміну від існуючих дозволяє оцінювати разом з динамічними показниками й показники опору втомі.

Набула подальшого розвитку:

- процедура визначення раціональних параметрів несучих елементів конструкції довгобазних вагонів-платформ з урахуванням різних схем завантаження контейнерами та іншими вантажами.

Основні наукові результати, отримані при виконанні дисертаційної роботи, були використані при проектуванні та виготовленні довгобазних платформ на підприємствах ПАТ „Крюківський вагонобудівний завод” та ПАТ „Дніпровагонмаш”. На кафедрі «Вагони та вагонне господарство» ДУІТ та у ДП «УкрНДІВ» результати дисертаційної роботи використовуються під час розробки методик, проведення та опрацювання результатів експериментальних досліджень на міцність та опір втомі вантажних вагонів (підтверджується актами впровадження результатів дисертаційної роботи, які наведені в додатку).

Відповідно до теми дисертації опубліковано 9 основних наукових праць у формі статей (7 в фахових наукових виданнях України, в тому числі, 1 з них без співавторів, 2 включено до міжнародних науково-метричних баз), 1 опубліковано одноосібно в іноземному видавництві, що включено до міжнародних науково-метричних баз, 10 праць апробаційного характеру в формі тез доповідей на конференціях, 3 праці, які додатково відображають наукові результати дисертації.

У вступі розглянуто та обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження та їх зв'язок з науковими програмами планами та темами. Вказано методи досліджень, достовірність отриманих результатів, визначено наукову новизну дисертації, практичне значення та особистий внесок автора. Наведено данні про апробацію результатів роботи, публікації та доповіді на науково-практичних конференціях.

Перший розділ присвячено розгляду та аналізу конструктивних особливостей довгобазних платформ. Для вибору перспективних конструктивних рішень та визначення раціональних параметрів сучасних вагонів-платформ виконана класифікація вагонів-платформ для перевезення контейнерів з метою аналізу світового досвіду виробництва платформ. Розглянуто конструктивне виконання елементів рам сучасних вагонів-платформ.

Проведений аналіз пошкоджень довгобазних платформ. Встановлені фактори, які суттєво впливають на міцність конструкції довгобазної платформи. Розглянуті заходи для зменшення коефіцієнта концентрації напружень в елементах конструкції, які необхідно враховувати при виробництві довгобазних платформ. Враховуючи досвід провідних наукових організацій, українських та сві-

тових вчених, зроблено висновок, що тільки проведення експериментальних досліджень у повному комплексі дозволять отримати достовірну інформацію щодо напружень, деформації та міцності елементів конструкцій довгобазних платформ.

У другому розділі приведені експериментальні та теоретичні дослідження динамічних і міцнісних якостей довгобазних вагонів-платформ. Розглянуті наступні питання: програма і методика випробувань, вимірювальна апаратура, яка використовувалася при проведенні випробувань, методи випробувань та порядок їх проведення, обробка даних, оцінка їхньої точності. Приведені результати випробувань. Отримані негативні результати ходових міцнісних випробувань свідчать про необхідність проведення теоретичних досліджень.

Для проведення теоретичних досліджень була сформована математична модель просторових коливань вантажного вагона, яка передбачає розгляд коливань чотиривісного вантажного вагона, що виникають внаслідок його руху по ізольованій нерівності колії. Для формування математичної моделі просторових коливань вантажного вагона спочатку було виконано опис розрахункової схеми.

Для оцінки динамічного навантаження окремих елементів вагона і вагона в цілому були визначені зусилля, що діють між окремими елементами вагона. Це в подальшому використано при оцінці міцнісних властивостей рами вагона-платформи.

При формуванні розрахункової математичної моделі для визначення напружено-деформованого стану платформи при її русі по залізничній колії розглядалися тільки вертикальні коливання без урахування поздовжньої і поперечної динаміки, так як в даному дослідженні виконується оцінка вертикального навантаження вагона-платформи.

Проведено аналіз схем навантаження. Вибрані розрахункові режими навантаження, підготовлені вихідні дані для проведення розрахунків перехідних динамічних процесів повним методом з метою визначення напружено-деформованого стану рами вагона-платформи, а також виконаний необхідний для аналізу і оцінки обсяг розрахунків.

У третьому розділі визначені вихідні дані для розрахунку. Прийнята розрахункова схема і допущення та виконано розрахунок оцінки міцності несучих елементів конструкції вагона-платформи для великотоннажних контейнерів і труб моделі 13-7031 на відповідність вимогам нормативної документації.

Наведено кінцево-елементну модель рами вагона. Обрано систему координат. В якості глобальної системи координат при складанні розрахункової схеми була обрана права, декартова система з центром на поздовжній вісі вагона в площині нейтральної вісі лобової балки. Вісь X системи координат спрямована уздовж поздовжньої вісі вагона, вісь « Y » -вертикально вгору.

Для розрахунку використовувалися кінцеві елементи типу SHELL 63. Використані кінцеві елементи мають квадратичні функції форми і шість ступенів свободи в кожному вузлі, переміщення вздовж осей x , y , z і повороти навколо цих осей.

Отримані результати напружено-деформованого стану рами вагона для I і III режимів, режиму співудару та ремонтних режимів підйомки двома домкратами. Проведено вибір розрахункових схем.

З метою вибору схем завантаження для кінцево-елементного аналізу були визначені згинальні моменти для можливих схем завантаження контейнерами. Розглянуті схеми розміщення вантажу та величини згинальних моментів.

Визначені найбільші згинальні моменти в середній частині та для консольної частини. Пристосування для кріплення труб мають надійну конструкцію і забезпечують утримання труб в поздовжньому напрямку при співударах з зусиллям до 3,5 МН. Торцевий щит служить для запобігання неприпустимого переміщення труб при наднормативних співударах, які виникають в аварійних ситуаціях. Тому напруження в елементах конструкції торцевого щита при нормальних умовах експлуатації значно нижче допустимих та їх дослідження недоцільно.

Проведений аналіз результатів розрахунку. Розрахункові напруження при основних нормативних розрахункових режимах були отримані шляхом додавання до кінцево-елементної моделі рами вагона комбінацій навантажень згідно вимогам нормативної документації.

Оцінка відповідності конструкції рами довгобазного вагона-платформи вимогам "Норм ..." за I та III режимами, режиму співудару і ремонтних режимів проводилася шляхом порівняння розрахункових еквівалентних напружень з допустимими величинами згідно "Норм...".

Визначений напружено деформований стан рами вагона для I і III режимів, режиму співудару і ремонтних режимів підйомки двома домкратами.

Наведено значення еквівалентних напружень, отриманих при розрахунку і при проведенні статичних випробувань.

У четвертому розділі проведений розрахунок елементів рами на втому для випадку дії на неї максимально допустимих навантажень в перерізах з високим рівнем знакозмінних напружень. Статичні напруження від сили ваги бруто вагона були отримані з розрахунку методом кінцевих елементів з використанням програми ANSYS. Розрахунок проведено по чотирьом варіантам завантаження, при яких маємо найбільший згинальний момент, визначений у розрахунку на міцність.

Визначений напружено-деформований стан вагона від дії сили ваги бруто та коефіцієнт запасу опору втомі в зонах, в яких стався злам при проведенні стендових випробувань.

При проведенні стендових випробувань руйнування були виявлені в двох зонах: в перерізі I-I в зоні закінчення накладки і в перерізі III-III хребтової балки на прорізі для горизонтального важеля автогальма. Визначений напружено-деформований стан цих зон при завантаженні двома 40-футовими контейнерами. Наведені результати розрахунку. Отримані значення коефіцієнта запасу опору втомі менше допустимого $[n] = 1,5$. Проведено підсилення зон руйнування.

Для зони руйнування в перерізі I-I проведено видалення накладки на нижньому поясі, що дозволило знизити концентрацію напружень біля шва і зменшити коефіцієнт концентрації з 5,0 до 2,5.

Для зони руйнування по вікну в перерізі III-III проведено перенесення стикового шву підсилюючого обода в зону з більш низькими напруженнями, що дозволяє знизити рівень напружень з 66,1 МПа до 5,1 МПа. Проведено розрахунок зон руйнування на опір втомі. Отримано позитивні результати.

ANNOTATION

Fedosov-Nikonov D. V. Improvement of strength qualities of long-wheelbase flat wagons by improvement their design and calculation methods. - Qualifying scientific work as a manuscript.

The dissertation in support of candidature for a technical degree (Ph.D) on a speciality 05.22.07 – Railway rolling stock and traction of trains. - State University of Infrastructure and Technology, Kyiv, 2018.

The thesis work is devoted to the topical issue of improving the strength and dynamics parameters of long-wheelbase flat wagons.

The scientific novelty of the thesis is as follows.

First:

-a procedure for strain- stress state evaluation in the frame of the long-wheelbase flat wagons depending on different types of operating loads (containers of various dimension type, pipes, etc.) is elaborated.

- a method of the improved estimation of the safety factor of fatigue strength depending on the design of the frame platform is developed.

Advanced:

- a calculation model of the stress-strain state of the long-wheelbase flat wagon in regard to the formation of the operation loads considering the actual vertical excitation induced by the track;

- mathematical model of spatial oscillations of the long-wheelbase flat wagon, which, in contrast to the existing models, allows to evaluate fatigue strength parameters along with dynamic parameters and

Further developed:

- the procedure for determination of rational parameters of the load carrying structure elements of the long-wheelbase flat wagon considering the various load paths with containers and other cargoes.

The main scientific results obtained due to this thesis were used for the design and manufacture of long-wheelbase flat wagons in the enterprises of PJSC "Kryukov Railway Car Building plant" and PJSC "Dneprovagonmash". At the Department of "Cars and carriage facilities" DUIT and DP "UkrNDIV" the results of the thesis are used for the development of procedures, obtaining and processing the results of experimental strength and fatigue studies of freight wagons (proved by the acts of implementation of the results of the thesis, which are given in the Annex).

7 scientific papers are published under the thesis topic in the form of articles (7 in field-specific magazines of Ukraine, including 1 article written without co-

authors, 2 included in the international scientific and metric databases), 1 published alone in a foreign publishing house, which is included in the international scientific and metric databases, 10 approbatory works in the form of abstracts at conferences, 3 papers which additionally present the research findings.

In the introduction the importance of the thesis theme is considered and justified, the purpose and objectives of the study and their relationship with scientific programs, plans and topics are formulated. Methods of research, reliability of results, scientific novelty of the thesis, the practical value and personal contribution of the author are presented. Information related to evaluation of results, publications and speaker papers at research and practice conferences.

The first section is devoted to the consideration and analysis of structural features of the long-wheelbase flat wagon. The classification of flat wagons for containers transportation is completed for the purpose of analysis of world experience of flat wagons manufacture and selection of perspective design solution and determination of rational parameters of modern flat wagons. The structural design of modern flat wagons frame components is investigated.

The analysis of damages of long-wheelbase flat wagons is carried out. The factors that significantly affect the structural strength of the long-wheelbase flat wagon are determined. Measures to reduce the coefficient of stress concentration in structural elements that must be taken into account in manufacture process of long-wheelbase flat wagons are considered. Taking into account the experience of leading scientific institutions, Ukrainian and world scientists, it is concluded that only full scale experimental studies will allow to obtain reliable information on stresses, deformation and strength of structural elements of long-wheelbase flat wagons.

The second section presents experimental and theoretical studies of the dynamic and strength qualities of long-wheelbase flat wagons. The following issues are covered: the program and methods of testing, measuring equipment that was used for the tests, test methods and test programm, data processing, evaluation of their accuracy. The results of the tests are presented. The obtained negative results of running strength tests indicate the need for theoretical studies.

For the purpose of theoretical studies mathematical model of spatial oscillations of a freight wagon, which includes consideration of a four-axle freight wagon resulting from its movement on the isolated irregularities of the track is set up. To generate a mathematical model of spatial oscillations of a freight wagon the description of calculation procedure was first completed.

To assess the dynamic loading of individual elements of the wagon and the wagon as a whole, the forces acting between the individual elements of the wagon

were defined. This is further used for the assessment of the strength properties of the flat wagon frame.

For the formation of the computational mathematical model for determining the stress-strain state of the flat wagon moving along the railway track, only vertical oscillations were considered without taking into account longitudinal and transverse dynamics, since the evaluation of the vertical load of the flat wagon is carried out in this study.

The analysis of loading paths is carried out. The selected load modes, the initial data for the calculations of the transient processes of the full method to determine the stress-strain state of the frame of the flat wagon, as well as the need for the analysis and evaluation of the volume of calculations.

The third section defines the initial data for the calculation. The accepted calculation procedure and assumptions and the calculation of the strength evaluation of the load carrying elements of the flat car for large-capacity containers and pipes of model 13-7031 for compliance with the requirements of the regulatory documents.

The finite element model of the flat wagon frame is given. The system of coordinates was selected. As a global coordinate system the right-hand, Cartesian system centered on the longitudinal axis of the flat wagon in the plane of the neutral axis of the frontal beam was chosen for the preparation of the design scheme. The x-axis of the coordinate system is directed along the longitudinal axis of the flat wagon, the Y-axis is vertically upwards.

Finite elements of the SHELL 63 type were used for the calculation. The finite elements used have quadratic shape functions and six degrees of freedom at each node, displacements along the x, y, z axes, and rotations around these axes.

The results of the stress-strain state of the flat wagon frame for I and III modes, collision mode and repair modes of two jacks are obtained. The choice of design schemes is made.

In order to select load schemes for finite element analysis, bending moments were determined for possible loading schemes by the containers. The schemes of placing of the goods and the value of the bending moments are considered.

The greatest bending moments in the middle part and for the con-Sol part are determined. A device for fixing pipes have a reliable racalibre, and ensure the retention of tubes in the longitudinal direction under impacts with a force of 3.5 MN. The end shield is used to prevent unacceptable pipe displacements under exceptional impacts that arise in emergency situations. Therefore, the voltage in the structural elements of the end shield under normal operating conditions is much lower than acceptable one and their study is impractical.

The analysis of calculation results is carried out. The calculated stresses under the basic standard design conditions were obtained by adding load combinations to the finite element model of the flat wagon frame in accordance with the requirements of regulatory documentation.

Conformity assessment of the frame structure of long-wheeled flat wagon with the requirements of "Standards ...I and III modes, impact mode and repair modes was carried out by way of comparison of the calculated equivalent stresses with the acceptable values in accordance with the "Standards...".

A specific stress-strain state of the wagon frame for I and III modes, impact mode, and the repair modes by lifting with two jacks.

The values of equivalent stresses obtained during calculation and static tests are given.

In the fourth section, the calculation of the frame elements on the second for the case of the maximum permissible loads in sections with a high level of alternating stresses. Static stresses from the weight of the bruto wagon were obtained from the finite element calculation using ANSYS software. The calculation is carried out according to four variants of loading, at which we have the greatest bending moment, determined in terms of strength.

A certain stress-strain state of the car from the action of the gross weight force and the fatigue resistance factor in the areas in which the fracture occurred during the bench tests were determined.

When carrying out bench tests fractures were detected in two areas: in the section I-I in the area of termination pads and in the section III-III ridge of javorníky-two beams at the slits for a horizontal lever brakes. A certain stress-strain state of these zones when loaded with two 40-foot containers. The calculation results are presented. The obtained values of fatigue safety coefficient is less than acceptable $[n] = 1.5$. Strengthening of zones of destruction is carried out.

For the fracture zone in the section I-I, an overlay on the lower belt was removed, which allowed to reduce the stress concentration near the seam and reduce the concentration coefficient from 5.0 to 2.5.

For the fracture zone along the window in the section III-III, the transfer of the butt joint of the reinforcing rim to the zone with lower voltages was carried out, which allows to reduce the stress level from 66.1 MPa to 5.1 MPa. The calculation of fracture zones for fatigue resistance is carried out. Positive results were obtained.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**Основні праці:**

1. А.В. Донченко, Ю.О. Холод, В.В. Ільчишин, Д.В.Федосов-Ніконов. Дослідження динаміко-міцносних якостей вагона, обладнаного пружно-котковими ковзунами. – Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту, серія „Транспортні системи і технології”, вип.6, Київ 2004, стор. 29-35. [1].
2. В.І. Ткачов, В.А. Середа, Д.В. Федосов-Ніконов, І.М. Лашкевич. Аналіз динамічних якостей універсального довгобазного вагона-платформи при різних схемах завантаження. – Збірник наукових праць державного економіко-технологічного університету транспорту, серія „Транспортні системи і технології”, випуск 15, Київ - ДЕТУТ - 2009, стор. 109-119 [2].
3. Д.В. Федосов – Ніконов. Выбор рациональных схем размещения груза для длиннобазных универсальных платформ. – Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту, випуск 129, м. Харків, с. 90-95 [3].
4. Д.В. Федосов-Ніконов, М.Б. Кельріх. Дослідження на міцність конструкції довгобазної платформи. – Науковий журнал «Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля», №1-2016, с. 90-94 [4].
5. А.В.Донченко, Д.В. Федосов-Ніконов. Методика розрахунково-експериментальних досліджень конструкції довгобазної платформи. – Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту, серія „Транспортні системи і технології”, випуск 28, Київ - ДЕТУТ - 2016, стор. 53-60 [5].
6. О.В. Фомін, Д.В. Федосов-Ніконов. Дослідження конструкції довгобазного вагона-платформи на міцність. – Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій, серія „Транспортні системи і технології”, випуск 31, Київ - ДУІТ - 2017, стор. 140-147 [6].

7. О.В. Фомін, В.М. Іщенко, Д.В. Федосов-Ніконов. Довгобазні платформи. Проблеми міцності конструкції – *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – Дніпро: МПА, 2018. – Вип. 2. – С. 84-90 [7].

8. А .В. Фомин, Д.В. Федосов-Никонов Научно-практическое исследование прочности рамы длиннобазной платформы – *Научно-методический журнал «Вестник науки и образования»*, 2018. – 10 (46) С. 8-15 [8].

9. V.M. Ishchenko, D.V. Fedosov-Nikonov. Long Wheelbase Flat Wagons: Structural Strength. – *Metallurgical and Mining Industry «Machine building»*, 2017 – №8, p. 18-23 [9].

Праці апробаційного характеру:

10. Д.В. Федосов-Никонов. Исследование прочностных качеств длиннобазных платформ на знакопеременные нагрузки. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції „Проблеми і перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології”, ДЕТУТ, Київ, 24-25 березня 2011 р., стор. 143 [10].

11. Д.В. Федосов-Никонов. Длиннобазные платформы. Проблемы прочности и безопасности. Матеріали 71 Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта», ДИИТ, м. Дніпропетровськ, 14.04-15.04.2011 р., стор. 85 [11].

12. А.В. Донченко, Д.В. Федосов-Никонов. Прочность конструкции универсальной длиннобазной платформы. Матеріали 72 Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта», ДИИТ, м. Дніпропетровськ, 19.04-20.04.2012 р., с. 75 [12].

13. Д.В. Федосов-Никонов. Анализ экспериментальных исследований прочности и надежности конструкции длиннобазной платформы. Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту», ДИИТ, м. Дніпропетровськ, 23.05-25.05.2012 р., с. 145 [13].

14. А.В. Донченко, Д.В. Федосов-Никонов. Анализ результатов усталостных испытаний длиннобазных платформ. Матеріали 74 Международной научно-технической конференции кафедр академии, инженерно-технических работников железных дорог, предприятий и организаций Украины и других стран,

24.04-25.04.2012 р. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту, випуск 129, м. Харків, с. 214 [14].

15. А.В. Донченко, Д.В. Федосов-Никонов. О прочности длиннобазных платформ. Матеріали III международной партнерской конференции «Проблемы подвижного состава: пути решения через взаимодействие государственного и частного секторов» 21-25.05.2012, г. Ялта, с. 58 [15].

16. Д. В. Федосов-Никонов. О прочности конструкции длиннобазной платформы. Матеріали XLIV науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Сучасні проблеми залізничного транспорту». – К.: ДЕ-ТУТ, 2014. – Ч. 1. – 244.- с. 84 [16].

17. А.В. Донченко, Д.В. Федосов-Никонов. О прочности элементов конструкции длиннобазных платформ. Матеріали 75 Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» 14.05. - 15.05.2015, ДИИТ, г. Днепропетровск, с. 157 [17].

18. Д.В. Федосов-Никонов, М.Б. Кельріх. Розрахунково- експериментальний метод оцінювання міцності конструкції довгобазної платформи. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи.», м. Трускавець, СНУ ім. В. Даля, 2016, с.101 [18].

19. Д.В. Федосов – Ніконов. Аналіз міцностних якостей конструкції довгобазної платформи. Матеріали 76 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», 19.05.2016-20.05.2016, Дніпропетровськ, 2016, с.21-22 [19].

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

20. Звіт про науково-дослідну роботу «Дослідження міцностних якостей конструкції вагона-платформи моделі 13-4147 (заключний)» від 20.02.2014 р., РК0114U001899, ОК0214U008026, керівник теми [20].

21. Звіт про науково-дослідну роботу «Дослідження міцнісних якостей, характеристик конструкції вагона-платформи моделі 13-4147 (заключний)» від 2011 р., РК0112U000124, ОК U, відповідальний виконавець [21].

22. А.В. Донченко, Д.В. Федосов-Никонов, О.В. Орлов, М.И. Соляник, С.В. Долинский (ПАО «Днепровагонмаш»). Экспериментальное исследование конструкции длиннобазной платформы. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад», вип. 9, вид. ДП „УкрНДІВ”, м. Кременчук 2013, с. 71-73 [22].

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	17
ВСТУП.....	18
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ СУЧАСНИХ ДОВГОБАЗНИХ ПЛАТ- ФОРМ.....	25
1.1. Аналіз конструктивних особливостей платформ.....	25
1.2. Аналіз пошкоджень платформ.....	34
1.3. Висновки за розділом 1	39
РОЗДІЛ 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ І МІЦНІСНИХ ЯКОСТЕЙ ДОВГОБАЗНОГО ВАГОНА- ПЛАТФОРМИ.....	41
2.1. Програма і методика досліджень.....	41
2.1.1. Об'єкт досліджень.....	41
2.1.2. Види і послідовність проведення досліджень	42
2.1.3. Вимірювальна апаратура.....	43
2.1.4. Методи досліджень (випробувань).....	45
2.1.5. Порядок проведення досліджень.....	46
2.1.6. Обробка даних, оцінка їхньої точності.....	51
2.2. Результати експериментальних досліджень	62
2.3. Висновки за розділом 2	62
РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ І МІЦНІСНИХ ЯКОСТЕЙ ДОВГОБАЗНИХ ВАГОНІВ-ПЛАТФОРМ.....	64
3.1. Математична модель просторових коливань платформ.....	64
3.1.1. Опис розрахункової схеми.....	65
3.1.2. Диференціальні рівняння просторових коливань довгобазного ваго- на-платформи.....	69
3.1.3. Зусилля в зв'язках вантажних вагонів.....	72
3.1.4. Оцінка динамічних показників вагонів-платформ.....	78

3.2. Математична модель напружено-деформованого стану вагона-платформи під час руху по залізничній колії	16
3.2.1. Вибір схем навантаження.....	89
3.2.2. Формування математичної моделі просторових коливань платформи і напружено-деформованого стану основних несучих елементів.....	89
3.2.3. Вибір розрахункових режимів навантаження	90
3.2.4. Вихідні дані для розрахунку	91
3.3. Висновки за розділом 3	94
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ РЕЖИМІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДОВГОБАЗНОГО ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ НА МІЦНІСТЬ. ВДОСКОНАЛЕННЯ ТА РОЗРАХУНОК МОДЕРНІЗОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ НА ВТОМУ	95
4.1. Вихідні дані для розрахунку.....	96
4.2. Розрахункова схема і прийняті допущення.....	96
4.3 Вибір розрахункових схем.....	97
4.4. Визначення зусиль, що діють на раму вагона.....	98
4.5. Аналіз результатів розрахунку.....	100
4.6 Розрахунок елементів рами на втому.....	107
4.7 Розрахунок економічного ефекту від введення в експлуатацію удосконаленого довгобазного вагона – платформи.....	108
4.8 Висновки за розділом 4.....	124
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	126
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	128
ДОДАТКИ	144

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

МСЕ – метод скінчених елементів;
НДС – напружено-деформований стан;
ДП «УкрНДІВ» – Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»;
ПАТ «КВБЗ» – Публічне акціонерне товариство «Крюківський вагонобудівний завод»;
ТОВ «ГСКБВ ім. В.М. Бубнова» – Товариство з обмеженою відповідальністю «Головне спеціалізоване конструкторське бюро вагонобудування імені Валерія Михайловича Бубнова»;
УкрДУЗТ – Український державний університет залізничного транспорту;
ПГУПС – Петербурзький державний університет шляхів сполучення;
ГосНИИВ – Державний науково-дослідний інститут вагонобудування (м. Москва);
ДУІТ – Державний університет інфраструктури та технологій;
ПрАТ «Дніпровагонмаш» – Приватне акціонерне товариство «Дніпровагонмаш»;
ПАТ «Азовмаш» – Публічне акціонерне товариство «Азовмаш»;
ПАТ «Стахановський вагонобудівний завод» – Публічне акціонерне товариство «Стахановський вагонобудівний завод»;
ВАТ «Рузхиммаш» – Відкрите акціонерне товариство «Рузхиммаш»;
ВАТ «Абаканвагонмаш» – Відкрите акціонерне товариство «Абаканвагонмаш»;
ВАТ «Алтайвагон» – Відкрите акціонерне товариство «Алтайвагон»;
ВАТ «Трансмаш» – Відкрите акціонерне товариство «Трансмаш»;
ЗАТ «Брянський машинобудівний завод» – Закрите акціонерне товариство «Брянський машинобудівний завод»;
ВАТ «ЗМК» – Відкрите акціонерне товариство «Завод металевих конструкцій»;
ВАТ «Уралвагонзавод» – Відкрите акціонерне товариство «Уралвагонзавод»

ВСТУП

В умовах сучасної ринкової економіки, поряд із збільшенням асортименту продукції, що перевозиться рухомих складом залізниць, величезне значення набувають питання підвищення якості і зменшення строків вантажоперевезень, збільшення терміну експлуатації і надійності рухомого складу, поліпшення техніко-економічних параметрів вагонів для підвищення гарантії схоронності перевезених вантажів. Для збільшення конкурентоспроможності своєї продукції виробники вантажних вагонів велику увагу приділяють розробці універсальних (багатофункціональних) вагонів, здатних перевозити різноманітні види вантажів (контейнерів різних типорозмірів, труби великого діаметру, лісоматеріали тощо).

Актуальність теми. Починаючи з 2000-х років особливо гостро зріс попит на довгобазні платформи, що дозволяють істотно розширити номенклатуру вантажів, які перевозять залізничним транспортом. Для задоволення попиту підприємства-виробники одночасно з модернізацією наявних моделей платформ, почали виробляти й нові, мають конструктивні і якісні відмінності.

Відсутність досвіду конструювання таких одиниць рухомого складу виявило ряд істотних недоліків, основними з яких є низька міцність при дії динамічних (знакозмінних) навантажень, і як наслідок, недостатня довговічність і надійність. Найбільш небезпечним для експлуатації довгобазних платформ стала поява втомних тріщин в нижніх полицях і стінках повздовжніх балок рами – хребтових і бічних, а також у зварних вузлах з'єднання конструкції.

Поява тріщин в рамах довгобазних платформ протягом нетривалого періоду експлуатації (пробіг склав від 8 тис. до 190 тис. км., термін експлуатації – від 1 до 9 місяців) зумовило прийняття рішення про заборону експлуатації багатьох моделей як в СНД, так і в Україні. За узагальненими даними російського Інженерного центру вагонобудування ушкодження виявлені у 13% конструкцій нових довгобазних платформ. Так, довгобазні платформи моделі 13-4147 і моделі 13-7031, українських виробників вагонів, на стадії попередніх випробувань дослідного зразка були рекомендовані на доопрацювання.

Основною причиною появи втомних тріщин є збільшення інтенсивності згинальних коливань рами довгобазної платформи, підвищення динамічних напружень при русі, зниження фактичної межі витривалості матеріалу при підвищеній концентрації напружень.

Вирішенням даного питання є проведення поглиблених теоретичних досліджень, створення розрахункових схем, що враховують різні конструктивні особливості, розробки математичних моделей, які найбільш реально відображають умови динамічного впливу, проведення необхідного обсягу експериментальних досліджень та аналізу результатів.

Тому тема даної дисертаційної роботи, яка спрямована на дослідження динаміко-міцнісних якостей і створення довгобазної платформи з поліпшеними міцнісними властивостями, що відповідає вимогам нормативної документації, є актуальною і своєчасною.

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

Робота виконана у відповідності з діючими Державними програмами і концепціями: «Реформування транспортного комплексу України»; «Реструктуризації на залізничному транспорті України» (від 1998 р.); «Розвитку транспортно-дорожнього комплексу України на 2000-2004р.», затвердженою Кабінетом Міністрів України від 30.12.2000 р. Дисертація відповідає основним напрямкам реформування транспортного сектору України, програмою підвищення безпеки руху на залізницях України, затвердженої наказом Укрзалізниці № 547-Ц від 15.10.2001 р., проектом Державної програми розвитку рейкового рухомого складу залізниць України на 2006 - 2015 рр., Комплексній програмі оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 - 2020 роки, затвердженій наказом Мінтрансзв'язку від 14.10.2008 за № 1259, а також планам науково-дослідних робіт ДП «УкрНДІВ», що виконують у рамках галузевих програм Міністерства економічного розвитку і торгівлі України та госпдоговорів з різними підприємствами галузі.

Дисертант є керівником та виконавцем науково-дослідних робіт на замовлення підприємств за темами: «Проведення попередніх випробувань вагона-платформи моделі 13-7031 в обсязі достатньому для пред'явлення на МВК»

(договір № 695 від 09.01.2007р.), «Проведення сертифікаційних випробувань вагона-платформи моделі 13-7031 в обсязі достатньому для пред'явлення на МВК» (договір № 934/2641.07ИЦ від 16.11.2007р.), «Дослідження міцнісних якостей, характеристик конструкції вагона-платформи моделі 13-4147» (договір № 605 від 25.10.2010 р.), «Дослідження міцносних якостей конструкції вагона-платформи моделі 13-4147» (договір № 724 від 14.05.2013 р.) та ін.

Метою дисертаційної роботи є вирішення наукового завдання покращення міцнісних якостей довгобазних вагонів-платформ шляхом удосконалення їх конструкцій та методів розрахунків, визначення їх раціональних параметрів шляхом створення комп'ютерних моделей і алгоритмів для дослідження динамічного навантаження платформ.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні основні задачі:

1. Провести аналіз існуючих конструкцій довгобазних вагонів-платформ.
2. Провести аналіз експериментальних досліджень, умов експлуатації і пошкоджень рам довгобазних платформ.
3. Виконати теоретичні дослідження динаміко-міцнісних якостей довгобазних платформ.
4. Розробити математичну модель просторових коливань довгобазної платформи.
5. Розробити математичну модель напружено-деформованого стану довгобазної платформи, що враховує знакозмінні навантаження які виникають в конструкції при русі по нерівностях колії.
6. Визначити вихідні силові та конструктивні параметри для проведення необхідних динаміко-міцнісних розрахунків.
7. Провести порівняльний аналіз результатів теоретичних розрахунків та експериментальних даних, отриманих при проведенні попередніх випробувань довгобазної універсальної платформи.
8. За результатами порівняльного аналізу розглянути варіанти удосконалення довгобазної платформи з метою підвищення міцності конструкції.

9. Провести розрахункові дослідження динаміко-міцнісних якостей вдосконаленої конструкції довгобазної платформи, порівняти отримані результати з нормативними.

10. Виконати техніко-економічне обґрунтування рішень щодо постановки на виробництво вдосконалених довгобазних платформ.

Об'єкт дослідження – динаміко-міцнісні процеси, що відбуваються в конструкціях довгобазних вагонів-платформ.

Предмет дослідження – просторові коливання та напружено-деформовані стани (далі – НДС) довгобазних вагонів-платформ при дії знакозмінних навантажень.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети, при виконанні експериментальних досліджень і обробки отриманих результатів, в роботі використані методи математичного моделювання, теорія диференціальних та інтегральних рівнянь, автоматизованого проектування, метод скінченних елементів (далі – МСЕ), методи теорії ймовірностей, сучасні методи експериментальних досліджень рухомого складу.

Достовірність і обґрунтованість результатів дисертаційної роботи обумовлені обґрунтованою постановкою завдань, використанням теоретичних та експериментальних методів дослідження НДС, що мінімізують похибку досліджень, сучасними методами обробки результатів, використанням сучасного обладнання, високим ступенем збіжності результатів теоретичних досліджень з експериментальними даними випробувань (розбіжність не перевищує 11 %), отримані висновки та рекомендації не суперечать вже відомим.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

Вперше:

- створена процедура оцінювання НДС рами довгобазного вагона-платформи в залежності від різних видів експлуатаційних навантажень, яка на відміну від існуючих враховує особливості вантажів (контейнерів різних типорозмірів, труб і т. д.) що плануються до перевезень;

- розроблений метод уточненої оцінки коефіцієнта запасу опору втомі в залежності від конструктивного варіанту рами довгобазного вагона-платформи.

Удосконалено:

- розрахункову модель для визначення та дослідження напружено-деформованого стану довгобазного вагона-платформи в частині формування експлуатаційних навантажень з урахуванням реальних величин вертикальних збуджень зі сторони колії;

- математичну модель просторових коливань довгобазної платформи, яка на відміну від існуючих дозволяє оцінювати разом з динамічними показниками й показники опору втомі.

Набула подальшого розвитку:

- процедура визначення раціональних параметрів несучих елементів конструкції довгобазних вагонів-платформ з урахуванням різних схем завантаження контейнерами та іншими вантажами.

Практичне значення отриманих результатів.

Наукові результати, отримані при виконанні дисертаційної роботи та практичні рекомендації були використані при проектуванні, конструктивному удосконаленні і виготовленні на підприємствах ПАТ „Крюківський вагонобудівний завод” (акт впровадження від 15.01.2018 р.) та ПАТ „Дніпровагонмаш” (акт впровадження від 23.01.2018 р.) довгобазних платформ моделей 13-7031 та 13-4147 відповідно.

Розроблені методики статичних та динамічних досліджень в залежності від конструктивного виконання та умов експлуатації довгобазних платформ, визначені допустимі схеми завантаження контейнерами різних типорозмірів для виконання вимог безпеки руху.

Основні теоретичні дослідження та результати випробувань були використані на кафедрі «Вагони та вагонне господарство» ДУІТ у навчальному процесі (довідка про використання у навчальному процесі від 16.01.2018 р.).

В ДП «УкрНДІВ» (акт впровадження від 25.01.2018 р.) результати дисертаційної роботи використовуються під час розробки методик, проведення та опрацювання результатів експериментальних досліджень на міцність та опір втомі вантажних вагонів.

Акти впровадження результатів дисертаційної роботи наведено в Додатку Е.

Особистий внесок здобувача – планування, підготовка та проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, проведення теоретичних досліджень та розробка наукових положень та висновків. Автором отримані самостійно основні результати експериментальних та теоретичних досліджень, що наведені в роботі. Автором виконано аналіз сучасних конструкцій платформ, розроблено розрахункову схему для дослідження напружено-деформованого стану. Створено скінченно-елементні моделі для дослідження напружено-деформованого стану вагона-платформи. На підставі аналізу результатів дослідження запропоновано варіант удосконалення конструкції вагона-платформи та виконано оцінку напружено-деформованого стану удосконаленої конструкції. Виконано техніко-економічне обґрунтування щодо виробництва удосконалених довгобазних вагонів-платформ.

Апробація результатів дисертації.

Результати дисертаційної роботи, її основні положення доповідались, обговорювались та були схвалені на конференціях:

- V міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми і перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології» (Київ, 2011 р.);

- 71-й, 72-й, 75-й, 76-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпро);

- XIII міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту» (м. Дніпро, 2012р.);

- 74 международной научно-технической конференции кафедр академии, инженерно-технических работников железных дорог, предприятий и организаций Украины и других стран (Харків, 2012 р.);

- III международной партнерской конференции «Проблемы подвижного состава: пути решения через взаимодействие государственного и частного секторов» (Ялта, 2012 р.)

- XLIV науково-практичній конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Сучасні проблеми залізничного транспорту» (Київ, 2014);

- міжнародній науково-практичній конференції «Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи» (м. Трускавець, СНУ ім. В. Даля, 2016 р.).

Дисертаційна робота в повному обсязі доповідалася та була схвалена на:

- засіданні науково-технічної ради Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагобудування» (Кременчук, 2017 р.);

- розширеному засіданні кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного університету інфраструктури та технологій (Київ, 2018 р.) за участю членів спеціалізованої вченої ради К 26.820.01.

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 9 основних наукових праць у формі статей (7 в фахових наукових виданнях України (1 з них без співавторів) та 2 включено до міжнародних науково-метричних баз), 10 праць апробаційного характеру в формі тез доповідей на конференціях, 3 праці, які додатково відображають наукові результати дисертації.

Структура й обсяг дисертації. Повний обсяг дисертації складає 198 сторінок друкованого тексту й містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел зі 157 найменувань на 16 сторінках, 67 рисунків та 28 таблиць, 6 додатків на 55 сторінках. Основна частина роботи викладена на 112 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ СУЧАСНИХ ДОВГОБАЗНИХ ПЛАТФОРМ

1.1 Аналіз конструктивних особливостей платформ.

Розробка нового вагона-платформи тісно пов'язана з інтеграцією України в світову економіку, яка призвела до збільшення вантажопотоку 40-футових контейнерів [23, 24, 25]. У зв'язку з цим, починаючи з 2005 р. парк рухомого складу став поповнюватися спеціалізованими довгобазними платформами для перевезення контейнерів збільшеної довжини і маси [26, 27]. Для вибору перспективних конструктивних рішень [28, 29] та визначення раціональних параметрів при створенні сучасних вагонів-платформ [30, 31, 32, 33] необхідно спиратися на світовий досвід у виробництві вагонів даного типу. Для цього виконана класифікація вагонів-платформ для перевезення контейнерів з метою аналізу світового досвіду створення, а також вивчення конструктивного виконання елементів рам вагонів-платформ. Огляд і аналіз конструкцій вагонів-платформ проводився по Україні, Росії, США, Канаді і країнах Європи [34, 35]. Вибір цих країн був зумовлений їх провідною роллю в обсязі інтермодальних перевезень.

Інформація для огляду та аналізу конструкцій вагонів-платформ по Україні, Білорусії, Казахстану та Росії отримана з [36, 37, 38, 39], які були використані як офіційні документи, що інформують про конструкції вагонів-платформ, які застосовані у виробництві. По таким закордонним країнам, як Великобританія, США, Канада і країнам Європи джерелом інформації були [40, 41, 42] та офіційні інтернет-сайти провідних фірм-виробників вантажних вагонів, які дали отримати найбільш оперативну інформацію щодо конструкцій вагонів-платформ. Розглядалися конструкції вагонів-платформ провідних фірм виробників, таких як ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод», ПАТ «Азовмаш», ПАТ «Дніпровагонмаш», ПАТ «Стахановський вагонобудівний завод», ВАТ Рuzхиммаш», ВАТ «Абаканвагонмаш», ВАТ «Алтайвагон», ВАТ «Трансмаш», ЗАТ «Брянський машинобудівний завод», ВАТ «ЗМК», ВАТ «Уралвагонзавод», «Thrall car Company», «Fabryka Wagonow GNIEWCZYNA», «Ahaus-Alstätte

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Eisenbahn», «Talgo Oy», «Kombiwaggon», «Trinity Rail», «Costaferroviaria», «Canadian Pacific railway», «Trinity Ind», «Greenbrier», «Arbel Fauvet Rail». Різноманітність фірм дозволило охопити весь спектр існуючих конструкцій вагонів-платформ.

Основними виробниками сучасних довгобазних вагонів-платформ в Україні є ПАТ „Дніпровагонмаш”, ПАТ «Азовмаш» та ПАТ „Крюківський вагонобудівний завод”. У країнах СНД довгобазні платформи виробляють в Росії і Казахстані. В Росії основними виробниками довгобазних вагонів-платформ є ВАТ «Уралвагонзавод», ЗАТ «Брянський машинобудівний завод», ВАТ «Ружиммаш», ВАТ «Алтайвагон» та інші.

У різних країнах у відсотковому співвідношенні парк вагонів-платформ по відношенню до загального числа вантажних вагонів істотно відрізняється. Так, у США, парк вагонів-платформ становить близько 31% від загального числа вантажних вагонів. Крім того, в США парк вагонів-платформ в конструктивному виконанні найбільш різноманітний. В Європі кількість вагонів-платформ становить 35% від парку вантажних вагонів. В Україні на вагони-платформи припадає 14% від загального числа вантажних вагонів, у Росії - 8%. У Великобританії частка вагонів-платформ становить 2% від загального числа вантажних вагонів (рисунок 1.1).

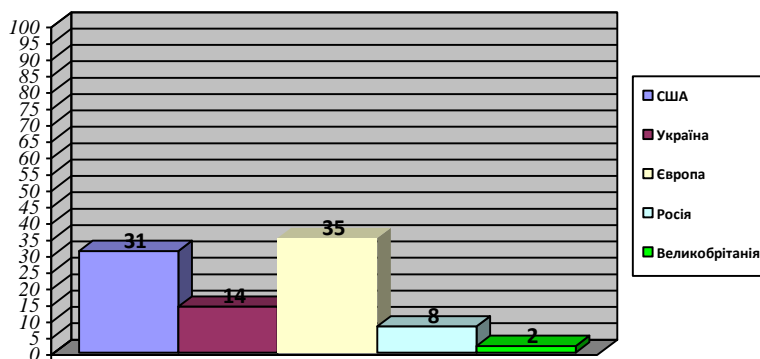


Рисунок 1.1 - Парк вагонів-платформ у різних країнах в залежності від загального числа вантажних вагонів

В основу сучасних конструкцій довгобазних вагонів-платформ, які останнім часом були розроблені, покладені як класичні схеми з несучими хребтовою (яка має максимально можливу висоту) і бічними балками, несучою хребтовою балкою та допоміжними бічними балками, так і не класичні схеми з укороченою хребтовою балкою і бічними балками, які мають максимально можливу висоту.

Так, у Європі, Україні та Росії 48% вагонів-платформ мають комбінований тип конструкції з несучими хребтовою і бічними балками, 9% припадає на конструкцію з несучою хребтовою балкою і допоміжними бічними балками, та 30% вагонів-платформ — з укороченою хребтовою балкою і бічними балками, які мають максимально можливу висоту.

Прикладом комбінованого типу конструкції з несучими хребтової і бічними балками є довгобазний вагон-платформа моделі 13-7031 виробництва ПАТ „Крюківський вагонобудівний завод” (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2.- Довгобазний вагон-платформа моделі 13-7031 завантажений трубами великого діаметру

Хребтова балка довгобазного вагона-платформи моделі 13-7031 – зварна, змінного перерізу (підсилена знизу в найбільш навантажених перерізах).

Отформатовано: Цвет шрифта: Авто

Отформатовано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатовано: Цвет шрифта: Авто

Отформатовано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатовано: Цвет шрифта: Авто

Отформатовано: Цвет шрифта: Авто

Отформатовано: Цвет шрифта: Авто

Отформатовано: Цвет шрифта: Авто

Бокові балки двотаврові, змінного перерізу. Шворневі балки змінного коробчатого перерізу з листового прокату (рисунок 1.2).

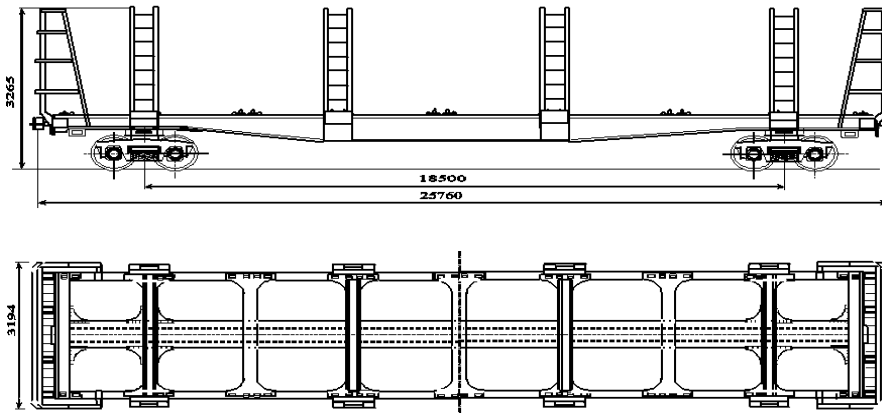


Рисунок 1.3 - Схема рами довгобазного вагона-платформи моделі 13-7031

Прикладом вагона платформи з несучою хребтовою балкою та допоміжними бічними балками є довгобазний вагон-платформа моделі 13-4147 виробництва ПАТ «Дніпровагонмаш» (рисунок 1.3).



Рисунок 1.4 - Довгобазний вагон-платформа моделі 13-4147

Отформатовано: українский

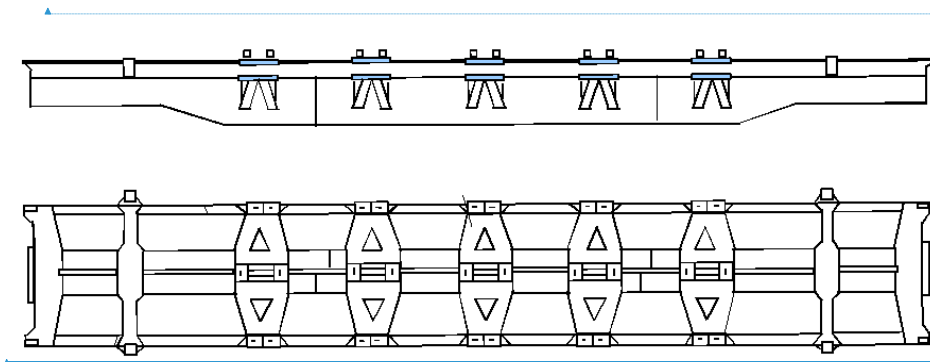
Отформатовано: Цвет шрифта: Авто

Отформатовано: Цвет шрифта: Авто

Отформатовано: Цвет шрифта: Авто

Отформатовано: По левому краю, Отступ: Первая строка: 0 см

Хребтова балка довгобазного вагона-платформи моделі 13-4147 – зварна, змінного коробчастого перерізу максимальної висоти. Бокові балки виконані зі швелеру постійного перерізу. Шворневі балки змінного коробчастого перерізу з листового прокату (рисунок 1.4).



Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, русский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Рисунок 1.5 - Схема рами довгобазного вагона-платформи моделі 13-4147

Наприклад – виробництво платформ платформи з укороченою хребтовою балкою налагоджено як в Україні так і в Росії. Прикладом вагонів-платформ у такому конструктивному виконанні є довгобазні вагони-платформи моделей 13-7024 виробництва ПАТ „Крюківський вагонобудівний завод” (рисунок 1.6) та 13-2118 виробництва ВАТ «Алтайвагон» (рисунок 1.8) (рисунок 1.4).

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто



Рисунок 1.6 - Довгобазний вагон-платформа моделі 13-7024 завантажений двома 40-футовими контейнерами

Хребтова балка довгобазного вагона-платформи моделі 13-7024 - зварна з двох двотаврів та підсилена знизу, бокові балки двотаврові, змінного перерізу (рисунок 1.7).

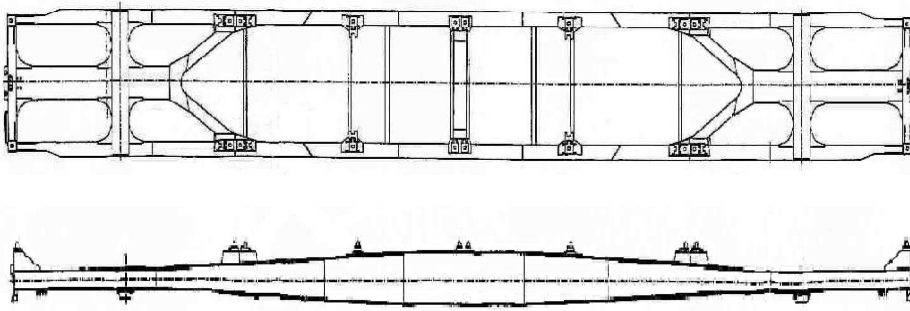


Рисунок 1.7. - Схема рами довгобазного вагона-платформи моделі 13-7024

Завдяки застосуванню в конструкції вагона-платформи нових матеріалів і конструкторських рішень, при збереженні міцнісних характеристик вагону, була значно знижена його металоємність. У результаті цього маса тари вагона становила 22,3 тонни, що також є особливістю даної конструкції вагона.

При цьому, виходячи з основної ідеї створення залізничної техніки, призначеної для перевезення тільки контейнерів, був досягнутий в новому вагоні максимальний на сьогоднішній день показник вантажопідйомності, який становить 71,2 т. На платформі моделі 13-7024 передбачено перевезення контейнерів типорозмірів 1А, 1В, 1С у 28 варіантах, що також є конкурентною перевагою новинки [23].

Платформа моделі 13-2118 призначена для перевезення великотоннажних контейнерів. Платформа виконана довгобазною, укорочені хребтові балки виконані з двох зетів та передають поздовжні зусилля через зварні розкоси дво-

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

таврового перерізу, на бокові балки, що представляють собою зварну конструкцію з листів різної товщини двотаврового перерізу змінної висоти по довжині.



Рисунок 1.8 - Довгобазний вагон-платформа з укороченою хребтовою балкою моделі 13-2118

В Україні та країнах СНД центральна взаємодія між вагонами через автотзчепний пристрій визначає конструкцію рами вагона-платформи, яка переважно складається з балок змінного по висоті перерізу з несучими хребтової і бічними балками, із зниженою нейтральною віссю поперечного перерізу щодо осі автотзчепного пристрою.

У країнах Європи передача поздовжніх навантажень через буфера дозволяє успішно виконувати конструкції рам вагонів-платформ з несучими бічними балками.

У країнах Європи, в Україні та країнах СНД низький габарит не дозволяє виробляти установку контейнерів у два яруси, тому в основному застосовуються вагони-платформи у вигляді балок змінного по висоті перерізу.

На відміну від країн СНД та Європи на залізничних коліях США і Канади для перевезення автомобілів використовуються 2-х та 3-х ярусні платформи для 10-15 великих автомобілів. Також в США, де розміри габариту рухомого складу дозволяють перевозити контейнери в два рівня виготовляються та експлуатуються вагони-платформи, рама яких складається з несучих бічних балок і має низькоопущену колодязеобразну форму. Більшість таких вагонів мають ва-

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто
 Отформатировано: Цвет шрифта: Авто
 Отформатировано: Цвет шрифта: Авто
 Отформатировано: Цвет шрифта: Авто
 Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: украинский
 Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский
 Отформатировано: украинский
 Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский
 Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский
 Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский
 Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский
 Отформатировано: украинский
 Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский
 Отформатировано: украинский
 Отформатировано: украинский
 Отформатировано: украинский
 Отформатировано: украинский
 Отформатировано: украинский
 Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский
 Отформатировано: украинский
 Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский
 Отформатировано: украинский
 Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

вантажопідйомність понад 70 тонн. Довжина платформ загального призначення в США становить 18-21 м, платформи не мають бортів. Платформи нових конструкцій мають довжину до 27 м при вантажопідйомності 63,5 т. Значне поширення отримують платформи з глухими або рухомими торцевими стінками для закріплення довгомірних вантажів в поздовжньому напрямку. Платформи для крихких вантажів нерідко обладнують рухомою хребтовою балкою.

Поряд з 2-х ярусними перевезеннями контейнерів у США широко застосовуються вагони-платформи зчленованого типу, які мають вантажопідйомність не більше 60 тонн (рисунк 1.9).

Отформатовано: українский



Рисунок 1.9 - Вагон-платформа зчленованого типу

Європейські зчленовані шестивісні вагони-платформи для контейнерів через низький допустимий рівень осьових навантажень поступають за корисним погонним навантаженням українським довгобазним 80-футовим платформам. Декларовані вантажопідйомність 100-105 тонн і маса вагона брутто 135 тонн європейських платформ при перевезенні контейнерів не реалізуються через перевантаження середнього візка.

Аналіз результатів досліджень виробництва та експлуатації вагонів - платформ показує, що вони поділяються у відсотковому відношенні наступним чином:

- 1) По масі тари
 - 36% - від 20 до 25 т;
 - 33% - більше 25 т;

- 31% - менше 20 т.

2) По осях зчеплення автозчепів:

- у 44% - від 18 до 20 м;

- у 24% - від 15 до 18 м;

- у 16% - більше 20 м;

- у 16% - менше 15 м.

3) По вантажопідйомності:

- 42% - більше 70 т;

- 40% - менше 60 т;

- 18% - від 60 до 70 т. ~~Завдяки застосуванню в конструкції вагона~~

~~платформи нових матеріалів і конструкторських рішень, при збереженні міцні-
ених характеристик вагону, була значно знижена його металосмієть. У резуль-
таті цього маса тари вагона становила 22,3 тонни, що також є особливістю да-
ної конструкції вагона.~~

~~При цьому, виходячи з основної ідеї створення залізничної техніки, при-
значеної для перевезення тільки контейнерів, був досягнутий в новому вагоні
максимальний на сьогоднішній день показник вантажопідйомності, який стано-
вить 71,2 т. На платформі моделі 13 7024 передбачено перевезення контейнерів
типорозмірів 1А, 1В, 1С у 28 варіантах, що також є конкурентною перевагою
новинки.~~

Конкуренція змушує вагонобудівні заводи збільшувати номенклатуру своєї продукції і виробляти нові моделі конкурентоспроможних вагонів. Так, в Росії проходять випробування вагона-платформи для перевезення контейнерів у 2 яруси (рисунок 1.10).

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто, украинский



Рисунок 1.10 - Вагон-платформа для перевезення контейнерів у 2 яруси, вироблений в Росії

Спираючись на досвід виробництва даної продукції в США і Канаді, російські виробники спробували створити аналогічний вагон-платформу під низький габарит країн СНД [32, 43]. Конструкція має низькоопущену колодязеобразну форму для розміщення двох 40-ка футових контейнерів.

На Україні ця продукція поки що не виробляється.

1.2 Аналіз пошкоджень несучих елементів конструкції вагонів-платформ

В ході початкової експлуатації нових моделей довгобазних платформ було виявлено ряд недоліків допущених при розрахунку, проектуванні і виробництві цих виробів [44]. Основною проблемою стала поява тріщин в рамі, які були виявлені при проведенні поточних оглядів. Гостро стало питання щодо безпеки експлуатації довгобазних платформ по факту появи тріщин в конструкції рам.

Дослідження і аналіз характеру пошкоджень показують, що основними пошкоджуючими факторами є вертикальні динамічні знакозмінні навантаження, обумовлені нерівностями рейкових колій, конструктивними особливостями

довгобазних платформ та умовами розміщення і кріплення вантажів [45]. Максимальні напруження при перевезенні великовантажних контейнерів виникають у зоні середньої частини довгобазних платформ.

За статистичними даними експлуатації, найбільша кількість руйнувань і пошкоджень рам довгобазних платформ відбувається в зонах середньої частини і перехідних перерізів (рисунок 1.11 - 1.13) .



[Рисунок 1.11](#) – Довгобазний вагон-платформа для перевезення контейнерів та довгомірних вантажів. Руйнування бокової балки у перехідному перерізі рами



[Рисунок 1.12](#) – Довгобазний вагон-платформа для перевезення контейнерів та довгомірних вантажів. Руйнування бокової балки у перехідному перерізі рами



Рисунок 1.13 – Довгобазний вагон-платформа для перевезення контейнерів та довгомірних вантажів. Руйнування хребтової балки у місці «технологічного вікна» гальмівної системи

В якості основного критерію міцності конструкції довгобазних платформ при знакозмінних навантаженнях прийнятий коефіцієнт запасу опору втоми.

Проведений порівняльний аналіз розрахункових і експериментальних досліджень коефіцієнта запасу опору втоми елементів конструкції рами довгобазної платформи показав істотну розбіжність розрахункових і експериментальних значень. Розбіжність результатів вказує на похибки при розрахунках, вибору конструктивної схеми та параметрів конструкції вагона.

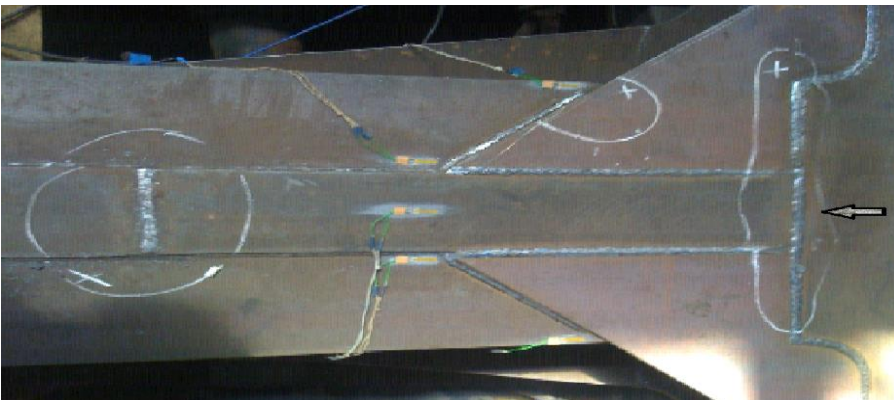
Одним з факторів, який необхідно обов'язково враховувати при проектуванні та розрахунках довгобазних платформ є коефіцієнт концентрації напружень, що враховує зниження опору втоми в зв'язку з місцевими змінами форми і розмірів деталей (зміни перерізу, наявність зварних швів, отворів, вирізів і т. д.) несучої конструкції.

Так, при стендових випробуваннях з визначення коефіцієнта запасу опору втоми елементів конструкції рами довгобазної платформи, в місці підсилення, утворилася тріщина, яка призвела до руйнування бічної балки. Місцем зародження тріщини стало закінчення зварювального шва накладки посилення бічної балки (рисунок 1.14)

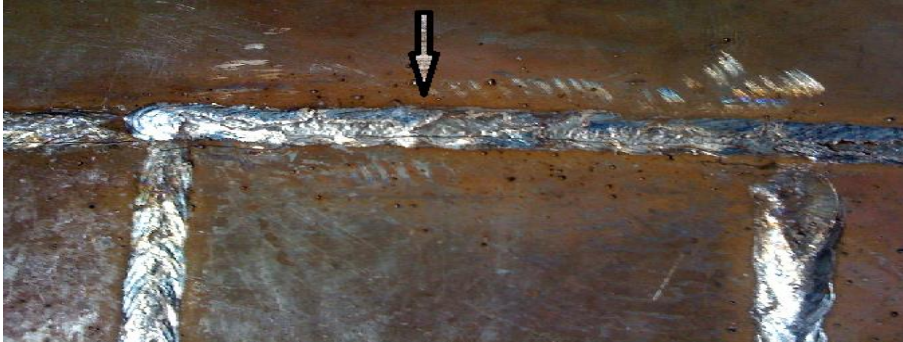


[Рисунок 1.14](#) – Тріщина на зварному шві накладки підсилення бічної балки

Також, концентратором напружень, що приводить до виникнення тріщин та руйнуванню конструкції є поперечний зварний шов, розташований на несучій конструкції вагона-платформи (рисунок 1.15 – 1.16).



[Рисунок 1.15](#) – Тріщини на поперечних зварних швах, які розташовані на хребтовій балці



[Рисунок 1.16](#) –Тріщина на поперечному зварному шві, який розташований на хребтовій балці

Основні руйнування відбувалися через розміщення зварних швів в зонах з високою концентрацією напруг і неоптимальної форми сполучення несучих елементів. Для стикування балок, що працюють при змінних навантаженнях, найбільш доцільно з'єднання прямим стиковим швом по стінці і косим стиковим швом по полицях, виконаного при зварюванні бічній балки рами платформи моделі 13-4108 (ВАТ «Дніпровагонмаш»). При цьому межа витривалості стику може становити до 70% від міцності прокатної балки. З'єднання прямим стиковим швом по полицях і по стінці дещо поступається попередньому: його міцність становить близько 60% від міцності прокатної балки. Для зменшення концентрації напружень доцільно зміщувати стикові шви на полицях від стикового шва стінки на довжину не менше 500 мм. Такий тип стику був використаний при зварюванні бічних і хребтової балок вагонів моделі 23-469-07 (ВАТ ЗМК) і 13-9751 (ВАТ «Трансмаш»), хребтової балки платформи моделі 13-4108 (ВАТ «Дніпровагонмаш»). Стиковка бічних балок рами платформи моделі 1317-96 (ВАТ МЗТМ) проводилася прямим швом по стінці і зміщеними косими швами по полицях.

Модернізація та оновлення вагонного парку призводять до появи нових моделей вагонів, в конструкції яких застосовані сучасні методи проектування і розрахунків. Безліч конструктивних рішень застосовується вперше (універсаль-

ні довгобазні і зчленовані платформи). Такі моделі вагонів вимагають особливої уваги при дослідженні їх динаміко-міцнісних якостей.

Значний внесок у вивчення динаміко-міцнісних якостей рухомого складу внесли такі вітчизняні й закордонні вчені:

М.Ф. Веріго [46], С.В. Вершинський [47, 48, 49], В.М. Данілов [49], С.М. Куценко, В.А. Лазарян [50, 52-59], В.Б. Медель, І.І. Челноков, П.С. Анісімов [60, 61], І.В. Бірюков [62], Є.П. Блохин [51, 55, 58, 59, 63-67], Г.І. Богомаз [68], Ю.П. Бороненко [27, 69, 70], В.М. Бубнов, Г.П. Бурчак, В.А. Браташ, А.М. Годицький-Цвірко, А.Л. Голубенко, Л.О. Грачова, В.Д. Данович [66, 71, 72,73], Ю.В. Дьомін [68, 74-76], А.А. Долматов, А.В. Донченко [1, 5], В.П. Єфімов, І.П. Ісаєв, Л.А. Кальницький, В.А. Камаєв [77], М.Б. Кельріх [18], О.Я. Коган, М.Л. Коротенко [56, 74, 76], В.Н. Котуранов [61, 78, 79, 80], М.М. Кудрявцев, А.А. Львов, Л.А. Манашкін, І.Е. Мартинов, І.Г. Морчиладзе, С.В. Мямлін [81, 82], Н.Є. Науменко [68], Н.А. Радченко, О.М. Савчук [64, 83], М.М. Соколов [84], С.І. Соколов [85], Т.А. Тібілов, С.П. Тимошенко [86], В.П. Ткаченко, А. В. Третьяков [87], В.Ф. Ушкалов [88, 89, 90], В.М. Філіппов, В.Д. Хусідов [49, 84, 91, 92, 85], Ю.М. Черкашин [93], Л.А. Шадур [48, 61, 78, 94], Р. Богач, І. Бомель, Ф. Картер, В. Кік, Д. Кофман, Л. Лінгайтс, А. Худзікевич, Г. Шеффель.



Рисунок 1.5 — Довгобазний вагон платформа з укороченою хребтовою балкою. Модель 13-2118

Платформа моделі 13-2118 призначена для перевезення великотоннажних контейнерів. Платформа виконана довгобазної, укорочені балки хребтові, виконані з двох зетов, передають поздовжні зусилля через зварні розкоси двотаврового перерізу, на бокові балки, що представляють собою зварну конструкцію з листів різної товщини двотаврового перерізу змінної висоти по довжині. Укомплектована відкидними упорами для перевезення контейнерів. Мас поручні і підніжки зчеплювача.

▲ в Європе, Україні і Росії 48% вагонів платформ мають комбінований тип конструкції кузова (с несущими хребтовою і боковими балками); 30% вагонів платформ — с кузовом без хребтової балки; 9% приходить на конструкцію кузова с несущей хребтовою балкою.

преобладающей в мировой практике конструкцией кузова является конструкция в виде балок переменного по высоте сечения с пониженной нейтральной осью поперечного сечения относительно оси автосцепного устройства (56%); 29% приходить на кузова колодецеобразной формы с пониженной нейтральной осью поперечного сечения относительно оси автосцепного устройства; по 4% — на кузова с опущенным полом и на кузова с балками переменного по высоте сечения с опущенным полом также с пониженной нейтральной осью поперечного сечения относительно оси автосцепного устройства;

▲ 36% всех вагонов платформ имеют тару массой от 20 до 25 т; 33% — больше 25 т и 31% — меньше 20 т;

▲ размер по осям сцепления автосцепок у 44% всех вагонов платформ составляет от 18 до 20 м; у 24% вагонов платформ — от 15 до 18 м; у 16% — больше 20 м и у 16% — меньше 15 м;

▲ 42% всех вагонов платформ имеют грузоподъемность больше 70 т; 40% вагонов платформ — грузоподъемность меньше 60 т и 18% вагонов платформ имеют грузоподъемность от 60 до 70 т.

1.3 Висновки за розділом 1

1. Однією з важливих проблем залізничного транспорту України є інтеграція в Європейську транспортну систему. Така інтеграція буде забезпечува-

Отформатировано: Цвет шрифта: Авто

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

Отформатировано: украинский

тися прямим залізничним сполученням між Сходом і Заходом континенту в міжнародних транспортних коридорах, частина яких пройде територією України і буде обслуговуватися Укрзалізницею. Тому вагони нового покоління, крім відповідності галузевим нормативам України та СНД [95-99], повинні задовольняти нормативним вимогам країн Європи.

2. Для вітчизняного вагонобудування, враховуючи низький габарит навантаження українських залізниць та передачу поздовжніх зусиль, здійснювану через хребтову балку, найбільш перспективними конструкціями вагонів-платформ для перевезення контейнерів і довгомірних вантажів є конструкції з наявністю несучих хребтової і бічних балок, а також укороченою хребтовою балкою і несучими бічними балками.

3. Виникає необхідність розробки універсальних платформ збільшеної довжини, що забезпечують перевезення довгомірних вантажів — лісу, пиломатеріалів, рейок, труб, контейнерів різних типорозмірів і т. д., що підвищить коефіцієнт використання вантажопідйомності платформ в експлуатації.

4. Для підвищення конкурентоспроможності залишаються актуальними тенденції зниження тари вагонів при одночасному підвищенні вантажопідйомності, яке можна досягти в результаті забезпечення більш раціональної конструктивної форми вагона. При цьому повинні виконуватися такі вимоги, що пред'являються до рухомого складу, як міцність і надійність.

~~1.—В странах Европы низкий габарит не позволяет производить установку контейнеров в два яруса, поэтому в основном применяются вагоны-платформы в виде балок переменного по высоте сечения. Передача продольных нагрузок через буфера позволяет выполнять конструкции рам вагонных платформ с несущими боковыми балками.~~

~~2.—В России и на Украине центральное взаимодействие между вагонами определяет конструктивно рамы вагона-платформы преимущественно состоящей из балок переменного по высоте сечения с несущими хребтовой и боковыми балками с пониженной нейтральной осью поперечного сечения относительно оси автоцепного устройства. Так же как и в Европе, в России и на Украине производится перевозка контейнеров в один ярус из за низкого га-~~

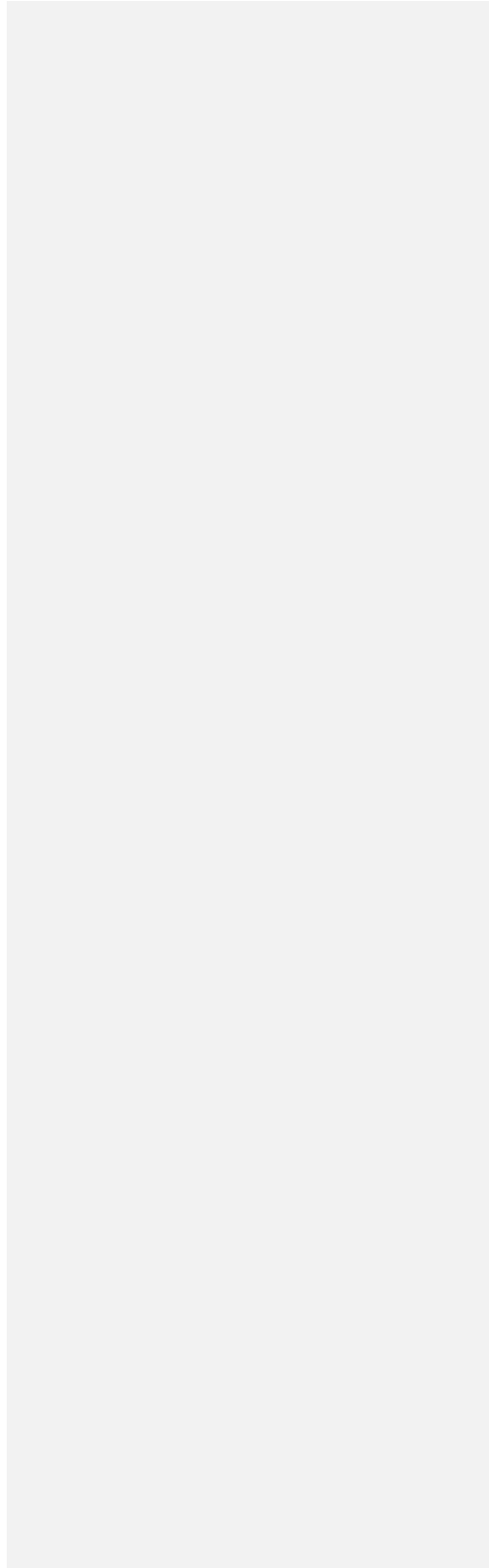
~~барита подвижного состава, соединенный с целью изучения характеристик, определяющих их прочностные качества.~~

5. При створенні нових конструкцій довгобазних вагонів-платформ необхідно враховувати те, що фактичний рівень концентрації напружень в реальній конструкції може відрізнятися від розрахункових значень. Можливими способами підтвердження показників міцності та надійності вагона-платформи є:

- прискорені ресурсні випробування;
- експлуатаційні випробування.

6. При проектуванні довгобазних платформ особливу увагу слід приділяти зонам розташування зварних швів і якості їх виконання. Необхідні розробка методів оцінки напружень в зонах зварних швів і удосконалення конструкцій за рахунок збільшення жорсткості поздовжніх елементів рами. При розробці і виготовленні довгобазних вагонів-платформ необхідно застосовувати комплекси заходів щодо конструктивної та технологічної доробки конструкції, спрямованої на зменшення коефіцієнта концентрації напружень шляхом виключення поперечних зварних швів і застосування більшого радіуса скруглення. Крім цього рекомендувати заходи щодо зменшення коефіцієнта концентрації напружень шляхом аргонодугового оплавлення або обробки механічним шляхом поздовжніх зварних швів з наступним шліфуванням.

7. Під час розробки методик випробувань необхідно враховувати проведення наступних видів випробувань: статичних міцнісних, на міцність при співударі, ходових динамічних та міцнісних, а також випробувань на втому. Проведення повного комплексу випробувань дозволить отримати інформацію щодо напружень в елементах конструкції, деформаціях і міцності елементів конструкції, дозволить на стадії виготовлення дослідного зразка визначити концентратори напружень та елементи конструкції з небезпечним рівнем напружень.



РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ І МІЦНІСНИХ ЯКОСТЕЙ ДОВГОБАЗНИХ ВАГОНІВ-ПЛАТФОРМ.

2.1 Програма та методика досліджень

2.1.1. Об'єкт досліджень

Об'єктом досліджень є довгобазний вагон-платформа моделі 13-7031, виготовлений у відповідності з вимогами технічної та конструкторської документації, розробленої підприємством-виробником і узгодженої в установленому порядку.

Експериментальні дослідження були проведені на дослідному зразку вагона, укомплектованому згідно з чинною технічною документацією на продукцію, остаточно прийнятому відділом технічного контролю (ВТК) підприємства-виробника, представником Інспекції замовника (ПАТ «Укрзалізниця») з оформленням акта готовності вагона до випробувань.

Відбір зразка вагона для досліджень (у обсязі кваліфікаційних, сертифікаційних та інших видів контрольних випробувань):

- для сертифікаційних випробувань виконує представник органа з сертифікації продукції (ОС) або уповноважений співробітник ВЦ ПВ ДП «УкрНДІВ» за дорученням ОС в присутності представників підприємства-замовника та інспекції ПАТ «Укрзалізниця» методом випадкового відбору або методом найбільшої об'єктивності з партії продукції, яка остаточно прийнята відділом технічного контролю (ВТК) підприємства-виробника, представником інспекції замовника та підготовленої до відправлення споживачу згідно з вимогами, які встановлені у нормативній документації на продукцію, або порядком, що встановлений ОС або ВЦ ПВ ДП «УкрНДІВ» за актом відбору та ідентифікації зразків;

- для всіх інших видів контрольних випробувань виконує представник ВЦ ПВ ДП «УкрНДІВ» у присутності представника підприємства-замовника ви-

пробувань методом випадкового відбору або методом найбільшої об'єктивності з партії продукції, яка остаточно прийнята відділом технічного контролю (ВТК) підприємства-виробника, з оформленням акту відбору та ідентифікації зразків.

Ідентифікацію зразка продукції виконують за нормативною документацією, зовнішнім виглядом виробу, конструкцією (складом), комплектністю й маркуванням перед початком випробувань.

Дослідний зразок вагона з комплектом нормативної, технічної (конструкторської) документації на продукцію та актом готовності подають на випробування у ВЦ ПВ ДП „УкрНДІВ”.

Транспортування та зберігання зразка вагона здійснюють відповідно до вимог, установлених нормативною та (або) експлуатаційною документацією, або QMS.ВЦ.П.7.02 [100].

При випробуваннях в якості вантажу використовувалися труби великого діаметру (57,97 т) і контейнери (61,2 т).

2.1.2 Види і послідовність проведення досліджень

Дослідження проводять у такій послідовності:

- статичні випробування на міцність від дії вертикального навантаження;
 - випробування на міцність від дії поздовжнього квазістатичного навантаження та випробування на міцність під час ремонту й обслуговування вагона;
 - випробування на міцність при співударі;
 - ходові міцнісні випробування у завантаженому стані;
 - ходові динамічні випробування у порожньому та завантаженому станах;
 - випробування з визначення рівня зовнішнього шуму у порожньому стані;
 - стаціонарні та поїзні гальмівні випробування вагона у порожньому і завантаженому станах.
- випробування з визначення власної частоти вертикальних коливань вагона та напружень в елементах під час скидання з клинів;

- стендові (циклічні) випробування від дії вертикальних сил, з визначенням динамічних напружень в елементах конструкції та кількості циклів коливань.

За узгодженням з керівником ВЦ ПВ ДП «УкрНДІВ» можна змінювати послідовність проведення випробувань вагона та його складових частин.

2.1.3 Вимірювальна апаратура

Дослідження проводились з використанням випробувального обладнання та засобів вимірювань ВЦ ПВ ДП «УкрНДІВ», що внесені в Паспорт ВЦ ПВ ДП «УкрНДІВ», а також орендованого у ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод». Відомості про випробувальне обладнання та засоби вимірювань наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Відомості про випробувальне обладнання та засоби вимірювань

Назва, марка і номер (заводський або інвентарний) випробувального обладнання і засобів вимірювальної техніки	Основні технічні характеристики (діапазон вимірювань, похибка)
1	2
Тензорезистори КФ 5П1-20-200 -А-12	Номінальний електричний опір $R=(200,0 \pm 0,2)$ Ом. СКВ чутливості $S_k = 0,003$ м. Середнє значення чутливості $K=2,14$. Граничне відносне відхилення номінального електричного опору 1,0 %
Система вимірювальна тензометрична ВВП 7/1, зав. № 1297, інв. № 153	Кількість каналів перетворення 16. Опір тензорезисторів (100-800) Ом. Напруга живлення вимірювальних мостів 2,5 В, 5 В. Діапазон вимірювань вихідного сигналу: (-10 - + 10) В. Кількість ступенів перетворення, мВ/В: $\pm 0,2$; $\pm 0,5$; $\pm 1,0$; $\pm 2,0$; $\pm 3,0$; $\pm 6,0 - 6$. Похибка вимірювань $\pm 1,5\%$.
Система вимірювальна тензометрична СИИТ - 3, зав. № 259, інв. № 74	Швидкодія - 20 вимірювань на секунду. Кількість каналів 100. Опір тензорезисторів (100-400) Ом. Діапазон вимірювань: $\pm (0-9999)$ мкОм/Ом. Похибка вимірювань $\pm 0,15\%$.

Закінчення таблиці 1

1	2
Термометр ТК-5.05, зав. № 315446, інв. № 441/06 з зондом поверхневим ЗПВ 150, зав. № 323878, з зондом волого- сті № 323000	Діапазон вимірювання: температури от -20 °С до + 400 °С, похибка ± 2 °С; вологості от 0 % до 100 %, похибка ± 3 %.
Гігрометр психрометричний ВИТ-2, зав. № А586, інв. № 632/06	Діапазон вимірювання вологості (20-90) %, температури (15-40) °С, похибка ± 0,2 °С, ± 1%, ціна поділки шкали 0,2 °С.
Динамометр ДОСМ 3-5, зав. № 406, інв. № 91	Діапазон вимірювань: (500-5000) кгс, 3 розряд
Секундомір сумарної дії типу СОП пр-2а-3-000, зав. № 3321, інв. № 480/07	Діапазон вимірювань (0-30) хв., ціна поділки шка- ли: секундної 0,2 с; хвилинної – 60 с. Похибка за 30 хв. ± 1,6 с.
Лінійка вимірювальна, ГОСТ 427-75, інв. № 422/01	Діапазон вимірювань: (0-500) мм, цена поділки шкали 1 мм, похибка ± 0,5 мм
Стенд для статичних випробу- вань Л17 0004.00.000 СБ зав. № 0004.00.000, інв. № 438	Зусилля стенда 400 ± 4 тс, вантажопідйомність 320 тс, хід плунжера - 160 мм
Стенд гірка зав. № 002, вагон- бойок зав. № 003 (оренда)	Ухил 0,021 %. Максимальна швидкість співудару 16 км/год. Довжина похилої ділянки гірки 65 м. Масса вагона-бійка 128 т
Стенд випробувань вагонів поз- довжніми розтягування- стискання навантаженнями мо- делі РС-300, інв. № 16971 (оренда)	Максимальна довжина вагона 26 м. Випробувальні навантаження: - розтягування до 2,5 МН; - стискання до 3,5 МН. Похибка вимірювань ± 2%
Ваги вагонні ВПП-100, зав. № 0139 інв. № 15738 (оренда)	Діапазон вимірювань: (2,5-100) т; Ціна поділки шкали: 5 кг, клас точності: середній
Автозчеп-динамометр № 21491	Діапазон вимірювань (0-3,5) МН
Датчик силовимірювальний С6А/5 МН, зав. № 115030441 (вторинний перетворювач СІИТ 3, № 259)	Діапазон вимірювань от 0,5 МН до 5,0 МН, категорія точности 0,5
Комплект силовимірювальний СП-500 зав. № 8, інв. № 608/02	Діапазон вимірювань (50-500) тс, похибка ± 1%
Домкрат гідравлічний	Вантажопідйомність 250 кН
Модуль Е-330 (аналогово - циф- ровий перетворювач) зав. № 6L715359, інв. № 444/08	Діапазон вимірювань: ± 5,12 В; ± 2,56 В; ± 1,024 В. Похибка α = ± (0,8-1,2) МЗР

Максимальна похибка вимірювань показників деформацій при проведенні статичних випробувань з використанням тензорезисторів та системи тензометричної СИИТ-3 складає $\pm 3,25\%$.

Максимальна похибка вимірювань показників деформацій з використанням вимірювальної системи М 100 складає $\pm 2,4\%$.

2.1.4 Методи досліджень (випробувань)

Статичні випробування на міцність від дії вертикального навантаження проводять методом вимірювання напружень у контрольних точках металоконструкції під дією статично прикладених навантажень згідно з [95 - 99].

Випробування на міцність від дії поздовжнього квазістатичного навантаження проводять методом вимірювання напружень у контрольних точках металоконструкції під час навантаження її поздовжніми силами розтягнення і силами стискання у стенді розтягнення-стискання згідно з [95 - 99]

Статичні випробування на міцність під час ремонту й обслуговування вагона проводять методом вимірювання напружень у контрольних точках металоконструкції навантаженнями, що імітують навантаження, які виникають під час ремонту й обслуговування вагона згідно з [95 - 99]

Під час проведення статичних випробувань на міцність візуально визначають (оцінюють) макродеформації (прогини хребтової і бокових балок).

Ходові динамічні та ходові міцнісні випробування проводять методом реєстрації процесів у контрольних точках металоконструкції під час дослідних поїздок у всьому проектному діапазоні експлуатаційних швидкостей на прямих та кривих ділянках колії, якщо це не загрожує безпеці руху. За результатами вимірювань виконують розрахунки, оцінюють ходові якості та міцність конструкції.

Випробування на міцність при співударі проводять методом накочування на дослідний вагон вагона-бойка масою не менше маси дослідного вагона з одночасною реєстрацією деформацій (напружень) і швидкості накочування вагона-бойка за допомогою засобів вимірювальної техніки. Під час проведення міцнос-

них випробувань і випробувань на міцність при співударі візуально визначають (оцінюють) макродеформації (прогини хребтової і бокових балок).

Випробування з визначення власних частот вертикальних коливань вагона проводяться методом вимірювання напружень в дослідних зонах рами вагона під дією динамічних навантажень під час скидання вагона з клинів або за результатами ходових міцнісних випробувань.

Стенові (циклічні) випробування від дії вертикальних сил проводяться методом вимірювання напружень у контрольних точках металоконструкції під дією динамічних навантажень.

Реєстрацію напружень у несучих елементах конструкції вагона здійснюють шляхом запису величин експериментальних даних на жорсткий диск комп'ютера з використанням програмно-апаратних засобів збору інформації.

2.1.5 Порядок проведення випробувань

Перед проведенням випробувань перевіряють справність ВУ та ЗВТ.

Перед початком міцносних випробувань проводять підготовку вагона:

- підбір тензорезисторів;
- підготовка місць установки тензорезисторів на елементах конструкції дослідного вагона.

Міцнісні випробування від дії вертикального навантаження проводять у такому порядку:

- зважування порожнього вагона, реєстрація напружень (деформацій) у вибраних елементах у порожньому режимі за допомогою засобів вимірювальної техніки;
- завантаження вагона;
- зважування завантаженого вагона;
- реєстрація напружень (деформацій) за допомогою засобів вимірювальної техніки;
- розвантаження вагона;

реєстрація напружень (деформацій) за допомогою засобів вимірювальної техніки;

- огляд конструкції.

Випробування на міцність від дії поздовжнього квазістатичного навантаження включають:

- установку порожнього вагона в стенд розтягнення-стискання;

- навантаження вагона поздовжніми силами стискання за I режимом – мінус 2,5 МН та за III розрахунковим режимом – мінус 1,0 МН з наступною реєстрацією напружень у вибраних елементах за допомогою засобів вимірювальної техніки;

- навантаження вагона поздовжніми силами розтягнення за I режимом – плюс 2,0 МН, та за III розрахунковим режимом – плюс 1,0 МН з наступною реєстрацією напружень у вибраних елементах за допомогою засобів вимірювальної техніки.

Статичні випробування на міцність від дії сил, що виникають в експлуатації під час ремонту й обслуговування включають:

- вимірювання напружень у елементах завантаженого вагона від підйому за два кінці шворневої балки до відриву п'ятника вагона від підп'ятника надресорної балки;

- вимірювання напружень в елементах завантаженого вагона від підйому за один кінець шворневої балки для заміни елементів ресорного комплекту або коробки бокового ковзуна візка;

- вимірювання напружень в елементах порожнього вагона від підйому під кінці шворневих балок по діагоналі.

Ходові динамічні та ходові міцнісні випробування проводяться згідно розпорядження ПАТ «Укрзалізниця».

Ходові міцнісні та ходові динамічні випробування проводять у завантаженому стані. Під час підготовки дослідного напіввагона до ходових випробувань проводять підбір тензорезисторів, розмічання, зачистку місць для наклеювання тензорезисторів на рамі та візках вагона. Тензорезистори за допомогою пі-

дпаяних до них кабелів з'єднують з масштабними перетворювачами і апарату-рою, що реєструє й обробляє дані випробувань, установленими у вагоні-лабораторії.

До початку випробувань повинна бути проведена інструментальна пере-вірка стану колії. За результатами вимірювань стану колії вагоном-колєсвимірювачем визначають бальну оцінку стану колії та можливість прове-дення випробувань довгобазної платформи з необхідною швидкістю руху дослі-дного поїзда. Ділянка колії має допускати рух дослідного поїзда зі швидкостями, установленими технічною документацією, відповідати вимогам інструкцій з по-точного утримання колії та бути атестованою.

Умовами початку проведення випробувань є завершення монтажу та го-товність випробувального обладнання.

Схеми розташування тензодатчиків для реєстрації напружень при ходо-вих динамічних та ходових міцносних випробуваннях наводяться на рисунках. Допускається коригування схем розміщення датчиків у процесі підготовки дос-лідного зразка, що не знижує обсягу і якості проведення випробувань.

Реєстрація вимірюваних процесів має проводитися в усьому проектному діапазоні експлуатаційних швидкостей. Під час руху в кривих і стрілочних пере-водах потрібно дотримуватися установлених правил технічної експлуатації і но-рмативних указівок щодо швидкостей руху. При цьому рекомендується почина-ти випробування з малих швидкостей (8,33 – 11,1) м/с ((30 – 40) км/год), із пода-льшим збільшенням швидкості руху через кожні 2,78 м/с (10 км/год) до макси-мальної (120 км/год). Масив експериментальної інформації по досліджуванім величинам створюється шляхом послідовного набору обсягу записів (реалізацій) процесів при різних швидкостях і режимах руху дослідного поїзда як на характе-рних попередньо вибраних (намічених), так і на випадкових (що довільно чер-гуються) відрізках залізничної колії.

Випробування вагона на міцність при співударі проводять у двох режи-мах: у «вільностоячому» та «в упорі», для чого:

- вагон обладнують спеціальним автозчепом-динамометром, попередньо проградуйованим статичним навантаженням до 400 тс;
- вагон завантажують до номінальної вантажопідйомності;
- проводять зважування завантаженого вагона;
- випробування проводять у завантаженому стані з підпором із завантажених вагонів загальною масою не менше 300 т. Переміщення зчепу обмежують спеціальними упорами (башмаками);
- співударі проводять шляхом накочування на дослідний вагон вагона-бойка масою не менше маси дослідного вагона з початковою швидкістю від (2-3) км/год (або силою 0,5 МН) із наступним збільшенням інтервалу швидкості по 2 км/год до досягнення сили 3,5 МН. При цьому проводять не менше трьох ударів у кожному діапазоні швидкості (сили удару);
- реєструють деформації (напруження) і швидкість набігання вагона-бойка за допомогою засобів вимірювальної техніки;
- наклеюють тензорезистори;
- монтаж з'єднувальних кабелів до тензорезисторів і апаратури, що реєструє;
- налагодження та перевірка роботоздатності апаратури.

Випробування рекомендується проводити окремими серіями співударів. Після кожної серії співударів проводять перевірку технічного стану вагона та його обладнання. Огляд конструкції виконують після кожних (3-5) ударів.

Для оцінки власних частот вертикальних коливань вагона та встановлення залежності напружень в дослідних зонах конструкції від напружень в елементах середнього перерізу рами під час вільних коливань, проводиться скидання вагона з клинів, які встановлені під усі колеса.

Стенові (циклічні) випробування від дії вертикальних сил.

Для створення резонансного режиму коливання демпферні елементи візка (фрикційні клини) вилучаються з роботи.

Завантаження вагона проводиться до номінальної вантажопідйомності згідно схеми, яка відповідає технічним умовам навантаження та забезпечує максимальні напруження в дослідних зонах.

Проводиться визначення статичного прогину рами та ресорного комплекту від ваги вантажу.

З метою зменшення кількості циклів коливань (форсування випробувань) рекомендується збільшення (не більш 30 %) ваги вантажу, а також змінювання схем навантаження.

Пневмопульсаторний елемент вібраційного пристрою встановлюється під ударну розетку. Для підвищення рівня напружень в дослідних зонах допускається зміщувати пневмопульсаторний елемент уздовж поздовжньої осі вагона до шворневої балки.

Вибір режиму випробувань виконується по величині амплітуд динамічних напружень в дослідних зонах конструкції вагона, які повинні у 1,5 – 2,0 рази перевищувати розрахункову границю витривалості по амплітуді при базовій кількості циклів. При цьому розрахункове число циклів випробувань повинно бути в межах від $5 \cdot 10^5$ до $5 \cdot 10^7$.

Випробування виконуються шляхом збудження коливань підплигування на пружинах підвішування та згинальних коливань рами вагона.

Через кожну годину без зупинки вібраційного пристрою візуально контролюються з реєстрацією в журналі випробувань:

- наявність та динаміка розвитку тріщин в несучих елементах конструкції вагона;

- наявність ушкоджень інших (не несучих) вузлів та деталей вагона.

Через кожні 6 годин, а також при кожному запуску вібраційного пристрою, реєструються:

- динамічні напруження в дослідних зонах конструкції вагона;

- досягнута кількість циклів коливань.

Через кожні 6 годин проводиться зупинка вібраційного пристрою, детальний огляд конструкції вагона та приймається рішення про продовження випробувань:

- якщо тріщини в дослідних зонах конструкції вагона не виявлені та досягнута кількість циклів коливань менше розрахункового, то випробування продовжуються;

- якщо тріщини в дослідних зонах конструкції вагона не виявлені та кількість циклів коливань досягнула розрахункового, то випробування вважаються завершеними;

- при виявленні тріщини в дослідних елементах вагона до досяжності розрахункової кількості коливань, випробування продовжуються до втрати несучої здатності;

- при втраті несучої здатності конструкції вагона випробування вважаються закінченими.

Умовами початку проведення випробувань є завершення монтажу, налагодження вимірювальних схем і готовність випробувального обладнання.

Допускається коригування схем розміщення датчиків у процесі підготовки дослідного зразка, що не знижує обсягу й якості проведення випробувань.

Під час випробувань кількість і склад показників можуть коригуватися. Отримані під час проведення випробувань дані записуються на магнітний диск ПК.

Вимірювання кожного показника об'єкта випробувань за допомогою ЗВТ виконують не менше трьох разів. За дійсне (фактичне) значення розміру приймають середнє арифметичне значення результатів вимірювань.

2.1.6 Обробка даних, оцінка їхньої точності

Умови і результати випробувань реєструють у журналі випробувань.

Похибка вимірювання обумовлена засобами вимірювальної техніки, що застосовуються.

За фактичне значення показника приймають середньоарифметичне значення результатів вимірювань.

Розрахунок середньоарифметичного значення результатів вимірювань параметрів \bar{B}_j , виконують за формулою (2.1):

$$\bar{B}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_{ij}, \quad (2.1)$$

де e_{ij} - i -й результат вимірювання j -го параметра;

n - кількість вимірювань.

Точність результатів випробувань оцінюють за величинами похибок ЗВТ, що використовуються, а також за величинами інших факторів, які впливають на точність вимірювань.

Обробку даних статичних випробувань на міцність виконують з використанням автоматизованих комплексів обробки дослідних даних із застосуванням статистичних методів. Величину напружень у мегапаскалях при статичних випробуваннях на міцність визначають за різницею показань засобів вимірювальної техніки до завантаження об'єкту випробувань та після нього:

$$\sigma_{\text{впр.}} = (\Delta - \Delta_0) \cdot K, \quad (2.2)$$

де Δ – показання засобів вимірювальної техніки у завантаженому стані об'єкта випробувань;

Δ_0 – показання засобів вимірювальної техніки у порожньому стані об'єкта випробувань;

K – калібрувальний коефіцієнт засобів вимірювальної техніки, що визначається за формулою (2.3):

$$K = \frac{R_d}{R_{\text{ш}} \cdot A_{\text{ш}}}, \quad (2.3)$$

де R_d – опір тензорезистора, Ом;

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

$A_{\text{ш}}$ – амплітуда (відхилення) процесу, виміряна під час калібрування, В.

Напруження σ , у МПа, в елементах конструкції у місцях установки тензорезисторів визначають за формулою (2.4):

$$\sigma = a \cdot \frac{R_d}{R_{ш} \cdot A_{ш}} \cdot \frac{E}{K_t}, \quad (2.4)$$

де a – амплітуда (відхилення) процесу, В;

R_d – опір тензорезистора, Ом;

$R_{ш}$ – опір калібрувального шунта, Ом;

$A_{ш}$ – амплітуда (відхилення) процесу, виміряна під час калібрування, В;

E – модуль пружності матеріалу досліджуваної деталі, МПа;

K_t – коефіцієнт чутливості тензорезистора.

Обробку результатів випробувань для визначення сумарних напружень за I та III розрахунковими режимами навантаження у контрольних точках вагона виконують згідно з вимогами [95, 96].

Напружений стан елементів конструкції вагона в умовах експлуатації оцінюють за I та III випробувальними режимами:

- сумарні напруження для I режиму розраховують за формулою (2.5):

$$\sigma_{\text{вер}} + \sigma_{\text{позд}} + \sigma_{Pz} + \sigma_{Pn} < [\sigma]_I, \quad (2.5)$$

де $\sigma_{\text{вер}}$ – напруження від дії вертикального навантаження брутто, МПа;

$\sigma_{\text{позд}}$ – напруження від дії поздовжнього навантаження брутто, МПа;

σ_{Pz} – вертикальна складова динамічної сили на візок від дії поздовжньої сили інерції, МПа;

σ_{Pn} – поперечна складова поздовжньої квазістатичної сили, МПа;

$[\sigma]_I$ – допустимі напруження в елементах вагона за I режимом, МПа;

- сумарні напруження для III режиму розраховують за формулою (2.6):

$$\sigma_{\text{вер}} + \sigma_{\text{позд}} + \sigma_{\text{дин}} + \sigma_{Pц} < [\sigma]_{III}, \quad (2.6)$$

де $\sigma_{\text{вер}}$ – напруження від дії вертикального навантаження брутто, МПа;

$\sigma_{\text{позд}}$ – напруження від дії поздовжнього навантаження брутто, МПа;

$\sigma_{\text{дин}}$ – напруження від дії вертикальної динамічної добавки, МПа;

$\sigma_{Pц}$ – напруження від дії бокової сили, МПа;

$[\sigma]_{III}$ – допустимі напруження в елементах вагона за III режимом, МПа.

Оцінку результатів статичних випробувань навантаженнями, що виникають під час ремонту й обслуговування вагона, виконують шляхом порівняння напруження від дії вертикального навантаження бруто і зусиль, що виникають у вагоні під час різних видів підйомів, з допустимими за I режимом навантаження.

Результати ходових динамічних випробувань визначають на підставі даних (вимірювань, розрахунків, візуального контролю), зафіксованих на оптичних носіях і в журналі випробувань.

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 стандартного програмного математичного забезпечення статистичної обробки динамічних процесів. Методика обробки і оцінки результатів випробувань виконана у відповідності до вимог [101, 102]. За даними зареєстрованих процесів обчислюють такі показники:

- коефіцієнти вертикальної і горизонтальної динаміки;
- коефіцієнт запасу поперечної стійкості вагона від бокового перекидання у порожньому та звантаженому станах;
- коефіцієнт запасу стійкості колісної пари від сходу з рейки;

Зареєстровані на оптичних носіях динамічні процеси випробувань вагона обробляють за допомогою програми обчислення миттєвих значень амплітуд процесу. Записи реалізацій проводять в обох напрямках руху поїзда загальною тривалістю не менше 300 с у кожному діапазоні швидкостей. Частоту дискретизації записів динамічних процесів вибирають не менше ніж 128 Гц, що дозволяє визначати показники у потрібному частотному діапазоні. За кожною реалізацією 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 км/год, починаючи зі швидкості 40 км/год. За цими показниками наводять основні висновки про ходові якості дослідного вагона.

За результатами обробки для кожного діапазону швидкостей отримують максимальні величини коефіцієнтів динаміки з довірчою імовірністю 0,999, а мінімальні величини коефіцієнтів запасу стійкості від сходу колеса з рейки і перекидання – з імовірністю 0,001.

Коефіцієнт вертикальної динаміки обчислюють як відношення динамічних сил до статичного навантаження, коефіцієнт горизонтальної динаміки – як відношення рамних сил до статичного навантаження на колісну пару.

Коефіцієнт запасу стійкості колісної пари від сходу з рейки K_{yc} визначають розрахунковим шляхом за інтегральним коефіцієнтом, обчисленим для всього діапазону експлуатаційних швидкостей при імовірності 0,001, за формулою (2.7):

$$K_{yc} = \frac{\operatorname{tg}\beta - \mu}{1 + \mu \cdot \operatorname{tg}\beta} \cdot \frac{P_b}{P_6}, \quad (2.7)$$

де β – кут нахилу гребеня колеса до горизонтальної осі, у градусах;

μ – коефіцієнт тертя ковзання між гребенем набігаючого колеса і рейкою, приймають рівним 0,25;

P_b – вертикальне навантаження від набігаючого колеса на рейку, МН;

P_6 – бокова сила взаємодії гребеня набігаючого колеса і головки рейки, МН.

Коефіцієнт запасу поперечної стійкості вагона від бокового перекидання у порожньому та завантаженому станах K_y визначають за величинами динамічних сил, що діють у експлуатації на вагон під час проходження кривих ділянок колії різного радіуса зі швидкостями, при яких реалізується рівень непогашеного прискорення до $0,7 \text{ м/с}^2$ з відношення (2.8):

$$K_y = \frac{K_d^n - K_d^p + 2}{K_d^n + K_d^p}, \quad (2.8)$$

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

Рівень непогашеного прискорення a_r визначається з відношення (2.9):

$$a_r = \frac{V^2}{R} - \frac{h_p}{2S} \cdot g, \quad (2.9)$$

де V – швидкість руху, м/с;

R – радіус кривої, м;

h_p – підвищення зовнішньої рейки, м;

$2S$ – відстань між кругами катання колісної пари, м;

g – прискорення сили ваги, м/с².

Результати ходових міцносних випробувань визначають на підставі даних (вимірювань, розрахунків, контролю, візуального огляду), зафіксованих на оптичних носіях і в журналі випробувань.

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 стандартного програмного математичного забезпечення статистичної обробки динамічних процесів. Методика обробки і оцінки результатів випробувань виконана у відповідності до вимог [95 - 99]. За даними зареєстрованих процесів обчислюють такі показники:

- коефіцієнт запасу опору втомі.

Зареєстровані на оптичних носіях динамічні процеси випробувань вагона обробляють за допомогою програми обчислення миттєвих значень амплітуд процесу. Записи реалізацій проводять в обох напрямках руху поїзда загальною тривалістю не менше 300 с у кожному діапазоні швидкостей. 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 км/год, починаючи зі швидкості 40 км/год. За цими показниками наводять основні висновки про міцнісні якості дослідного вагона.

Коефіцієнт запасу опору втомі n визначають за формулою (2.10):

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,0}} \geq [n], \quad (2.10)$$

де $\sigma_{a,N}$ – границя витривалості (за амплітудою) натурної деталі по симетричному циклу і установленому режиму навантажень на базі випробувань N_0 , МН;

$\sigma_{a,0}$ – розрахункова величина еквівалентної амплітуди динамічного напруження у реальному режимі експлуатаційних випадкових навантажень за проектний термін служби конструкції, МН;

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

Границю витривалості натурної деталі $\sigma_{a,N}$ розраховують за формулою (3.9) [95], а розрахункову величину амплітуди динамічного напруження $\sigma_{a,0}$ за формулою (3.18) згідно з [95]. Величину коефіцієнта зниження межі витривалості натурної деталі $(\overline{K_\sigma})_k$ для типових елементів вагонних конструкцій вибирають за даними таблиці 3.2 [95].

Обробка та оцінка результатів випробувань на опір втомі проводиться відповідно до затвердженої методики випробувань з опору втомі [103].

Розрахункова кількість циклів при випробуваннях визначається за формулою (2.11):

$$N_{ucn}^p = \left(\frac{\sigma_{a,N}^p}{\sigma_{a,ucn}^p} \right)^m N_0, \quad (2.11)$$

де m – показник степеня у рівнянні кривої втоми. Відповідно з [95] для металоконструкцій вагонів з низьковуглецевої та легованої

сталі, $m = 4$;

N_0 – базове число циклів, $N_0 = 10^7$;

$\sigma_{a,исп}^{max}$ – максимальна серед дослідних зон конструкції платформи амплітуда динамічних напружень при випробуваннях.

За результатами випробувань визначається границя витривалості рами платформи за формулою:

$$\sigma_{a,N} = \sigma_{a,исп} \sqrt{\frac{N_{исп}}{N_0}}, \quad (2.12)$$

де $\sigma_{a,исп}$ – амплітуда динамічного напруження в досліджуваній зоні при випробуваннях;

$N_{исп}$ – досягнута при випробуваннях кількість циклів коливань до виявлення тріщини в досліджуваній зоні.

Для досліджуваної зони коефіцієнт запасу опору втомі обчислюється за формулою:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,э}}, \quad (2.13)$$

де $\sigma_{a,N}$ – границя витривалості рами платформи в досліджуваній зоні, яка визначена експериментальним шляхом (формула 2.12);

$\sigma_{a,э}$ – еквівалентна наведена амплітуда динамічних напружень в досліджуваній зоні, яка визначена розрахунковим шляхом.

З виразу (2.14):

$$\sigma_{a,N}^p \geq [n] \cdot \sigma_{a,э}, \quad (2.14)$$

де $[n]$ – допустимий коефіцієнт запасу опору втомі, приймається

$[n]=1,5$;

Якщо після досягнутої розрахункової кількості циклів тріщину не виявлено, то приймається:

$$N_{исп} = N_{исп}^p \cdot 1,1, \quad (2.15)$$

Еквівалентна наведена амплітуда динамічних напружень в досліджуваній зоні рами розраховується за формулою:

$$\sigma_{a,\varepsilon} = \frac{\sigma_{a,кл} \cdot \sigma_{a,\varepsilon}^H}{\sigma_{a,кл}^H}, \quad (2.4.16)$$

де $\sigma_{a,кл}$ – амплітуда динамічного напруження, зареєстрована в досліджуваній зоні рами при випробуваннях по скиданню платформи з клинів;

$\sigma_{a,кл}^H$ – амплітуда динамічного напруження, зареєстрована в центральному перерізі рами при випробуваннях по скиданню платформи з клинів;

$\sigma_{a,\varepsilon}^H$ – розрахункова еквівалентна наведена амплітуда динамічних напружень в центральному перерізі рами при русі платформи в експлуатації:

$$\sigma_{a,\varepsilon}^H = \sigma_{ст}^H K_{\varepsilon}, \quad (2.17)$$

де $\sigma_{ст}^H$ – статичне напруження в центральному перерізі рами;

K_{ε} – еквівалентний наведений коефіцієнт вертикальної динаміки в центральному перерізі платформи:

$$K_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{N}{N_0} \sum_k (\bar{K}_{\varepsilon})_k^m P_k(V)}, \quad (2.18)$$

$(\bar{K}_{\varepsilon})_k$ – середнє ймовірне значення коефіцієнта вертикальної динаміки для k-ого інтервалу швидкості;

$P_k(V)$ – частота повторення швидкостей в k-му діапазоні (див. таблицю 2.1);

N – кількість циклів вертикальних коливань завантаженої платформи, що виникають за її термін служби:

$$N = f_s T_p, \quad (2.19)$$

де T_p – сумарний час дії динамічних навантажень за розрахунковий термін служби, сек:

$$T_p = \frac{\bar{L}}{V} (1 - K_H), \quad (2.20)$$

де \bar{L} – проектний пробіг платформи ($\bar{L} = 2,24$ млн. км);

\bar{v} – проектна середня технічна швидкість руху платформи (для вагонів з конструкційною швидкістю 120 км/год згідно з [95]

$$\bar{v} = 22,4 \text{ м/с);}$$

K_{II} – коефіцієнт порожнього пробігу платформи, $K_{II} = 0,4$;

f_s – ефективна частота процесу змін динамічних навантажень, визначена за результатами скидання з клинів.

В якості вихідного спектру навантаження центрального перерізу рами платформи приймається статистичний розподіл коефіцієнтів вертикальної динаміки, відповідний розподілу швидкостей руху платформи в експлуатації, обчислений відповідно до [95] (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Нормативна щільність розподілу швидкостей руху платформи з конструкційною швидкістю 120 км/год

Діапазон швидкостей, k	Середня швидкість інтервалу, \bar{v}_k , м/с	Частота повторення швидкостей в діапазоні, $P_k(V)$
1	6,25	0,03
2	13,75	0,07
3	16,25	0,09
4	18,75	0,12
5	21,25	0,16
6	23,75	0,19
7	26,25	0,16
8	28,75	0,10
9	31,25	0,06
10	33,75	0,02

Середнє ймовірне значення коефіцієнта вертикальної динаміки, відповідне середньої швидкості інтервалу \bar{v}_k , обчислюється за формулою:

$$(\bar{K}_{\partial\sigma})_k = \begin{cases} \bar{V}_k / V_0, & \text{якщо } \bar{V}_k < V_0 \\ a + 3.6 \cdot 10^{-4} (\bar{V}_k - V_0) / \bar{f}_{cm}, & \text{якщо } \bar{V}_k \geq V_0 \end{cases}, \quad (2.21)$$

де a – коефіцієнт, рівний для кузова вагона 0,05;

V_0 – порогове значення швидкості, $V_0 = 15$ м/с;

\tilde{f}_{cm} – наведений статичний прогин вагона при завантаженні до повної вантажопідйомності:

$$\tilde{f}_{cm} = f_{cm} - 0.5f_p, \quad (2.22)$$

f_{cm} – вимірний статичний прогин ресорного підвішування від ваги рами вагона і вантажу;

f_p – вимірний статичний прогин рами вагона від ваги вантажу.

Оцінка результатів випробувань проводиться у відповідності з наступними положеннями:

- якщо коефіцієнт запасу опору втомі перевищує допустиме значення, $n \geq [n]$, то рама вагона має достатній опір втомі на весь проектний пробіг;

- якщо коефіцієнт запасу опору втомі менше допустимого значення, $n < [n]$, то рама вагона не має достатнього опору втомі на весь проектний пробіг.

Може бути рекомендований новий умовний пробіг, розрахований за формулою:

$$L = \left(\frac{n}{[n]} \right)^m \bar{L}, \quad (2.23)$$

де \bar{L} – проектний пробіг платформи ($\bar{L} = 2,24$ млн. км);

$[n]$ – допустимий коефіцієнт запасу опору втомі, приймається $[n] = 1,5$.

Розрахунок невизначеності вимірювань виконують з урахуванням вимог: QMS.ВЦ.І.7.43 [104], QMS.ВЦ.І.7.44 [105], QMS.ВЦ.І.7.46 [106], QMS.ВЦ.І.7.47 [107], QMS.ВЦ.І.7.59 [108]; QMS.ВЦ.І.7.63 [109]; QMS.ВЦ.І.7.65 [110]; QMS.ВЦ.І.7.66 [111], QMS.ВЦ.І.7.81 [112], QMS.ВЦ.І.7.82 [113], QMS.ВЦ.І.7.83 [114].

Результати випробувань оформлюють у вигляді протоколів випробувань за формою, установленною системою управління якістю.

2.2 Результати експериментальних досліджень

У таблицях 2.3 - 2.6 (Додаток А) наведені напруження в несучих елементах металоконструкції вагона від дії квазістатичних навантажень, а також в режимі співударів згідно [95, 96, 99] . Такі характеристики, як сумарні напруження в елементах рами вагона при квазістатичних навантаженнях, визначені відповідно до вимог [95, 96, 99], виходячи з зареєстрованих в процесі випробувань реальних значень напруження.

Оцінка міцності конструкції вагона при дії нормативних ударних навантажень визначалась за сумарними напруженнями від вертикального статичного навантаження брунто та від поздовжнього навантаження при силі удару 3,5 МН. Отримані результати ходових міцносних випробувань (таблиця 2.7 додатку А) свідчать про недостатню втомну міцність елементів конструкції вагона-платформи. Виникає необхідність у проведенні поглиблених теоретичних досліджень динаміко-міцносних якостей вагона-платформи.

2.3 Висновки за розділом 2.

1. Максимальні сумарні напруження в елементах вагона-платформи моделі 13-7031 від дії вертикальних та поздовжніх навантажень за I і III розрахунковими режимами відповідають нормативним вимогам. Максимальні сумарні напруження за I розрахунковим режимом склали 264,7 МПа в хребтовій балці, переріз I-I, при допустимому значенні 265 МПа. Максимальні сумарні напруження за III розрахунковим режимом склали 188,5 МПа в хребтовій балці, переріз VI-VI, при допустимому значенні 190 МПа та 194,4 МПа в боковій балці, переріз 0-0, при допустимому значенні 195 МПа.

2. Максимальні сумарні напруження в елементах конструкції вагона-платформи моделі 13-7031 від дії вертикальних навантажень та режиму співудару, при завантаженні трубами великого діаметру, відповідають нормативним вимогам.

3. Максимальні сумарні напруження в елементах конструкції вагона-платформи моделі 13-7031 від дії вертикальних навантажень та режиму співудару, при завантаженні контейнерами, відповідають нормативним вимогам, крім балки хребтової (в місці з'єднання зі шворневою). Максимальні сумарні напруження в хребтовій балці, переріз VI-VI, склали 330 МПа, при допустимому значенні 295 МПа.

4. Коефіцієнти запасу опору втомі хребтової та бокових балок вагона-платформи моделі 13-7031, завантаженого двома 40-ка футовими контейнерами, не відповідають вимогам [95, 96]

5. Балка хребтова, в місці з'єднання зі шворневою балкою потребує підсилення розкосами, накладками або заміною з підвищенням класу міцності сталі з 295 до 345 - 390 МПа.

РОЗДІЛ 3

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ І МІЦНІСНИХ ЯКОСТЕЙ ДО-
ВГОБАЗНИХ ВАГОНІВ-ПЛАТФОРМ

3.1. Математична модель просторових коливань вагонів-платформ

Відомі математичні моделі для вивчення динамічного навантаження рейкових екіпажів [54-57, 63, 65, 69, 115-118] та для вантажних вагонів [58, 84, 88, 119-121]. Розглядаються коливання вантажних вагонів, як у плоскій, так і в просторовій постановці завдань. Просторові розрахункові моделі та розрахунки з використанням методу скінчених елементів (МСЕ) дозволяють отримувати досить надійну оцінку напружено-деформованого стану дослідних конструкцій, у тому числі найбільш навантажених зон. З розвитком обчислювальної техніки і широким поширенням методу скінчених елементів для дослідження НДС конструкцій вагонів стали використовувати скінчено-елементні розрахункові схеми. Це дозволило більш точно описувати НДС деталей. Метод скінчених елементів (МСЕ) дає можливість на стадії проектування досить точно оцінити НДС конструкцій і за необхідністю оптимізувати конструкцію.

Розрахунки з використанням методу скінчених елементів (МСЕ) почали активно використовувати починаючи з 70-х років минулого століття. Теоретичні аспекти МСЕ в галузі розрахунків складних систем розглянуті в роботах Л.О. Розіна [122-126], О.К. Зенкевича [127, 128], М.М. Шапошникова [129], В.П. Бикова [129], О.І. Бикова [131], К. Бате [132], О.В. Чигарева, [133], О.С. Сахарова [134], П.М. Варнака [135], Д. Норрі [136], В.О. Буряки [137], О.О. Алямовського [138], А. Чернова [139], О.В. Конюхова [140] та ін.

МСЕ заснований на уявному поданні суцільного тіла у вигляді сукупних окремих кінцевих елементів, взаємодіючих між собою в кінцевому числі вузлових точок. У цих точках прикладаються деякі фіктивні зусилля взаємодії, що характеризують дію розподільних внутрішніх напружень, прикладених вздовж реальних граней стикування суміжних елементів. Якщо така ідеалізація вихідного

пружного тіла (конструкції) можлива, то проблема зводиться до розрахунку пружної системи з кінцевим числом ступенів свободи. Заміна вихідної інформації сукупністю дискретних елементів передбачає рівність енергій конструкції і її дискретної моделі. Характер взаємодії між скінченими елементами вибирається таким, щоб зменшення розмірів скінченого елемента призвело до отримання рішення, що прагне до точного.

В останні роки розроблено, а також інтенсивно створюється і вдосконалюється цілий ряд потужних обчислювальних програмних комплексів для вирішення задач механіки деформованих систем чисельними методами на сучасних комп'ютерах. До таких програмних комплексів відносяться ANSYS, Nustran, Abacus, Catia та ін. Ці програмні комплекси дозволяють в значній мірі автоматизувати підготовку інформації та обробку отриманих результатів, що особливо ефективно при проведенні різноманітних розрахунків.

Розглянемо найбільш повну математичну модель просторових коливань вантажного чотиривісного вагона з трьохелементними двовісними візками, в основу якої покладено математичну модель, запропоновану академіком Всеволодом Арутюновича Лазаряном [54] та розвинену в працях професорів Є.П. Блохіна, В.Д. Данович, М.Л. Коротенко, В.Ф. Ушкалова, Г.І. Богомаза, а також представниками інших наукових шкіл І.І. Челноковим, Ю.П. Бороненко, М.М. Соколовим.

Для формування математичних моделей просторових коливань вантажного вагона спочатку виконаємо опис розрахункової схеми.

3.1.1. Опис розрахункової схеми

Математична модель просторових коливань вантажного вагона [54] передбачає розгляд коливань чотиривісного вантажного вагона, що виникають внаслідок його руху по ізольованій нерівності колії. При цьому вважаємо, що на обох нитках рейкової колії є однакові нерівності, і тому розглядаємо коливання вагона в його поздовжній площині симетрії. Раму вагона вважатимемо твердим ті-

лом. Силу тертя в демпферах приймаємо пропорційною швидкості стиснення ресорних комплектів. Вагон рухається по пружно-в'язкій залізничній колії так, що реакція колії пропорційна як його деформації, так і швидкості цієї деформації.

При зроблених припущеннях розглянемо коливання механічної системи у вигляді чотирьохвісної довгобазної платформи, розрахункова схема якої зображена на рис. 3.1.

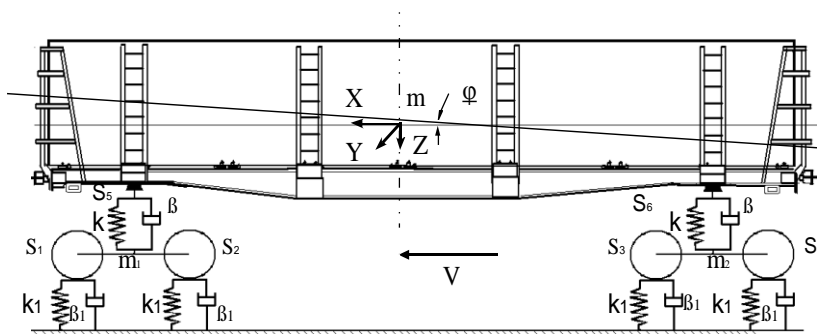


Рисунок 3.1 - Розрахункова схема платформи

Введемо позначення для лінійних і кутових переміщень тіл системи:

x , x_1 і x_2 поступальні переміщення центрів мас рами і невідресорених частин візків уздовж осі колії;

z , z_1 і z_2 вертикальні переміщення центрів мас рами і невідресорених частин візків;

φ , φ_1 і φ_2 кути повороту рами і невідресорених частин візків щодо осі Y .

Припустимо, що $x = x_1$, і $x = x_2$, при цьому система буде мати $9-2 = 7$ ступенів свободи і координата x виявиться циклічною.

Введемо позначення, при цьому переміщення центру мас відресореної частини вагона уздовж осі колії одно $x + x^* = x + h\varphi$, а додаткове переміщення у вертикальному напрямку $z^* = \frac{h\varphi^2}{2}$. Далі введемо такі позначення: β - коефіцієнт в'язкого тертя в демпферах; β_1 - коефіцієнт в'язкого тертя у колії; k_1 - жорсткість

колії; $I_{y1} = I_{y2}$ - моменти інерції візків щодо їх головних центральних осей, перпендикулярних поздовжній площині симетрії.

Введемо узагальнені координати:

$$z = q_1, \varphi = q_2, z_1 = q_3 + q_4, z_2 = q_3 - q_4, \varphi_1 = q_5, \varphi_2 = q_6, x = q_7.$$

Кінетична енергія системи дорівнює

$$\begin{aligned} T = & \frac{1}{2} m \dot{q}_1^2 + \frac{1}{2} m (\dot{q}_7 + h \dot{q}_2)^2 + \frac{1}{2} I_y \dot{q}_2^2 + \frac{1}{2} m_1 (\dot{q}_3 + \dot{q}_4)^2 + \\ & + \frac{1}{2} m_1 (\dot{q}_3 - \dot{q}_4)^2 + \frac{1}{2} I_{y1} \dot{q}_5^2 + \frac{1}{2} I_{y1} \dot{q}_6^2 + \frac{1}{2} m_1 \dot{q}_7^2 + \\ & + \frac{1}{2} m_1 \dot{q}_7^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{I_0}{r^2} n \dot{q}_7^2, \end{aligned}$$

або:

$$\begin{aligned} T = & \frac{1}{2} a_{11} \dot{q}_1^2 + \frac{1}{2} a_{22} \dot{q}_2^2 + \frac{1}{2} a_{33} \dot{q}_3^2 + \frac{1}{2} a_{44} \dot{q}_4^2 + \frac{1}{2} a_{55} \dot{q}_5^2 + \\ & + \frac{1}{2} a_{66} \dot{q}_6^2 + \frac{1}{2} a_{77} \dot{q}_7^2 + a_{27} \dot{q}_2 \dot{q}_7, \end{aligned}$$

де:

$$\begin{aligned} a_{11} = m, \quad a_{22} = I_y + mh^2, \quad a_{33} = a_{44} = 2m_1; \\ a_{55} = a_{66} = I_{y1}, \quad a_{77} = m + 2m_1 + \frac{4I_0}{r^2}, \quad a_{27} = mh. \end{aligned}$$

Потенційну енергію системи знайдемо по теоремі Клапейрона, при цьому величиною $Gh \frac{q_2^2}{r}$ можна знехтувати:

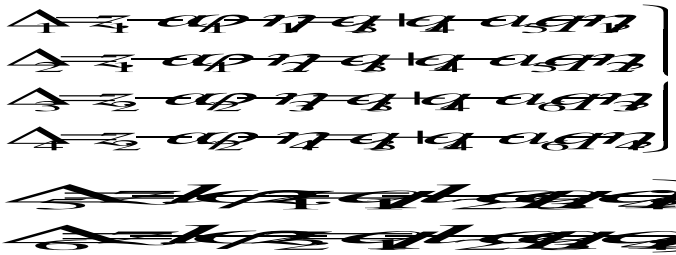
$$\Pi = \frac{1}{2} \sum_k \Delta_i^2,$$

де k_i - жорсткість ($i = 1$ - для колії, $i = 2$ - для ресорних комплектів);

Δ_i - стиснення ресорних комплектів, розраховані від положення рівноваги системи.

Висловимо стиснення пружин Δ_i через узагальнені координати. Нехай Δ_1 і Δ_2 - прогини колії під першою і другою колісними парами першого візка, Δ_3 і Δ_4 - прогини колії під першою і другою колісними парами другого візка, а Δ_5 і Δ_6 - стиснення пружинних комплектів ресорного підвішування вагона.

Припустимо, що платформа рухається по одиничній нерівності і η_1, η_2, η_3 і η_4 - вертикальні переміщення колісних пар при русі по цій нерівності. За позитивні прийємо переміщення вниз і повороти за годинниковою стрілкою. Уявімо кінематичну схему переміщення тіл системи для опису вирази потенційної енергії, яка представлена на рис. 3.2 з якого випливає:



Таким чином, вираз потенційної енергії прийме наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \Pi &= \frac{1}{2}k(\Delta_3^2 + \Delta_4^2) + \frac{1}{2}k_1(\Delta_1^2 + \Delta_1^{\eta_2} + \Delta_2^2 + \Delta_2^{\eta_2}) = \\ &= \frac{1}{2}2kq_1^2 + \frac{1}{2}2kl^2q_2^2 + \frac{1}{2}2(k + 2k_1)q_3^2 + \frac{1}{2}2(k + 2k_1)q_4^2 + \\ &+ \frac{1}{2}2a^2k_1q_5^2 + \frac{1}{2}2a^2k_1q_6^2 + \frac{1}{2}k_1(\eta_1^2 + \eta_2^2 + \eta_3^2 + \eta_4^2) - 2kq_1q_3 + \\ &+ 2klq_2q_4 - k_1q_3(\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4) - k_1q_4(\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4) + \\ &+ k_1aq_5(\eta_1 - \eta_2) + k_1aq_6(\eta_3 - \eta_4). \end{aligned}$$

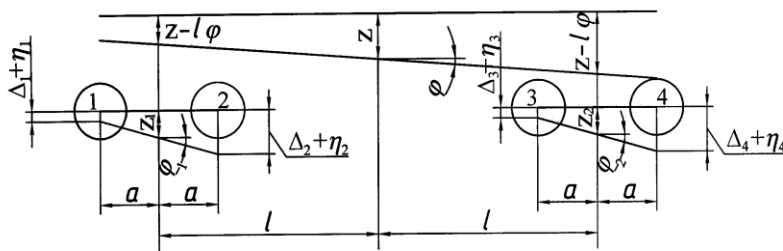


Рисунок. 3.2. Кінематична схема платформи

Швидкість стиснення ресорних комплектів дорівнює $\dot{\Delta}_3$ і $\dot{\Delta}_4$ для першого і другого візка відповідно, а швидкість прогину рейок під колісними парами - $\dot{\Delta}'_1, \dot{\Delta}''_1, \dot{\Delta}'_2, \dot{\Delta}''_2$.

Функція розсіювання прийме наступний вигляд:

$$\Phi = \frac{1}{2} k_1 q_1^2 + \frac{1}{2} k_2 q_2^2 + \frac{1}{2} \beta_1 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2 + \frac{1}{2} \beta_2 (\dot{q}_3 + \dot{q}_4)^2 + \dots$$

З цього виразу видно, що функцію Φ можна отримати з виразу потенційної енергії Π , замінивши в ньому жорсткості k і k_1 коефіцієнтами в'язкості β і β_1 , а узагальнені координати q_i - узагальненими швидкостями. При цьому вираз функції розсіювання прийме вид:

$$\begin{aligned} \Phi = & \frac{1}{2} k_1 q_1^2 + \frac{1}{2} k_2 q_2^2 + \frac{1}{2} \beta_1 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2 + \frac{1}{2} \beta_2 (\dot{q}_3 + \dot{q}_4)^2 + \dots \\ & - \frac{1}{2} k_1 q_1^2 - \frac{1}{2} k_2 q_2^2 - \frac{1}{2} \beta_1 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2 - \frac{1}{2} \beta_2 (\dot{q}_3 + \dot{q}_4)^2 - \dots \end{aligned}$$

Далі складемо диференціальні рівняння просторових коливань платформ.

3.1.2. Диференціальні рівняння просторових коливань довгобазного вагона-платформи

Запишемо вираз рівняння Лагранжа другого роду [54]:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial \Phi}{\partial q_i} = Q_i$$

Це рівняння перепишемо у вигляді системи диференціальних рівнянь з використанням узагальнених координат і узагальнених швидкостей:

$$\left. \begin{aligned} a_{11}\ddot{q}_1 + 2\beta\dot{q}_1 - 2\beta\dot{q}_3 + 2kq_1 - 2kq_3 &= 0; \\ a_{33}\ddot{q}_3 - 2\beta\dot{q}_1 + 2(\beta + 2\beta_1)\dot{q}_3 - 2kq_1 + 2(k + 2k_1)q_3 &= \\ = k_1(\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4) + \beta_1(\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2 + \dot{\eta}_3 + \dot{\eta}_4) \end{aligned} \right\}, \quad (3.1)$$

$$\left. \begin{aligned} a_{22}\ddot{q}_2 + a_{27}\ddot{q}_7 + 2\beta l^2\dot{q}_2 + 2\beta l\dot{q}_4 + 2kl^2q_2 + 2klq_4 &= 0; \\ a_{44}\ddot{q}_4 + 2\beta l\dot{q}_2 + 2(\beta + 2\beta_1)\dot{q}_4 + 2klq_2 + 2(k + 2k_1)q_4 &= \\ = k_1(\eta_1 + \eta_2 - \eta_3 - \eta_4) + \beta_1(\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2 - \dot{\eta}_3 - \dot{\eta}_4); \\ a_{27}\ddot{q}_2 + a_{77}\ddot{q}_7 &= 0. \end{aligned} \right\}, \quad (3.2)$$

$$\left. \begin{aligned} a_{55}\ddot{q}_5 + 2a^2\beta_1\dot{q}_5 + 2a^2k_1q_5 &= -k_1a(\eta_1 - \eta_2) - \beta_1a(\dot{\eta}_1 - \dot{\eta}_2); \\ a_{66}\ddot{q}_6 + 2a^2\beta_1\dot{q}_6 + 2a^2k_1q_6 &= -k_1a(\eta_3 - \eta_4) - \beta_1a(\dot{\eta}_3 - \dot{\eta}_4). \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

Виконаємо виключення з системи диференціальних рівнянь (3.2) другу похідну циклічної координати q_7 за часом. З третього рівняння цієї системи отримаємо:

$$\ddot{q}_7 = \frac{c_{67}}{c_{77}} \ddot{q}_6.$$

Підставивши вираз для \ddot{q}_7 в перше рівняння системи, яка набуде вигляду:

$$\begin{aligned} a_{22}^* \ddot{q}_2 + 2\beta l^2 \dot{q}_2 + 2\beta l \dot{q}_4 + 2kl^2 q_2 + 2klq_4 &= 0; \\ a_{44} \ddot{q}_4 + 2\beta l \dot{q}_2 + 2(\beta + 2\beta_1) \dot{q}_4 + 2klq_2 + 2(k + 2k_1)q_4 &= \\ = k_1(\eta_1 + \eta_2 - \eta_3 - \eta_4) + \beta_1(\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2 - \dot{\eta}_3 - \dot{\eta}_4), \end{aligned} \quad (3.4)$$

де $\begin{pmatrix} a_{22}^* & a_{24} \\ a_{42} & a_{44} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{22} & a_{24} \\ a_{42} & a_{44} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 2\beta l^2 & 2\beta l \\ 2\beta l & 2\beta + 2\beta_1 \end{pmatrix}$

Таким чином, малі коливання щодо сталого поступального руху вагона при русі по нерівності колії описуються системами диференціальних рівнянь (3.1), (3.4) і двома рівняннями, не пов'язаними з іншими (3.3).

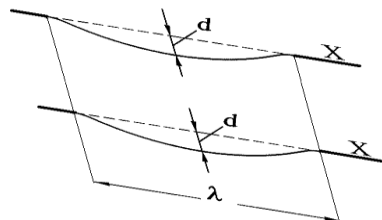


Рисунок. 3.3 - Нерівність колії

Розглянемо вираз для опису нерівності η_i (де $i = 1, 2, 3, 4$). Для цього су- містимо початок координат з початком нерівності (рис. 3.3) і приймемо такий вираз для її опису [54]:

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } x=0 \quad \eta=0 \\ \text{при } x=\lambda \eta = \frac{2\pi}{\lambda} \\ \text{при } x=2\lambda \quad \eta=0 \end{array} \right\} \quad (3.5)$$

де d – найбільша глибина;

λ – довжина нерівності.

Нехай платформа рухається зі швидкістю v , тоді, якщо відрахувати t від моменту, коли перша колісна пара проходить через початок нерівності, то $x = vt$. Щоб отримати аналітичний вираз η , прийняте для будь-яких x або t , розглянемо η_1 як функцію тотожне рівну нулю при негативних значеннях аргументу.

У вираз η замість x поставимо vt і позначимо $\frac{2\pi v}{\lambda}$ через ω , тоді:

$$\eta_1 = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ \frac{2\pi}{\lambda} \left(1 - \cos \omega t \right) & 0 \leq t \leq \frac{\lambda}{v} \\ 0 & t > \frac{\lambda}{v} \end{cases}$$

де $\frac{\lambda}{v}$ – час, протягом якого колісна пара проходить довжину нерівності.

Так як $\frac{\lambda}{v} = \frac{2\pi}{\omega}$, то:

$$\eta_1 = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ \frac{2\pi}{\lambda} \left(1 - \cos \omega t \right) & 0 \leq t \leq \frac{2\pi}{\omega} \\ 0 & t > \frac{2\pi}{\omega} \end{cases}$$

Цей вислів для η_1 допустимо при будь-якому значенні виразу t , яке відраховується від моменту, коли перша колісна пара по ходу руху проходить початок нерівності, тобто при $t < 0$ $\eta_1 = 0$.

при $0 < t < \frac{\lambda}{v}$ ($t = \frac{2\pi}{\omega}$), а другий доданок дорівнює нулю, так як аргумент від'ємний

$$\text{при } t > \frac{2\pi}{\omega} \quad \eta_1 = 0$$

Вирази для нерівностей η_2 , η_3 і η_4 отримуємо таким же чином, беручи до уваги запізнювання колісних пар на наступні проміжки часу:

$$\tau_2 = \frac{2a}{v}, \quad \tau_3 = 2\frac{l-a}{v}, \quad \tau_4 = 2\frac{l+a}{v}.$$

Тому вираз для нерівності набуде вигляду:

$$\eta = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ \frac{2\pi}{\lambda} \left(1 - \cos \omega (t - \tau_2) \right) & 0 \leq t - \tau_2 \leq \frac{2\pi}{\omega} \\ 0 & t - \tau_2 > \frac{2\pi}{\omega} \\ \frac{2\pi}{\lambda} \left(1 - \cos \omega (t - \tau_3) \right) & 0 \leq t - \tau_3 \leq \frac{2\pi}{\omega} \\ 0 & t - \tau_3 > \frac{2\pi}{\omega} \\ \frac{2\pi}{\lambda} \left(1 - \cos \omega (t - \tau_4) \right) & 0 \leq t - \tau_4 \leq \frac{2\pi}{\omega} \\ 0 & t - \tau_4 > \frac{2\pi}{\omega} \end{cases}$$

причому $\tau_1 = 0$. Підставивши ці вирази η_i в праві частини диференціальних рівнянь (3.1), (3.3) і (3.4), отримаємо диференціальні рівняння коливань вагону під час руху по нерівності колії, описуваної виразами (3.5).

Дана модель є основою для виконання моделювання просторових коливань довгобазних вагонів-платформ на пружно-в'язкій і інерційній залізничній колії. При цьому одиничні нерівності колесами імітують процес скидання з клинів при визначенні власних частот різних видів коливань. Чотири однакові нерівності під колесами з одного боку вагона і чотири одиничні нерівності під колесами візка збуджують власні кутові коливання рами відносно горизонтальної поперечної осі симетрії - галопування. Моделювання руху по зазначеним одиничним нерівностям за вказаної математичною моделі використовувалося для налагодження програми обчислення та порівняння з результатами експериментального визначення власних частот коливань довгобазного вагона платформи. Надалі в теоретичних дослідженнях навантаження вагонів-платформ використовувалися випадкові нерівності у вигляді чисельної реалізації зі статичними характеристиками, адекватними реальним нерівностям рейкових ниток.

Рішення диференціальних рівнянь здійснювалося за допомогою стандартного пакету прикладної програми Matlab.

3.1.3. Зусилля у зв'язках вантажних вагонів

Для оцінки динамічної навантаження окремих елементів вагона і вагона в цілому становить інтерес визначення зусиль, що діють між окремими елементами вагона. Це в подальшому використано при оцінці міцнісних властивостей для такого відповідального елемента як рама вагона. У даній роботі застосовується математичний опис для визначення зусиль між рамою платформи з контейнерами і надресорними балками візків, так як платформа - це специфічний тип рухомого складу, який має особливі умови руху як в завантаженому, так і в порожньому стані. Визначення сил, діючих на раму платформи з вантажем (контейне-

рами або іншими довгомірними вантажами), являє собою дуже важливу задачу при проектуванні та оцінці міцності вагона.

З цієї метою виконано коригування основної математичної моделі [141].

Переміщення коліс відносно рейок.

Приймаємо припущення, що колеса рухаються без відриву від рейок. Тоді в вертикальному напрямку переміщення коліс і рейок збігаються і виражаються залежністю:

$$Z_{rimj} = Z_{imj} + \Delta r_{imj} - \eta_{aimj}, \quad (3.6)$$

$$\Delta r_{imj} = f(Y_{imj}), \quad Y_{imj} = Y_{kim} - r\Theta_{kim} - Y_{rimj} - \eta_{rimj}, \quad (3.7)$$

де $Z_{imj} = Z_{kim} + (-1)^j b_2 \Theta_{kim}$ – вертикальні переміщення коліс;

Y_{imj} – горизонтальні переміщення коліс відносно рейок;

Δr_{imj} – зміна радіуса кола катання колеса;

η_{aimj} , η_{rimj} – поточні ординати вертикальних і горизонтальних нерівностей;

$2b_2$ – відстань між колами катання коліс.

Розрахункова схема платформи має 24 рівняння зв'язків. Крім того, система має $11 \cdot 6 + 8 \cdot 2 - 24 = 58$ ступенів свободи. Як узагальнені координати приймаємо такі величини:

$$\begin{aligned} q_1 = Z, \quad q_2 = \varphi, \quad q_3 = \Theta, \quad q_4 = Y, \quad q_5 = \Phi, \quad q_i = \Theta_i \quad (n=6, 7) \\ q_n = \Phi_i \quad (n=8, 9), \quad q_n = \Phi_{\sigma ij} \quad (n=10, 13), \quad q_n = Y_{\sigma ij} \quad (n=14, 17), \\ q_n = Z_{\sigma ij} \quad (n=18 \div 21), \quad q_n = \varphi_{\sigma ij} \quad (n=22 \div 25), \quad q_n = \Phi_{kim} \quad (n=26 \div 29), \\ q_n = Y_{kim} \quad (n=30 \div 33), \quad q_n = Z_{kim} \quad (n=34 \div 37), \quad q_n = \Theta_{kim} \quad (n=38 \div 41), \\ q_n = Y_{p ij} \quad (n=42 \div 49), \quad q_n = X_{\sigma ij} \quad (n=50 \div 57), \quad q_n = X_{kim} \quad (n=54 \div 57), \quad q_{58} = X \end{aligned} \quad (3.8)$$

Через X , Y , Z – позначені переміщення центру мас рами уздовж відповідних осей, а через Θ , φ , Φ – кути повороту рами з вантажем щодо головних центральних осей інерції; аналогічні переміщення надресорних балок забезпечені індексом i ($i = 1, 2$ – номер візка), бічних рам – індексом σij ($j=1$ – ліва, $j=2$ –

права сторона вагона), колісних пар – індексів kim ($m=1, 2$ – номер колісної пари в візку), рейок в точках контакту з колесами – $rimj$ (переміщення рейкових ниток передбачається тільки в двох напрямках - уздовж осей Y и Z), imj – переміщення коліс.

Таким чином, з урахуванням введених узагальнених координат (3.8) вираз набуде вигляду

$$\text{[Image of a train wheelset on tracks]} \quad (3.9)$$

У поздовжньому і поперечному напрямках переміщення коліс відносно рейок рівні:

$$\begin{aligned} X_{imj} - X_{kim} - (-1)^j b_2 \Phi_{kim}, \\ Y_{imj} - Y_{kim} - r \Theta_{kim} - Y_{rimj} - \eta_{rimj}, \quad (i, m, j = 1, 2) \end{aligned} \quad (3.10)$$

При горизонтальних поперечних переміщеннях коліс відносно рейок змінюються радіуси кіл катання коліс на величини Δr_{imj} , які залежать від переміщень Y_{imj} .

В межах зазору в колії 2δ радіуси змінюються за лінійним законом, а при переміщеннях Y_{imj} , що перевищують за абсолютним значенням δ , зміни Δr_{imj} стають нелінійними. Аналітично ці залежності можна представити таким чином:

$$\Delta r_{imj} - (-1)^j \mu_0 Y_{imj} + \mu_1 [(-1)^j Y_{imj} - \delta]^3 \sigma_0 [(-1)^j Y_{imj} - \delta], \quad (3.11)$$

де $\mu = 0,05$ – конічність поверхні катання бандажа, $\mu_1 = 6 \cdot 10^4$ – коефіцієнт, що виходить при апроксимації нелінійної частини профілю катання бандажа коліс кубічної параболою. Надалі знадобиться обчислювати тангенс кутів нахилу поверхні катання бандажа до горизонтальної площини, тому визначимо:

$$\text{tg } \alpha_{imj} = (-1)^j \mu_0 + 3\mu_1 [(-1)^j Y_{imj} - \delta]^2 \sigma_0 [(-1)^j Y_{imj} - \delta], \quad (3.12)$$

При горизонтальному поперечному переміщенні колеса щодо рейки на Y_{imj} радіус кола його катання стає рівним

$$r_{inj} = r + \Delta r_{inj}.$$

Прослизання коліс в напрямку осей X і Y рівні:

$$\begin{aligned} \varepsilon \cdot x_{inj} &= -\left[(-1)^i b_2 \dot{\Phi}_{kim} / v + \Delta r_{inj} / r\right], \\ \varepsilon \cdot y_{inj} &= 1/v \left[\dot{y}_{kim} - \dot{y}_{pimj} - r \cdot \dot{\Phi}_{kim} \right] - \Phi_{kim}. \end{aligned} \quad (3.13)$$

Повне відносне проковзування коліс по рейках:

$$\varepsilon_{inj}^2 = \varepsilon_{xinj}^2 + \varepsilon_{yinj}^2, \quad (3.14)$$

Сили, що діють на раму з вантажем.

При вилянні надресорних балок відносно рами в площині обпирання п'ятника на підп'ятник діє момент сили сухого тертя:

$$s_{\Phi_i} = s_{\Phi} \operatorname{sign} \dot{\Delta \Phi}_i, \quad (3.15)$$

де s_{Φ} – амплітудне значення моменту.

При хитанні рами на п'ятнику виникає момент, перекидаючий раму з вантажем:

$$M_{\Phi} = \frac{mg}{2} l_{\Phi}, \quad (3.16)$$

та момент

$$M_i = \frac{mg}{2} d_i, \quad (i = 1, 2).$$

Плече d_i будемо вважати мінливим за лінійним законом у міру збільшення хитання рами щодо надресорної балки від нуля до свого максимального значення $\frac{d}{2}$, при встановленні п'ятника на кромку.

Таким чином, лінійна залежність між d_i і $\Delta \Theta_i$ має місце в межах повороту на кут Δ . Аналітично залежність d_i і $\Delta \Theta_i$ прийме вид:

$$d_i = \frac{d}{2} \sigma_0[\Delta \Theta_i], \quad (i = 1, 2) \quad (3.17)$$

де $\sigma_0[\Delta \Theta_i]$ – одинична функція.

При бічному хитанні рами з вантажем щодо надресорної балці виникають моменти, що діють на раму і на надресорну балку, які викликані силами в ковзу-

нах s_{Oij} . При типових ковзунах спочатку між ними має місце зазор Δ_0 , після вибору якого виникають ударні сили.

Відстань між ковзунами:

$$\Delta_{Oij} = \Delta\Theta_i \cdot (b_3 - (-1)^j \cdot d_i), \quad (i, j=1, 2) \quad (3.18)$$

Якщо припустити, що при бічному хитанні рами з вантажем щодо надресорної балки має місце прослизання п'ятників по підп'ятниках, то відстань між ковзунами визначається так:

$$\Delta_{Oij} = \Delta\Theta_i \cdot b_3, \quad (i, j=1, 2), \quad (3.19)$$

де $2b_3$ – відстань між ковзунами одного візка.

Аналітично вираз для сил s_{Oij} при типових ковзунах буде мати вид:

$$s_{Oij} = K_0 \cdot \Delta_{Oij}, \quad (3.20)$$

де $K_0 = tg \alpha_0$ – контактна жорсткість між ковзунами.

Крім описаних вище сил, до рами додані такі сили і моменти сил інерції:

$$m\ddot{X}, \quad m\ddot{Y}, \quad m\ddot{Z}, \quad I_x\ddot{\Theta}, \quad I_y\ddot{\phi}, \quad I_z\ddot{\Phi},$$

де m – маса рами з вантажем;

I_x, I_y, I_z – головні центральні моменти інерції рами з вантажем щодо осей, X, Y, Z , відповідно.

Сили, що діють на надресорні балки

Крім описаних вище сил в ковзунах s_{Oij} та моменту M_i на надресорні балки діють наступні сили, відповідні відносним переміщенням надресорних балок і бічних рам:

$$\begin{aligned} s_{uxij} &= k_{ux} \Delta_{uxij} + \beta_{ux} \dot{\Delta}_{uxij} + F_{ux} \text{sign} \dot{\Delta}_{uxij}, \\ s_{uyij} &= k_{uy} \Delta_{uyij} + \beta_{uy} \dot{\Delta}_{uyij} + F_{uy} \text{sign} \dot{\Delta}_{uyij}, \\ s_{uzij} &= k_{uz} \Delta_{uzij} + \beta_{uz} \dot{\Delta}_{uzij} + F_{uz} \text{sign} \dot{\Delta}_{uzij}, \\ s_{i\Phi ij} &= k_{i\Phi} \Delta_{i\Phi ij} + \beta_{i\Phi} \dot{\Delta}_{i\Phi ij} + F_{i\Phi} \text{sign} \dot{\Delta}_{i\Phi ij}, \end{aligned} \quad (3.21)$$

де k_{us} ($s = X, Y, Z, \Phi$) – жорсткості ресорного комплексу центрального підвішування візка при вигині (k_{ux}, k_{uy}), стискуванні (k_{uz}), скручуванні ($k_{u\Phi}$), β_{us} - коефіцієнт в'язкого тертя відповідних демпферів (якщо мають місце демпфери в'язкого тертя), F_{us} - амплітудні значення сил сухого тертя відповідних демпферів, переміщення надресорних балок відносно бічних рам відповідно в горизонтальному (поперечному), вертикальному напрямках і при вилянні Δ_{us} ($s = X, Y, Z, \Phi$) визначаються формулами:

$$\begin{aligned}\Delta_{uyij} &= Y - (-1)^i 1\Phi - h\Theta - Y_{\sigma ij}, \\ \Delta_{uzij} &= Z + (-1)^i 1\varphi + (-1)^j b\Theta_i - Z_{\sigma ij}, \\ \Delta_{u\Phi ij} &= \Phi_i - \Phi_{\sigma ij}, \quad (i, j=1,2)\end{aligned}\quad (3.22)$$

Сили, що діють на бічні рами

Сили, що виникають між бічними рамами і колісними парами, визначаються наступними виразами:

$$\begin{aligned}s_{\alpha imj} &= k_{\alpha} \Delta_{\alpha imj} + \beta_{\alpha} \dot{\Delta}_{\alpha imj} + F_{\alpha} \text{sign} \dot{\Delta}_{\alpha imj} \\ s_{\sigma y imj} &= k_{\sigma y} \Delta_{\sigma y imj} + \beta_{\sigma y} \dot{\Delta}_{\sigma y imj} + F_{\sigma y} \text{sign} \dot{\Delta}_{\sigma y imj} \\ s_{\sigma z imj} &= k_{\sigma z} \Delta_{\sigma z imj} + \beta_{\sigma z} \dot{\Delta}_{\sigma z imj} + F_{\sigma z} \text{sign} \dot{\Delta}_{\sigma z imj} \\ s_{\sigma \Phi imj} &= k_{\sigma \Phi} \Delta_{\sigma \Phi imj} + \beta_{\sigma \Phi} \dot{\Delta}_{\sigma \Phi imj} + F_{\sigma \Phi} \text{sign} \dot{\Delta}_{\sigma \Phi imj}\end{aligned}\quad (3.23)$$

де $k_{\sigma s}$ ($s = X, Y, Z, \Phi$) – жорсткості комплектів пружин буксової ступені підвішування при вигині ($k_{\sigma x}, k_{\sigma y}$), стискуванні ($k_{\sigma z}$) і скручуванні ($k_{\sigma \Phi}$), $\beta_{\sigma s}$ – коефіцієнт в'язкого тертя відповідних демпферів (якщо встановлені демпфери в'язкого тертя), $F_{\sigma s}$ - амплітудні значення сил сухого тертя відповідних демпферів. Переміщення бічних рам щодо колісних пар відповідно в поздовжньому, поперечному, вертикальному напрямках і при вилянні $\Delta_{\sigma imj}$ визначається формулами:

$$\begin{aligned}
\Delta_{\alpha imj} &= X_{\sigma ij} - X_{kim} + (-1)^j b_1 \Phi_{kim}, \\
\Delta_{\gamma imj} &= Y_{\sigma ij} - (-1)^m 1_1 \Phi_{\sigma ij} - Y_{kim}, \\
\Delta_{\sigma imj} &= Z_{\sigma ij} + (-1)^m 1_1 \Phi_{\sigma ij} - Z_{kim} - (-1)^j b_1 \Theta_{kim}, \\
\Delta_{\sigma \Phi imj} &= \Phi_{\sigma ij} - \Phi_{kim}, \quad (i, m, j=1, 2).
\end{aligned}
\tag{3.24}$$

Таким чином, розроблена спеціалізована математична модель для вивчення динамічного навантаження вагона-платформи, що рухається по різних ділянках залізничної колії з можливістю визначення зусиль у зв'язках між елементами вагона, які будуть використовуватися при оцінці міцнісних якостей несучих елементів вагона-платформи.

3.1.4 Оцінка динамічних показників вагонів-платформ

Оцінка нових конструкцій рейкових екіпажів здійснюється згідно ходових і міцнісних якостей, які в свою чергу складаються з цілого ряду показників.

Несуча здатність вагонних конструкцій оцінюється відповідно до встановлених у [95, 96] величинах і поєднаннях розрахункових навантажень за допустимими значеннями:

- напружень;
- запасу опору втоми;
- запасу стійкості;
- прогинів або деформацій.

У кожному конкретному випадку розрахунки повинні виконуватися по тим критеріям, які є найбільш характерними для умови роботи даного елемента.

Розрахунок несучих елементів довгобазних вагонів-платформ проводиться за допустимими напруженнями та коефіцієнтом запасу опору втоми.

Розрахунок за допустимими деформаціями обов'язковий при проектуванні елементів, надмірні деформації (прогини) яких можуть бути причиною порушення працездатності вагона або вузла.

Розрахунки напружень та деформацій проводяться в межах пружної роботи матеріалу.

Відповідно до [95, 96] оцінка якості ходу вагона проводиться розрахунковим і експериментальним способами. В тому і іншому випадку визначаються наступні динамічні показники ходу вагона:

- коефіцієнт вертикальної динаміки $K_{дв}$ та рамна сила H_p ;
- вертикальні і горизонтальні прискорення рами J_v і J_r ;
- показники плавності ходу в вертикальному і горизонтальному напрямках W_v і W_r , а також при необхідності фактичні рівні віброприскорень в заданому діапазоні частот;
- коефіцієнт запасу стійкості колісної пари від сходу з рейок за умовою викочування гребня колеса на головку рейки K_{yc} ;
- коефіцієнт запасу поперечної стійкості вагона від перекидання в кривій під дією бічних сил K_{yo} .

Розглянемо аналітичні вирази, які регламентують нормовані динамічні показники [95, 96].

Коефіцієнт вертикальної динаміки визначається за формулою:

$$K_{дв} = \frac{\bar{K}_{дв}}{\beta} \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1 - P(K_{дв})}}, \quad (3.25)$$

де $\bar{K}_{дв}$ - середнє ймовірне значення коефіцієнта вертикальної динаміки;

β – параметр розподілу;

$P(K_{дв})$ – розрахункова одностороння ймовірність. Середнє ймовірне значення $K_{дв}$ визначається за формулою:

$$\bar{K}_{дв} = \frac{K_{дв} \cdot J_{дв} \cdot M}{\epsilon_r}, \quad (3.26)$$

де a - коефіцієнт приймається згідно [95] для елементів рами, обрессорених і необрессорених частин візка; b - коефіцієнт, що враховує число осей n в візку під одним кінцем

$$b = \frac{n+2}{2n}, \quad (3.27)$$

де n – кількість осей у візку;

V - конструкційна швидкість руху вагона;

$V = 120 \text{ км / год} = 33,3 \text{ м / с}$;

$f_{ст}$ – статичний прогин ресорного підвішування вагона;

- для порожнього вагону:

$$f_{ст} = \frac{T_P}{2} \lambda; \quad (3.28)$$

- для завантаженого вагону:

$$f_{ст} = \frac{P Q P}{2}; \quad (3.29)$$

Значення рамної сили H_p визначається за формулою:

$$H_p = \sqrt{\frac{4 n}{\pi n P Q}}; \quad (3.30)$$

де \bar{H}_p – середнє ймовірне значення рамної сили;

$P(H_p)$ – розрахункова одностороння імовірність. При розрахунках на міцність, згідно допустимих напружень, приймається $P(H_p) = 0,97$.

Середнє ймовірне значення рамної сили визначається за формулою

$$\bar{H}_p = P_0 b \delta; \quad (3.31)$$

де P_0 – розрахункове статичне осьове навантаження;

b - коефіцієнт, що враховує вплив числа осей (див. формулу 3.27);

δ – коефіцієнт, що враховує тип ходових частин вагона, приймається згідно [95];

V - швидкість руху вагона.

Коефіцієнт стійкості колісної пари проти сходу з рейок (за умовою вкочування) визначається для порожнього і навантаженого стану вагона за формулою

$$K_{ст} = \frac{P Q P}{H_p}; \quad (3.32)$$

де P_v – вертикальне навантаження від набігаючого колеса на рейку;

P_6 – бокове зусилля взаємодії гребеня набігаючого колеса і головки рейки.

Оцінка стійкості колісної пари проти сходу з рейок проводиться для двох розрахункових випадків [95, 96].

Для першого розрахункового випадку коефіцієнт стійкості колісної пари проти сходу з рейок визначається за формулою:



$$(3.33)$$

де β – кут нахилу твірної конусоподібної поверхні гребеня колеса з горизонталлю;

μ – коефіцієнт тертя поверхонь коліс і рейок;

$Q_{ш}^{ct}$ – сила тяжіння обрессорених частин вагона, діюча на шийку осі колісної пари:

- для порожнього вагона:

$$Q_{ш}^{ct} = \frac{T \cdot P}{4n}, \quad (3.34)$$

- для завантаженого вагона:

$$Q_{ш}^{ct} = \frac{T \cdot Q \cdot F}{4n}, \quad (3.35)$$

де $q_{кп}^h$ – сила тяжіння необрессорених частин, що припадають на колісну пару;

$\bar{K}_{дв1}$ – розрахункове значення коефіцієнта вертикальної динаміки вагона, наближено приймається:

$$\bar{K}_{дв1} = 0,75 \cdot \bar{K}_{дв}, \quad (3.36)$$

$\bar{K}_{дв1}$ – визначається за формулою (3.2) для обрессорених частин візка (при $a=0,1$);

$\bar{K}_{дбк}$ – розрахункове значення коефіцієнта динаміки бічного хитання, приблизно приймається:

$$\bar{K}_{дбк} = 0,25 \cdot \bar{K}_{дв}, \quad (3.37)$$

\bar{N}_p - розрахункове середнє значення рамної сили;

$2b$ - відстань між центрами шийок осі, $2b = 2,036$ м;

l – середня відстань між точками контакту коліс з рейками,

$l=1,58$ м;

$a_{1,2}$ – розрахункові відстані від точок контакту до середини шийок;

r - радіус середнезношеного колеса.

Для другого розрахункового випадку коефіцієнт запасу стійкості колісної пари визначається тільки для порожнього стану вагона при наявності і відсутності підвищення зовнішньої рейки і визначається за формулою:

$$K_{yc} = \frac{\text{tg}\beta - \mu}{1 + \mu \cdot \text{tg}\beta} \times \frac{P_T + 2\gamma \cdot N \left\{ \left[\frac{\delta_0 L}{l^2} \left(1 + \frac{L}{a_3} \right) h_u \pm \alpha \frac{L_c}{R} h_a \right] \right\} \frac{1}{2S} \mp 2P_{стг} \frac{h_p}{2S} \frac{h_u}{2S}}{\mu \cdot P_T + 2\gamma \cdot N \left\{ \left[\frac{\delta_0 L}{l^2} \left(1 + \frac{L}{a_3} \right) \pm \alpha \frac{L_c}{R} \right] \left(1 - \mu \frac{h_a}{2S} \right) \mp \mu \alpha \frac{L_c}{R} \cdot \frac{h_a - h_u}{2S} \right\} \mp 2P_{стг} \frac{h_p}{2S} \left(1 - \mu \frac{h_u}{2S} \right)} \geq [K_{yc}], \quad (3.38)$$

де P_T – вертикальне навантаження від візка на рейки з урахуванням відсутності його навантаження при ексцентричній дії поздовжніх сил;

$P_{стг}$ – вертикальне статичне навантаження від візка на рейки;

γ, α – коефіцієнти перекосу;

N – розрахункові поздовжні стискаючі сили, що діють на автозчеп вагона, приймаються для порожнього вагона згідно [95];

$2\delta_0$ – сумарний вільний поперечний розбіг рами вагона щодо осі колії в спрямовуючому перетині;

$2l, 2L, 2L_c$ – відповідно база вагона, відстань між плитами для упорів ав-
тозчепів і довжина вагона по осях зчеплення автозчепів;

a_3 – довжина корпусу автозчепу від осі зчеплення до кінця хвостовика;

h_p, h_a, h_c – відповідно висоти робочої площини п'ятника, осі автозчеплен-
ня і центра ваги вагона над рівнем площини головок рейок;

h_p – підвищення зовнішньої рейки в кривій, приймається згідно [95],

($h_p=0,15$ м або $h_p=0$);

$2S$ – відстань між колами катання коліс приймається згідно [95],
 $2S = 1,6$ м;

R – радіус кривої приймається згідно [95, 96], $R=250$ м.

У формулі (2.38) верхні знаки відповідають установці I вагона, коли набі-
гаюче колесо накочується на зовнішню рейку, а нижні - установці II, коли набі-
гаюче колесо накочується на внутрішню рейку.

Вертикальне навантаження від візка на колію визначається за формулою

$$P_i = P_{ст} \frac{N \frac{\Delta h}{2a} \left(\frac{L+1}{2l} \cdot \frac{L}{1} \cdot \frac{1}{1 - \frac{C_b \cdot l^2}{NL}} \right)}{1 - \frac{N}{2aC_b} \left(1 + \frac{L^2}{l^2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{NL}{C_b l^2}} \right)}, \quad (3.39)$$

де Δh – різниця рівнів осей автозчепів при з'єднанні двох вагонів, прий-
мається згідно [95], $\Delta h = 0,08$ м;

C_b - вертикальна жорсткість ресорного підвішування візка

$$C_b = \frac{1}{\lambda}, \quad (3.40)$$

Коефіцієнти перекосу γ і α визначаються за формулами

$$\gamma = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{ка}}}, \quad \alpha = \frac{1 - \frac{N}{N_{ка}}}{1 - \frac{N}{N_{кб}}}, \quad (3.41)$$

де $N_{ка}$ и $N_{кб}$ – поздовжні критичні сили, що призводять до відносного перекосу вагонів і осей автозчеплень в плані

$$N_{ка} = \frac{C_r}{1 + \frac{L}{a_3}} \cdot \frac{P^2}{L}, \quad N_{кб} = a_3 C_r, \quad (3.42)$$

де C_r – горизонтальна (поперечна) жорсткість ресорного підвішування візка

$$C_r = 14(C_{r1} + C_{r2}), \quad (3.43)$$

C_{r1}, C_{r2} – горизонтальна жорсткість великої і малої пружин візка

$$C_{r1} = \frac{3Ed}{8D_1^3 n_1}, \quad (3.44)$$

$$C_{r2} = \frac{3Ed}{8D_2^3 n_2}, \quad (3.45)$$

d_1, d_2 – діаметри прутка великої і малої пружин;

D_1, D_2 середні діаметри великої і малої пружин;

n_1, n_2 - число робочих витків великої і малої пружин;

H_1, H_2 - висота пружин під вертикальним навантаженням.

$$H_{1,2} = H_c - d_{1,2} - f_{ст}, \quad (3.46)$$

H_c – висота незавантаженої пружини;

E - модуль пружності матеріалу пружини;

μ_1 - коефіцієнт Пуассона.

Перед визначенням K_{yc} слід перевірити виконання умови

$$\delta_y < [\delta_y], \quad (3.47)$$

де $[\delta_y]$ граничне (по конструкції) поперечне переміщення

надресорної балки щодо рами візка; $[\delta_y] = 0,024$ м;

δ_y - пружна поперечна деформація ресорних комплектів візків під дією поперечних горизонтальних сил $H_{1,2}^r$,

$$\delta_y = \frac{H_{1,2}^r}{C} \quad (3.48)$$

Пружна поперечна деформація ресорних комплектів візків визначається за формулою:

$$\delta_{y(1,2)} = \frac{H_{1,2}^r}{C} \quad (3.49)$$

Визначення коефіцієнта запасу поперечної стійкості вагона від перекидання в кривій під дією бічних сил проводиться при русі його по криволінійних ділянках колії в порожньому і навантаженому станах для двох випадків перекидання: назовні кривої і всередину кривої. Коефіцієнт запасу стійкості вагона від перекидання визначається за формулою:

$$K_{yo} = \frac{P_{ст}}{P_{дин}} [K_y] \quad (3.50)$$

де $P_{ст}$ – статична вертикальна сила тиску колеса на рейку з урахуванням відсутності навантаження при дії вертикальних складових поздовжніх сил, що діють на вагон через автозчеп;

$P_{дин}$ – динамічна вертикальна сила тиску колеса на рейку, викликана дією поперечних сил з урахуванням перемішень центрів тяжіння рами та візків;

$[K_y]$ – допустимий коефіцієнт запасу стійкості від перекидання.

Сили $P_{ст}$ і $P_{дин}$ визначаються за формулами

$$P_{ст} = \frac{G-2P}{2r} \quad (3.51)$$

$$P_N^b = N \frac{\Delta h}{2a}, \quad (3.52)$$

де G_B – сила тяжіння вагона;

n_1 - число осей вагона;

P_N^b - вертикальна складова поздовжньої сили, що діє на раму вагона через автозчеплення;

$$P_N^p = N \frac{\Delta h}{2a}, \quad (3.53)$$

де P_N^p – поперечна (горизонтальна) складова поздовжньої сили,

діюча на вагон через автозчеплення

$$P_N^p = N \frac{L_c}{R}, \quad (3.54)$$

де N – поздовжня квазістатична сила, що діє на раму через автозчеп, приймається згідно [95];

Δh – різниця рівнів осей автозчеплень досліджуваного і сусідніх вагонів, приймається згідно [95];

$2a$ - довжина жорсткого стержня, утвореного двома зчепленими автозчепленнями, приймається згідно [95];

R - радіус розрахункової кривої, приймається згідно [95]:

- при перекиданні назовні кривої $R = 650$ м;
- при перекиданні всередину кривої $R = 300$ м;

F_k, F_T – бічні сили, що діють на раму і візок

- для порожнього вагона

$$F_{k,чеп} = \frac{F_{k,в} + F_{T,в}}{g}, \quad (3.55)$$

- для завантаженого вагона

$$F_{k,чеп} = \frac{F_{k,в} + F_{T,в} + F_{k,г} + F_{T,г}}{g}, \quad (3.56)$$

- для візка

$$F_T = a_{\text{неп}} \frac{P_1 + P_2}{2g}, \quad (3.57)$$

де $a_{\text{неп}}$ – бокове непогашене прискорення вагона в кривій, приймається згідно [95];

- при перекиданні назовні кривої $a_{\text{неп}} = 0,7 \text{ м/с}^2$,

- при перекиданні всередину кривої $a_{\text{неп}} = -0,9 \text{ м/с}^2$;

g – прискорення вільного падіння;

h_p – підвищення зовнішньої рейки, згідно [95] $h_p = 0,15 \text{ м}$;

$F_{\text{вк}}$, $F_{\text{вт}}$ – сили тиску вітру на раму і візок визначаються за формула-

ми:

$$F_{\text{вк}} = P_{\text{уд}}^{\text{в}} \cdot S_{\text{к}}, \quad (3.58)$$

$$F_{\text{вт}} = P_{\text{уд}}^{\text{в}} \cdot S_{\text{т}}, \quad (3.59)$$

де $P_{\text{уд}}^{\text{в}}$ – питомий тиск вітру, приймається згідно [95];

- при перекиданні назовні кривої $P_{\text{уд}}^{\text{в}} = 500 \text{ Па}$,

- при перекиданні всередину кривої $P_{\text{уд}}^{\text{в}} = 400 \text{ Па}$;

$S_{\text{к}}$ – площа бічної проекції поверхні рами;

$S_{\text{т}}$ – площа бічної проекції одного візка;

$G_{\text{к}}$, $G_{\text{т}}$ – сили тяжіння рами і візки.

$$G_{\text{к}} = \frac{P_1 + P_2}{2}, \quad (3.60)$$

$$G_{\text{т}} = \frac{P_1 + P_2}{2}, \quad (3.61)$$

$$G = \frac{P_1 + P_2}{2}, \quad (3.62)$$

$h_{\text{цк}}$, $h_{\text{цт}}$ – висота від рівня головок рейок до центрів тяжіння рами і візка



$$h_{vk}, h_{vt} \quad (3.63)$$



$$h_{vk}, h_{vt} \quad (3.64)$$

h_{vk}, h_{vt} – то ж до геометричних центрів бічних проекцій рами і візка;

h_a - висота від рівня головок рейок до поздовжньої осі автозчеплення;

Δ_k, Δ_T - сумарні, паралельні площині головок рейок переміщення центрів тяжіння рами і візка щодо центрального положення поздовжньої осі вагона. Для всіх типових вагонів рекомендується $\Delta_T = 8$ мм. Сумарні зміщення центру ваги рами Δ_k в загальному випадку утворюються за рахунок:

Δ_1 – поперечного одностороннього переміщення з центрального положення рам візків щодо букс колісних пар;

Δ_2 - то ж надресорних балок щодо рам візків;

Δ_3 - то ж п'ятників рами щодо надресорних балок.

Для типових вантажних вагонів на візках моделі 18-100 можна приймати $\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 = 12$ мм.

Δ_4 – установочного (технологічного) поперечного зміщення поздовжньої осі рами щодо поздовжньої осі, що проходить через центри п'ятників;

Δ_5 - зміщення центру ваги рами при бічному нахилі рами за рахунок зазорів між ковзунами рами і візків;

Δ_6 - то ж за рахунок одностороннього прогину ресор при дії бічних сил.

Величини Δ_5 і Δ_6 визначаються за формулами

$$\Delta_5 = \frac{\delta}{S_c} (h_{цк} - h_n), \quad \Delta_6 = \frac{\Delta f}{b} (h_{цк} - h_{ресс}), \quad (3.65)$$

де δ – можливий зазор між ковзунами з одного боку вагона;

$h_n, h_{ресс}$ - висота від рівня головок рейок відповідно до площини підп'ятників і верхньої площини ресорних комплектів;

$2S_c$, $2b$ - поперечні відстані між поздовжніми осями ковзунів і центрами ресорних комплектів;

Δf - додатковий прогин ресор з більш навантаженого боку вагона та підйом ресор з менш навантаженого боку при дії бічних сил;

$$\frac{\Delta f}{b} = \text{tg}\Theta \quad (3.66)$$

де Θ – кут нахилу рами на ресорах для завантаженого і порожнього вагону.

- для порожнього вагону



$$\text{tg}\Theta = \frac{\Delta f}{b} \quad (3.67)$$

- для навантаженого вагона



$$\text{tg}\Theta = \frac{\Delta f}{b} \quad (3.68)$$

де $2C_v$ – вертикальна жорсткість ресорних комплектів вагона.

3.2. Математична модель напружено-деформованого стану вагона-платформи під час руху по залізничній колії

Різними дослідженнями неодноразово розглядалися математичні моделі для вивчення навантажено-деформованого стану вантажних вагонів. У той же самий час, при розробці конструкцій вантажних вагонів застосування різних пакетів прикладних програм, в будь-якому випадку, передбачає розробку конкретних математичних моделей відповідно до поставлених завдань. В даному розділі дисертаційної роботи пропонується провести дослідження за оцінкою міцності рами довгобазного вагона-платформи в динаміці, в залежності від часу. Дана робота може бути виконана за допомогою методу перехідних динамічних процесів, описаних в [54, 86].

3.2.1. Вибір і опис розрахункової схеми

Для опису розрахункової схеми при моделюванні напружено-деформованого стану платформи під час руху по залізничній колії використовуємо математичну модель рами, яка створена на етапі виконання оцінки напружено-деформованого стану платформи в статиці. У даній роботі розрахункова схема має деякі особливості. Передбачається, що в досліджуваній розрахунковій схемі між тілами системи мають місце такі зв'язки:

- рама платформи - підстава колії (2 зв'язки на вагон). Припускаємо між підставою колії і рамою наявність пружного зв'язку, що імітує центральне ресорне підвішування візка;

- п'ятник - підп'ятник (2 зв'язки на вагон);

- ковзун рами - ковзун візка (4 зв'язки на вагон).

В результаті наявності названих зв'язків рама сприймає на себе вертикальні динамічні навантаження, які в більшій мірі і визначають динамічну навантаженість платформи в цілому. При створенні математичної моделі платформи при її русі по залізничній колії згідно з описаною вище розрахунковою схемою був обраний програмний комплекс ANSYS. При цьому сформована математична модель враховує реальний стан рами при русі платформи залізничною колією і дозволяє оцінити його характеристики міцності в динаміці протягом певного часу.

3.2.2. Формування математичної моделі просторових коливань платформи і напружено-деформованого стану основних несучих елементів та вибір розрахункових режимів навантаження

При формуванні розрахункової математичної моделі для визначення напружено-деформованого стану платформи при її русі по залізничній колії розглядаються тільки вертикальні коливання без урахування поздовжньої і поперечної динаміки, так як в даному дослідженні виконується оцінка вертикального навантаження платформи. Тому, сили взаємодії автотчепів в даній розрахунковій

схемі не враховуються. Поздовжні сили (квазістатичні) розтягування або стискання враховувалися при виконанні розрахунку на міцність [95].

Сформована математична модель враховує реальний стан рами при русі платформи залізничною колією і дозволяє оцінити його характеристики міцності в динаміці протягом часу.

Вертикальні динамічні сили, що діють на раму платформи, описані далі на етапі виконання розрахунку, що моделює рух завантаженої платформи на прямих ділянках.

Центральне ресорне підвішування моделюємо за допомогою одного кінцевого елемента COMBIN14, який описує необхідні характеристики ресорного підвішування в середовищі ANSYS. Жорсткість пружного зв'язку відповідає жорсткості ресорного підвішування візка моделі 18-100 і становить 8850 Н/мм. При створенні розрахункової схеми один кінець кінцевого елемента COMBIN14 пов'язаний з п'ятником в центрі перетину шкворневої і хребтової балки, а інший кінець позбавлений всіх ступенів свободи, тобто затиснений.

На рисунку 3.4 наведено розрахункову схему для моделювання напружено-деформованого стану платформи під час руху по залізничній колії.

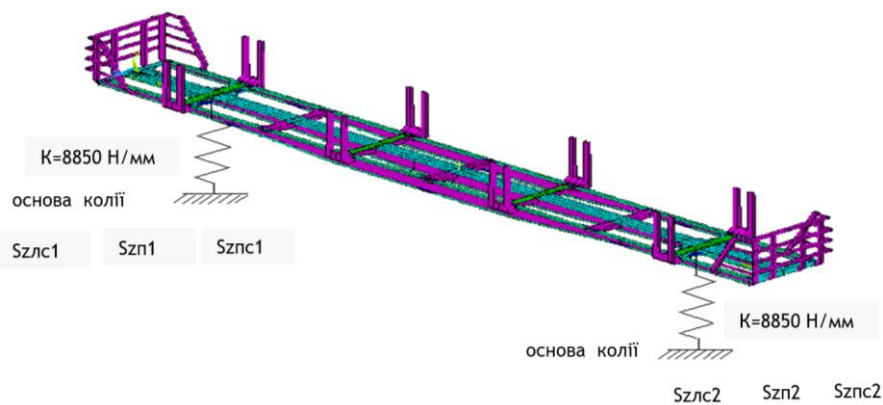


Рисунок 3.4. - Розрахункова схема для моделювання напружено-деформованого стану довгобазного вагона-платформи під час руху по залізничній колії.

3.2.3 Вибір розрахункових режимів навантаження

Дана розрахункова схема використовується при розробці математичної моделі. Далі виберемо граничні умови і режими для навантаження платформи.

Підготовка математичної моделі до розрахунку передбачає завдання граничних умов і навантаження. Розрахункова схема має наступні закріплення:

- в п'ятникових вузлах (в точках перетину шворневих і хребтової балок), при цьому п'ятники обмежені від зсуву вздовж поперечної осі ОХ;

- в центрі рами платформи, в двох симетричних точках, вводиться закріплення від поздовжнього переміщення уздовж осі ОУ. Рама платформи під час руху схильна до наступних видів постійних і змінних за часом вертикальних навантажень:

1. Постійні навантаження, Н:

- навантаження від елементів конструкції $P_{\text{кон}}$;
- навантаження від впливу ваги вантажу $P_{\text{гр}}$.

2. Змінні за часом навантаження, Н:

- $Sz_{л1}$ - вертикальна сила в лівому ковзуні першого візка;
- $Sz_{п1}$ - вертикальна сила в п'ятниках першого візка;
- $Sz_{пс1}$ - вертикальна сила в правому ковзуні першого візка;
- $Sz_{л2}$ - вертикальна сила в лівому ковзуні другого візка;
- $Sz_{п2}$ - вертикальна сила в п'ятниках другого візка;
- $Sz_{пс2}$ - вертикальна сила в правому ковзуні другого візка.

Відповідно до поставлених завдань, оцінка міцності рами платформи в динаміці, в залежності від часу може бути виконана за допомогою методу перехідних динамічних процесів.

Метод перехідних динамічних процесів (іноді називають процесами з історією навантаження) [142] використовується для визначення динамічної поведінки системи при дії будь-яких, що залежать від часу навантажень. Розрахунки, виконані даним методом, можливо використовувати для визначення переміщень, деформацій, напружень і сил в моделях, які змінюються у часі та викли-

каються комбінацією статичних, перехідних і гармонійно змінних навантажень. Масштаб часу навантаження повинен бути таким, щоб враховувати вплив інерції і демпфірування. Якщо інерція і демпфірування не важливі, можна застосовувати замість перехідних процесів розрахунок статичного стану.

Основне застосовується рівняння руху при дослідженні перехідних динамічних процесів має такий вигляд [123]:

$$[M]\ddot{U} + [C]\dot{U} + [K]U = F(t), \quad (3.69)$$

де $[M]$ – матриця мас; $[C]$ – матриця демпфірування; $[K]$ – матриця жорсткості; $\{\ddot{U}\}$ – вектор вузлових прискорень; $\{\dot{U}\}$ – вектор вузлових швидкостей; $\{U\}$ – вектор вузлових переміщень; $\{F(t)\}$ – вектор навантажень.

Для даної моделі матриця мас $[M]$ дорівнює вазі рами, матриця демпфірування $[C]$ дорівнює нулю, а матриця жорсткості $[K]$ дорівнює жорсткості ресорного підвішування візка моделі 18-100 і становить 8850 Н/мм. Для будь-якого поточного значення часу t ці рівняння можна вважати набором рівнянь статичної рівноваги, які враховують сили інерції $[M]\{\ddot{U}\}$ і сили демпфірування $[C]\{\dot{U}\}$. Для виконання розрахунку перехідних динамічних процесів руху платформи по ділянках залізничної колії скористаємося програмним комплексом ANSYS [142].

Комплекс ANSYS для вирішення зазначеної вище системи рівнянь (3.69) для дискретних значень часу використовує метод інтегрування за часом Ньюмарка. Приріст часу між його дискретними значеннями називають кроком інтегрування за часом.

Для розрахунку перехідних динамічних процесів в комплексі ANSYS застосовують три методи: повний, метод накладення форм і метод редукування. У даній роботі з пропонованих методів для виконання розрахунків обраний повний метод, так як він використовує повну систему матриць для обчислення відгуку системи.

Цей метод є найбільш загальним з усіх трьох методів, оскільки він також враховує всі типи нелінійностей (пластичність, великі переміщення, великі деформації і так далі).

Таким чином, перевагами повного методу є:

- зручність використання, оскільки не потрібне проведення вибору керуючих ступенів свобод чи власних форм;
- можливість застосування будь-яких видів нелінійностей;
- можливість використання повних матриць без будь-якого наближення цих матриць;
- можливість обчислення всіх переміщень і напруженого за один крок розрахунку;
- можливість застосування всіх видів навантаження: вузлових зусиль, запропонованих (нульових) переміщень, елементні навантаження (тиску і температури);
- можливість табличного задання граничних умов за допомогою масивів параметрів TABLE;
- можливість ефективного використання навантаження, прикладених до геометричної моделі.

Недолік даного методу – трудомісткість.

Розрахунок перехідних динамічних процесів більш трудомісткий, ніж звичайний динамічний процес, оскільки в загальному випадку вимагає великої кількості ресурсів комп'ютера і значних витрат часу. Але, отриманий в результаті обчислень напружено-деформований стан рами платформи більш повно відображає реальний стан конструкції. При розробці використовувалося тільки ліцензійне програмне забезпечення.

3.2.4 Вихідні дані для розрахунку

Для підготовки вихідних даних до моделювання напружено-деформованого стану вагона-платформи під час руху по реальним ділянкам ко-

лії, виконано моделювання просторових коливань вагона-платформи. При цьому розглядався випадок руху завантаженої платформи по прямолінійній ділянці колії.

Дослідження динамічного навантаження платформ здійснювалося на візках моделі 18-100.

За результатами моделювання динамічних процесів отримані значення сил в ковзунах і п'ятниках рами довгобазного вагона-платформи на прямолінійній ділянці колії (таблиця 3.1 Додаток Б), які були використані для розрахунку напружено-деформованого стану рами довгобазного вагона-платформи.

3.3 Висновки за розділом 3

1. Обрана і описана розрахункова схема, сформована математична модель просторових коливань і напружено-деформованого стану несучих елементів конструкцій платформи.

2. Описано диференціальні рівняння просторових коливань і зусилля в зв'язках вагонів-платформ.

3. Вибрані розрахункові режими навантаження, підготовлені вихідні дані для проведення розрахунків перехідних динамічних процесів повним методом з метою визначення напружено-деформованого стану рами вагона-платформи, а також виконаний необхідний для аналізу і оцінки обсягів розрахунків.

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНКИ РЕЖИМІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ДОВГОБАЗНОГО ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ НА МІЦНІСТЬ. ВДОСКОНА-
ЛЕННЯ ТА РОЗРАХУНОК МОДЕРНІЗОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ НА ВТОМУ

Цей розрахунок виконано з метою оцінки міцності несучих елементів конструкції довгобазного вагона-платформи для великотонажних контейнерів і труб моделі 13-7031, (далі платформа) на відповідність вимогам [95-99].

4.1. Вихідні дані для розрахунку

Матеріал і допустимі напруження, прийняті відповідно до [95], наведені в таблиці 4.1.

Відповідно до [95], для низьколегованої сталі 09Г2С за ГОСТ 19281-89 модуль пружності приймається рівним $2,1 \cdot 10^5$ МПа, коефіцієнт Пуассона приймається рівним 0,3.

При розрахунку від дії навантаження власною вагою було прийнято, що щільність матеріалу металоконструкції становить 7850 кг/м^3 .

Кількість вісей	4
Вантажопідйомність, кг	64000
Маса тари вагона, кг	30000
База вагона, 2l, м	18,500
Довжина вагона по осях зчеплення автозчепів, 2Lc, м	25670
Маса контейнера 1СС бруто, кг	24000
Висота контейнера 1СС, h_k , м	2,591
Відстань між центрами фітінгів по довжині, l_{kf} , м	5,853
Відстань між центрами фітінгів по ширині, $l_{шф}$, м	2,259
Маса контейнера 1ААА бруто, кг	40000
Висота контейнера 1ААА, h_k , м	2,896
Відстань між центрами фітінгів по довжині, l_{kf} , м	5,853
Відстань між центрами фітінгів по ширині, $l_{шф}$, м	2,259
Конструкційна швидкість руху, V, м/с	33,3

Міцність рами вагона у відповідності з [95-96] оцінюється по першому та третьому розрахунковим режимам.

Таблиця 4.1– Матеріали і допустимі напруження

Найменування вузлів та елементів, матеріал	Границя текучості σ_T , МПа	Допустимі напруження $[\sigma]$, МПа		
		удар	I режим	III режим
Хребтова, шворнева та бокові балки, сталь 09Г2С, елементи товщиною більш 20мм (клас міцності 345)	345	345	$0.9\sigma_T$ 310,5	210
Хребтова, шворнева та бокові балки, сталь 09Г2С, елементи товщиною від 10 до 20мм (клас міцності 345)	345	345	$0.9\sigma_T$ 310,5	210
Передні та проміжні балки товщиною 10мм та менше	345	345	$0.95\sigma_T$ 328	230

4.2. Розрахункова схема і прийняті допущення

Згідно п. 6.2 [95], розрахунок був виконаний з використанням обчислювального комплексу ANSYS/V11.0, що реалізує метод кінцевих елементів (МКЕ) на ПЕОМ стандарту ІВМ-РС.

Використовується пластинчата кінцево-елементна модель.

Для розрахунку використовувалися кінцеві елементи типу SHELL 63. Використовувані кінцеві елементи мають квадратичні функції форми і шість ступенів свободи в кожному вузлі, переміщення вздовж осей x , y , z і повороти навколо цих осей.

Кінцево-елементна модель рами довгобазного вагона-платформи показана на рисунку 4.1.

В якості глобальної системи координат при складанні розрахункової схеми була обрана права, декартова система з центром на поздовжній вісі вагона в

площині нейтральної вісі лобової балки. Вісь X системи координат спрямована уздовж поздовжньої вісі вагона, вісь «Y» -вертикально вгору.

Навантаження власною вагою проводилося шляхом задання щільності матеріалу моделі, з подальшим додатком до розрахункової схеми прискорення $9,81 \text{ м/с}^2$ в кожному вузлі уздовж вертикальної вісі "Y".

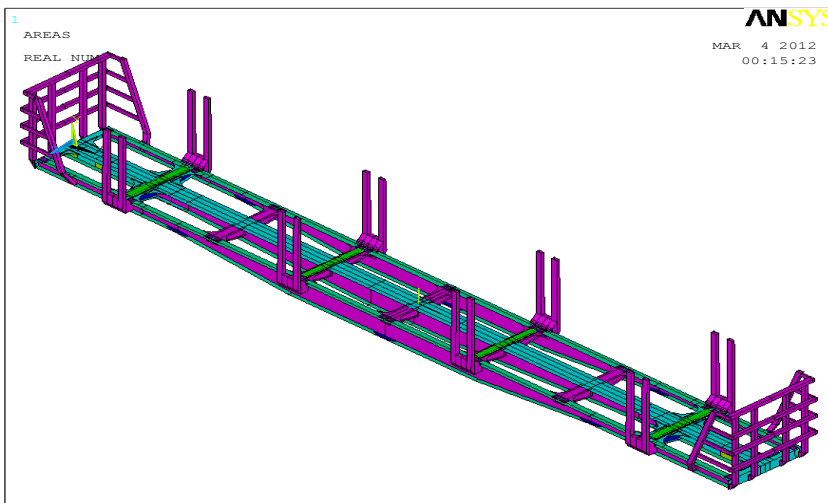


Рисунок 4.1 – Загальний вигляд розрахункової схеми

4.3 Вибір розрахункових схем

З метою вибору схем завантаження для кінцево-елементного аналізу були визначені згинальні моменти для можливих схем завантаження контейнерами. Схеми розміщення вантажу та величини згинальних моментів наведені на рисунках 4.2 – 4.9 (Додаток В).

Найбільший згинальний момент в середній частині отримано для схем, наведених на рисунках 4.2, 4.8 і 4.9. Для консольної частини для схеми представленої на рисунку 4.5. Подальший розрахунок проводимо для схем наведених на рисунках 4.2, 4.5, 4.8 і 4.9. Пристосування для кріплення труб мають надійну конструкцію і забезпечують утримання труб в поздовжньому напрямку при співударах з зусиллям до 3,5 МН. Торцевий щит служить для запобігання неприпус-

тимого переміщення труб при наднормативних співударах, які виникають в аварійних ситуаціях. Тому напруження в елементах конструкції торцевого щита при нормальних умовах експлуатації значно нижчі допустимих та їх дослідження не-доцільно.

Характерні перерізи платформи і місця розташування датчиків наведені на рисунках 4.10-4.11.

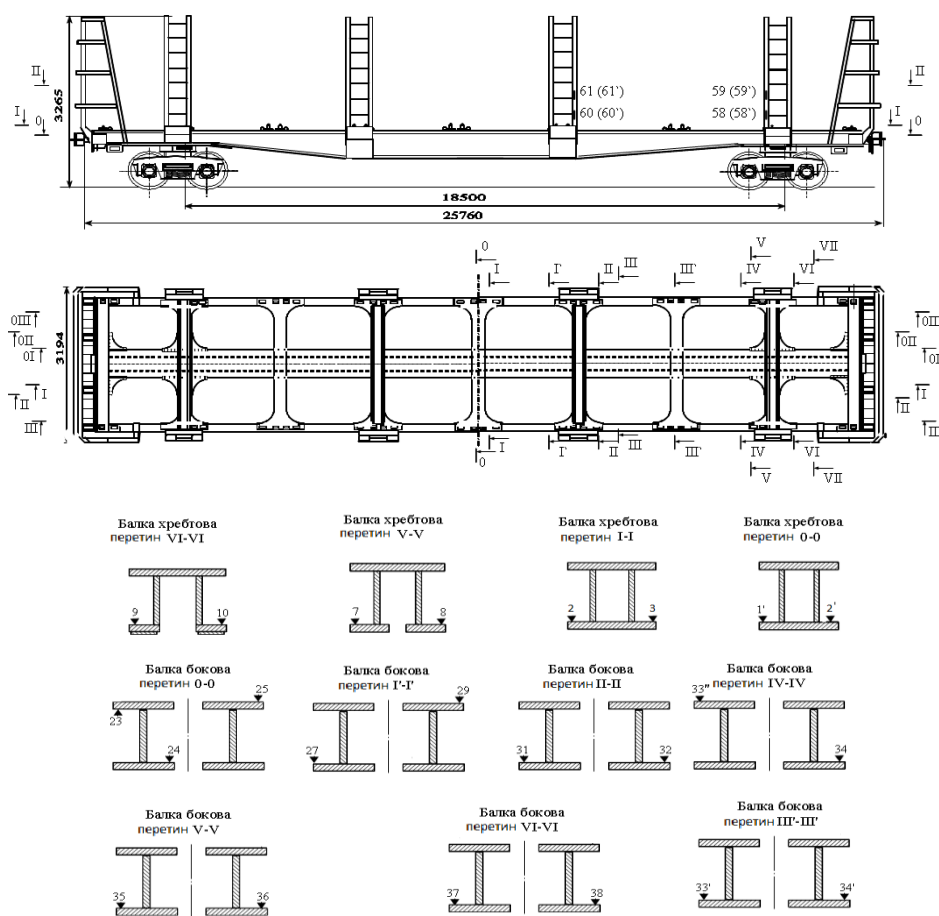


Рисунок 4.10 - Схема перерізів та розташування датчиків на елементах конструкції

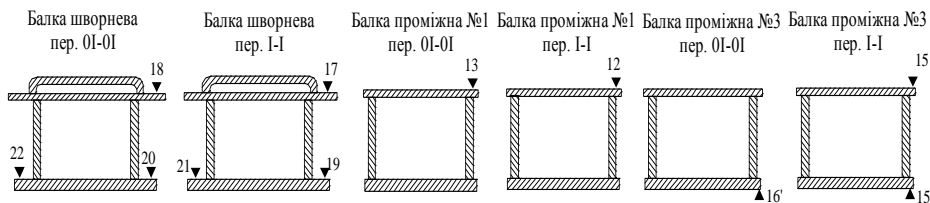


Рисунок 4.11 - Схема перерізів та розстановки датчиків на елементах конструкції

4.4. Визначення зусиль, що діють на раму вагона

Поздовжні навантаження

Навантаження розтягування 1,0 МН і 2,0 МН прикладалася при розрахунку у вузлі розрахункової схеми, що відповідає розташуванню ударної поверхні переднього упору.

Навантаження стиснення 1,0 МН і 2,5 МН прикладалася при розрахунку у вузлі розрахункової схеми, що відповідає розташуванню ударної поверхні заднього упору.

Визначення коефіцієнта вертикальної динаміки

Розрахункові напруження при вертикальному динамічному навантаженні були отримані множенням напружень при вертикальному статичному навантаженні на коефіцієнт, що дорівнює $(1+k_{\text{де}})$. Де $k_{\text{де}}$ – коефіцієнт вертикальної динаміки, що визначається за залежністю:

$$k_{\text{де}} = \frac{\overline{k_{\text{де}}}}{\beta} \cdot \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \ln \frac{1}{1 - P(k_{\text{де}})}}, \quad (4.1)$$

де $\overline{k_{\text{де}}}$ – середнє значення коефіцієнта вертикальної динаміки;

β – параметр розподілу, для деталей вантажних вагонів приймається

$\beta = 1,13$;

$P(k_{\text{де}})$ – довірна імовірність, прийнята 0,97;

Середнє значення $\overline{k_{\text{де}}}$ визначається при $V \geq 15$ м/с (~55 км/год) за формулою

$$\overline{k_{oe}} = a + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot b \cdot \frac{V - 15}{f_{ст} - 0,5z}; \quad (4.2)$$

де: $a = 0,05$ – коефіцієнт, прийнятий за [95];

$b = (n + 2) / 2n$ – коефіцієнт, що враховує кількість вісей n у візку.

$2n$ – кількість вісей вагона, $n = 2$;

z – прогин рами вагона під вантажем, прогини рами під розрахунковими режимами завантаження наведені на рисунках 4.12-4.15 і становлять:

- для схеми завантаження 4x20' z = дорівнює 41,7 мм;
- для схеми завантаження 2x40' z = дорівнює 23,5 мм;
- для схеми завантаження 3x20' z = дорівнює 64,3 мм;
- для схеми завантаження двома штабелями труб z = дорівнює 47,0 мм;

$$b = (2 + 2) / (2 \cdot 2) = 1,$$

V – конструктивна швидкість руху вагона, прийнята 33,3 м/с.

$f_{ст}$ – статичний прогин ресор завантаженого вагона, прийнятий 0,048 м.

У результаті розрахунку були отримані наступні значення коефіцієнта вертикальної динамики:

- для схеми завантаження 4x20' k_{oe} = дорівнює 0,548;
- для схеми завантаження 2x40' k_{oe} = дорівнює 0,434;
- для схеми завантаження 3x20' k_{oe} = дорівнює 0,872;
- для схеми завантаження двома штабелями труб k_{oe} = дорівнює 0,597.

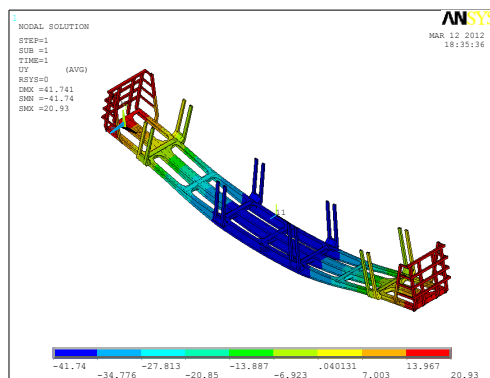


Рисунок 4.12 – прогин рами (чотири 20 футових контейнера по 16 т)

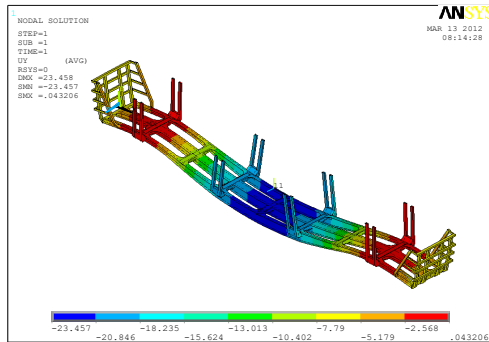


Рисунок 4.13 – прогин рами (два 40 футових контейнера по 32 т)

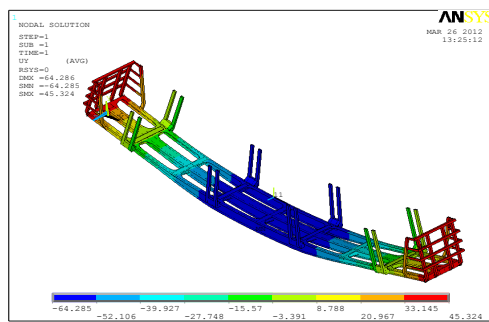


Рисунок 4.14 – прогин рами (три 20 футових контейнера загальною масою 64 т)

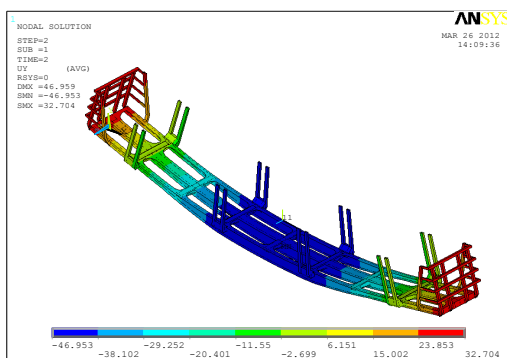


Рисунок 4.15 – прогин рами (два штабелі труб загальною масою 64 т)

Розрахунок від дії розтягуючих або стискаючих сил при нецентральної взаємодії автозчепів

Вертикальне навантаження на консоль вагона, що виникає від дії розтягуючих або стискаючих сил при нецентральної взаємодії автозчепів двох сусідніх вагонів прикладалось відповідно до п. 2.4.2 (додаток 2) [95]. Розрахунок зусиль проводився по наступній залежності:

$$P = \pm \frac{N \cdot e}{b}, \quad (4.3)$$

$$a = \frac{b}{2} - c \pm h, \quad (4.4)$$

де: P – вертикальне зусилля, що діє на консоль вагона;

N – розрахункова поздовжня сила;

e – різниця рівнів вісей автозчепів зчеплення вагонів, приймається 0,1 м при I розрахунковому режимі і 0,05 при III режимі;

b – довжина жорсткого стрижня, утвореного двома зчепленими автозчепами за умовними шарнірами в точках опори. Приймається $b = 2,0$ м при стисненні, $b = 1,81$ м при розтягненні.

a – відстань точки прикладання сили P від площини кінцевого бруса;

c – конструктивний виліт автозчепу за площину кінцевого бруса,

$c = 0,610$ м;

h – повний хід поглинаючого апарату (знак «+» – при стисненні, знак «-» при розтягуванні), $h = 0,12$ м;

В результаті було отримано ряд значень вертикальних сил для розтягування і стиснення при різних величинах поздовжньої сили (таблиця 4.2 Додатку Г).

Відстань a дорівнює:

- при розтягуванні 0,175 м;

- при стисненні 0,510 м.

Розрахунок від бічних сил взаємодії між вагонами в кривих при русі поїзда і маневровій роботі

Навантаження від дії бічних сил взаємодії між вагонами в кривих при русі поїзда і маневровій роботі відповідно до п. 2.3.4 [9595]. Для випадку дії розтягуючих сил розрахунок навантаження проводився у відповідності з формулою

$$P_N = N \frac{L_c}{R}, \quad (4.5)$$

де N – сила, прикладена вздовж осі автозчепу, величина якої встановлюється у відповідності з розрахунковими режимами;

$2L_c$ – довжина вагона по вісях зчеплення автозчепів,

$2L_c = 25,67$ м;

R – радіус кривої, приймається рівним 250м;

Для випадку дії стискаючих сил розрахунок навантаження проводився у відповідності з формулою:

$$P_N = N \cdot \left[\frac{\delta L}{l^2} \left(1 + \frac{L}{a} \right) + \frac{L_c}{R} \right] \frac{1}{L}, \quad (4.6)$$

де $2l$, $2L$ – відповідно база вагона, відстань між плитами для упору автозчепів; $2l = 18,500$ м, $2L = 23,67$ м;

a – довжина корпусу автозчепу, $a = 1$ м;

δ – можливе бічне переміщення шкворневого перерізу вагона за рахунок зазорів колісної пари в рейковій колії і зазорів в брусах і пятниках, $\delta = 0,04$ м.

В результаті були отримані значення поперечних сил для розтягування і стискання при різних величинах поздовжньої сили, які наведені в таблиці 4.2 (Додаток Г).

Визначення зусиль при співударі

Навантаження від сил інерції власної ваги вагона при дії ударів прикладалися при розрахунку у вигляді прискорення вздовж вісі координат «Х». Величина прискорення була прийнята відповідно до п. 2.4.2 [95] для режиму співудару

$$a=3,5g;$$

де $g=9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння.

Навантаження від сили інерції контейнерів при дії ударів прикладалися при розрахунку до двох передніх зі сторони удару упорів.

Також, при ударах і ривках враховувалася вертикальна добавка від по-
вздожньої сили інерції контейнерів, яка визначалася згідно п. 2.4.3 за формулою
(2.11) [95]:

$$P_y = N_{\text{ик}} \frac{h_k}{l_{\text{кф}}} \quad (4.7)$$

де $N_{\text{ик}}$ – позовжня сила інерції контейнера;

h_k – відстань від центру ваги контейнера або штабеля труб до опорних
поверхонь фітингів або до поверхні опорних балок:

- для контейнерів типорозміру 1СС, $h_k = 2.591/2 = 1.2955$ м,
- для контейнерів типорозміру 1ААА $h_k = 2.896/2 = 1.448$ м,
- відстань між опорними балками труб $h_k = 1.500$ м;

$l_{\text{кф}}$ – відстань між центрами фітингів контейнерів по довжині:

- для контейнера типорозміру 1СС (20') $l_{\text{кф}} = 5.853$ м,
- для контейнера типорозміру 1ААА (40') $l_{\text{кф}} = 11.985$ м,
- відстань між опорними балками труб $l_{\text{кф}} = 6.183$ м.

Відповідно до [95] вертикальна добавка від позовдножньої сили інерції при
підсумовуванні з іншими навантаженнями враховується в розмірі 50%.

Таким чином:

- для 20-футового контейнера масою 16т

$$N_{\text{ик}} = m \cdot a = m \cdot 3.5 \cdot g = 16 \cdot 3.5 \cdot 9.81 = 549 \text{ кН};$$

$$P_y = N_{\text{ик}} \frac{h_k}{l_{\text{кф}}} = 549 \cdot \frac{1,2955}{5,853} = 121,6 \text{ кН.}$$

- для 20-футового контейнера масою 21,3т

$$N_{\text{ик}} = m \cdot a = m \cdot 3.5 \cdot g = 21.3 \cdot 3.5 \cdot 9.81 = 731 \text{ кН};$$

$$P_y = N_{\text{ик}} \frac{h_k}{l_{\text{кф}}} = 731 \cdot \frac{1,2955}{5,853} = 161,8 \text{ кН.}$$

- для 40-футового контейнера масою 32т

$$N_{\text{ик}} = m \cdot a = m \cdot 3.5 \cdot g = 32 \cdot 3.5 \cdot 9.81 = 1098.7 \text{ кН};$$

$$P_y = N_{\text{ик}} \frac{h_k}{l_{\text{кф}}} = 1098,7 \cdot \frac{1,448}{11,985} = 132,7 \text{ кН.}$$

- для штабеля труб масою 32т

$$N_{ик} = m \cdot a = m \cdot 3.5 \cdot g = 32 \cdot 3.5 \cdot 9.81 = 1098.7 \text{ кН};$$

$$P_y = N_{ик} \frac{h_k}{l_{кф}} = 1098,7 \cdot \frac{1,500}{6,183} = 266,5 \text{ кН}.$$

Розрахунок від бічної сили, що виникає в кривих при русі поїзда по III режиму

Бічна сила, що дорівнює різниці відцентрової сили і горизонтальної складової сили ваги, що виникає внаслідок підвищення зовнішньої рейки, відповідно до п. 2.3.2 [95] приймається рівною 7.5% від сили ваги брутто. У розрахунку окремо враховані відцентрові сили вантажу і рами вагона. Рівнодіюча бічної відцентрової сили контейнерів прикладена в центрі ваги контейнерів і викликає вертикальну добавку від цієї сили. Величину вертикальної добавки визначимо за формулою:

$$P_y = N_{ц} \frac{h_k}{l_{шф}} \quad (4.8)$$

де $N_{ц}$ – відцентрова сила контейнера, рівна 7.5% сили тяжіння;

$l_{шф}$ – відстань між центрами фітінгів контейнерів по ширині, для всіх типів контейнерів $l_{шф} = 2,259$ м.

Таким чином:

- для 20-футового контейнера масою 16т

$$N_{ц} = m \cdot a = m \cdot 0,075 \cdot g = 16 \cdot 0,075 \cdot 9,81 = 11,8 \text{ кН};$$

$$P_y = N_{ц} \frac{h_k}{l_{шф}} = 11,8 \cdot \frac{1,2955}{2,259} = 6,77 \text{ кН}.$$

- для 20-футового контейнера масою 21,3т

$$N_{ц} = m \cdot a = m \cdot 0,075 \cdot g = 21,3 \cdot 0,075 \cdot 9,81 = 15,7 \text{ кН};$$

$$P_y = N_{ц} \frac{h_k}{l_{шф}} = 15,7 \cdot \frac{1,2955}{2,259} = 8,99 \text{ кН}.$$

- для 40-футового контейнера

$$N_{\text{ц}} = m \cdot a = m \cdot 0,075 \cdot g = 32 \cdot 0,075 \cdot 9,81 = 23,5 \text{ кН};$$

$$P_y = N_{\text{ц}} \frac{h_k}{l_{\text{шф}}} = 23,5 \cdot \frac{1,448}{2,259} = 15,1 \text{ кН}.$$

Для випадку завантаження трубами бічна сила прикладається до стійок і поперечних балок, на які спираються труби в бік дії відцентрової сили.

Ремонтні режими

При підйомці завантаженої рами вагона двома домкратами, підведеними під кінці однієї шворневої балки, на раму діє вертикальне статичне навантаження від ваги рами з вантажем. При цьому спирання відбувається на головки двох домкратів і підп'ятник візка іншої шворневої балки.

При підйомці порожньої рами вагона двома домкратами по діагоналі, підведеними під кінці шворневої балки, на раму діє вертикальне навантаження від ваги рами. При цьому спирання відбувається на головки двох домкратів.

Комбінації режимів навантаження приведені в таблиці 4.2 (Додаток Г).

4.5. Аналіз результатів розрахунку

Розрахункові напруження при основних нормативних розрахункових режимах були отримані шляхом додавання до кінцево-елементної моделі рами вагона комбінацій навантажень згідно таблиці 4.2 (Додаток Г).

Головні напруження ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) отримані з компонентів тензора напружень рішенням кубічного рівняння:

$$\begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma_0 & \sigma_{yx} & \sigma_{zx} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y - \sigma_0 & \sigma_{zy} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z - \sigma_0 \end{vmatrix} = 0; \quad (4.9)$$

де σ_0 – головні напруження, величини головних напружень ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) приймаються таким чином, щоб виконувалася умова ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$).

Еквівалентні напруження визначаються за формулою:

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot ((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)} \quad (4.10)$$

або

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot ((\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{xz}^2))} \quad (4.11)$$

Оцінка відповідності конструкції рами вагона вимогам [95] за I та III режимами та режиму співудару проводилася шляхом порівняння розрахункових еквівалентних напружень, наведених у таблицях 4.3-4.6, з допустимими величинами, наведеними в таблиці 4.1, згідно [95].

Напружено деформований стан рами довгобазного вагона-платформи для I і III режимів, режиму співудару і ремонтних режимів підйомки двома домкратами наведено на рисунках 4.16 - 4.39 (Додаток Д).

Значення еквівалентних напружень отриманих при розрахунку та при проведенні статичних випробувань наведені у таблицях 4.3 – 4.6 (Додаток Д). Номери точок відповідають номерам точок на рисунках 4.10-4.11.

4.6 Розрахунок елементів рами на втому

Одним з основних і складних завдань при проектуванні довгобазних вагонів-платформ є прогнозування втомної міцності. Це пов'язано з певними похибками і імовірнісними даними, які використовуються в методиках розрахунку, оскільки для визначення амплітуд напружень використовується МСЕ. Цей метод є наближеним методом розрахунку, в кінцевому результаті допускає похибку від 5 до 20 %. Потрібно відзначити, що при теоретичних розрахунках не враховуються технологічні особливості виготовлення довгобазних конструкцій. Над рішенням задачі щодо уточненого розрахунку втомної міцності довгобазних

вагонів-платформ і метолоконструкцій взагалі працювали такі вчені і провідні фахівці в цій області як М.М. Шапошников [144], Г.Д. Жовтобрюх [145], С.А. Сенаторов [146], И.В. Баранов [146], А.П. Приходько [147], В.П. Когаев [148], О.Б. Камаев [149], М.Н. Андриашевич [150], О.А. Битюцкий [151], И.А. Машенко [152], А.Б Струвило [153]. Детально розрахунок втомної міцності по напруженням, отриманим в результаті розрахунку і за результатами ходових випробувань розглянутий в роботах [154-155].

Розрахунок елементів рами на втому проводиться для випадку дії на неї максимально допустимих навантажень в перерізах з високим рівнем знакозмінних напружень. Найбільші напруження визначені в перерізах, представлених на рисунках 4.10 – 4.11.

Оцінка втомної міцності проводилася відповідно до [95] за коефіцієнтом запасу опору втомі за формулою:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,\varepsilon}} \geq [n], \quad (4.12)$$

де: $\sigma_{a,N}$ - границя витривалості (по амплітуді) для контрольної зони при симетричному циклі та встановленому режимі навантаження при базовому числі циклів $N_0 = 10^7$;

$\sigma_{a,\varepsilon}$ - величина амплітуди динамічного напруження умовного симетричного циклу, приведена до базового числа циклів N_0 , еквівалентна за ушкоджуючою дією впливу реального режиму експлуатаційних напружень за розрахунковий термін служби;

$[n]$ – мінімально допустимий коефіцієнт запасу опору втомі за вибраний термін служби.

Розрахункове значення $\sigma_{a,N}$ визначалось за формулою

$$\sigma_{a,N} = \overline{\sigma_{a,N}} \cdot (1 - z_p \cdot v_{\sigma_{a,N}}), \quad (4.13)$$

де $\overline{\sigma_{a,N}}$ - середнє (медіанне) значення межі витривалості контрольної зони;

z_p - квантиль розподілу $\sigma_{a,N}$.

Для основних несучих деталей вагонів рекомендується приймати ймовірність розподілу $P = 0,95$ і $z_p = 1,645$;

$v_{\sigma_{a,N}}$ - коефіцієнт варіації межі витривалості матеріалу. Значення $v_{\sigma_{a,N}}$ для деталей з низьколегованих сталей при напівавтоматичному і ручному зварюванні приймається рівним $v_{\sigma_{a,N}} = 0,07$; [1].

Значення $\overline{\sigma_{a,N}}$ визначалось за формулою:

$$\overline{\sigma_{a,N}} = \frac{\overline{\sigma_{-1}}}{\left(\overline{k_{\sigma}}\right)_k}, \quad (4.14)$$

де $\overline{\sigma_{-1}}$ - середнє (медіанне) значення межі витривалості гладкого стандартного зразка з матеріалу рами при симетричному циклі вигину на базі $N_0=10^7$ циклів;

$\left(\overline{k_{\sigma}}\right)_k$ - середнє значення загального коефіцієнта зниження межі витривалості в обраній контрольній зоні по відношенню до межі витривалості гладкого стандартного зразка. Значення $\left(\overline{k_{\sigma}}\right)_k$ приймались згідно [95].

При впливі на матеріал циклічного навантаження крива втоми має вигляд:

$$N_i \cdot \sigma_i^m = const, \quad (4.15)$$

де N – кількість циклів навантаження;

σ – напруження матеріалу в даній точці.

У випадку впливу навантаження з різними напруженнями сумарна втома буде дорівнювати сумі добутків кількості циклів при кожному навантаженні на дану напругу. Таким чином, при виникненні у вузлі різних циклічних навантажень можна замінити їх навантаженням з постійною амплітудою.

$$N_1 \cdot \sigma_1^m = \sum N_i \cdot \sigma_i^m \quad (4.16)$$

Таке перетворення буде справедливо для напружень менших межі текучості.

Значення напружень у вузлі при русі поїзда визначаємо за статичним напруженням від ваги вантажу і власної ваги і за коефіцієнтом динаміки відповідно до [95, 96]

$$\sigma_i = \sigma_{cm} \cdot K_{di} \quad (4.17)$$

- при $V < 15$ м/с (≈ 55 км/год)

$$\overline{K_{di}} = a \cdot \frac{V_i}{15}, \quad (4.18)$$

- при $V > 15$ м/с

$$\overline{K_{di}} = a + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot b \cdot \frac{V_i - 15}{f_{cm} - 0,5 \cdot z}, \quad (4.19)$$

де $a = 0,05$ – коефіцієнт для елементів рами,

$b = 1$ – коефіцієнт, що враховує вплив кількості вісей у візку;

V_i – швидкість руху в i -тому інтервалі;

z – прогин рами під вантажем, наведено у п. 4.2;

$f_{ст}$ – прогин ресорного підвішування, $f_{ст} = 0,048$

Отримуємо:

$$N_1 \cdot \sigma_1^m = \sigma_{cm}^m \cdot \sum N_i \cdot \overline{k_{di}}^m \quad (4.20)$$

Кількість циклів при кожному з напружень визначаємо за [95]:

$$N_i = N_p \cdot p_i \quad (4.21)$$

де N_p – загальне число циклів;

p_i – ймовірність знаходження платформи в заданому діапазоні швидкостей, наведена в таблиці 3.4 [95].

За [95] приймаємо $m=4$.

В результаті отримуємо:

$$N_0 \cdot \sigma_{a,з}^4 = N_p \cdot \sigma_{ст}^4 \cdot \sum \overline{k_{di}}^4 \cdot p_i \quad (4.22)$$

звідки

$$\sigma_{a,\varepsilon} = \sigma_{ст} \cdot \sqrt[4]{\frac{N_p}{N_0} \sum k_{di}^{-4} \cdot p_i} \quad (4.23)$$

Статичні напруження від сили ваги бруто вагона були отримані з розрахунку методом кінцевих елементів з використанням програмного комплексу ANSYS.

Розрахунок проводимо по чотирьох варіантах завантаження, при яких маємо найбільший згинальний момент, визначений у розрахунку на міцність.

Напружено деформований стан вагона від дії сили ваги бруто наведений на рисунках 4.40 – 4.43.

Сумарне число циклів вертикальних динамічних сил за розрахунковий термін служби N_c визначалося згідно [95] за формулою

$$N_c = 365 \cdot f_s \frac{L_c \cdot 0,6 \cdot 10^3}{\bar{V}_T} \cdot T_k, \quad (4.24)$$

де f_s – ефективна частота процесу зміни вертикальних динамічних напружень, Гц;

L_c – середньодобовий пробіг вагона, приймаємо $L_c = 220$ км/добу;

0,6 – коефіцієнт, що враховує пробіг вагона в завантаженому стані;

\bar{V}_T – середня технічна швидкість руху вагона, м/с,

згідно [95] $\bar{V}_m = 22,4$ м/с;

T_k – розрахунковий термін служби вагона.

Ефективна частота f_s визначається в програмному комплексі ANSYS з застосуванням модального аналізу як частота власних коливань завантаженої платформи на ресорах. Для всіх розглянутих режимів завантаження $f_s = 2,01$ Гц.

Підставивши значення у формулу (4.24) отримаємо

$$N_{c1} = 365 \cdot 2,01 \cdot \frac{220 \cdot 0,6 \cdot 10^3}{22,4} \cdot 32 = 138345429 \text{ циклів};$$

Для визначення величини еквівалентної наведеної амплітуди динамічних напружень σ_{azi} використовувались дані середніх швидкостей в інтервалах V_i і

частість експлуатації в i -тому інтервалі швидкостей p_i , які приведені в [95]. Визначені коефіцієнти вертикальної динаміки наведені в таблицях 4.7 – 4.10 (Додаток Д)

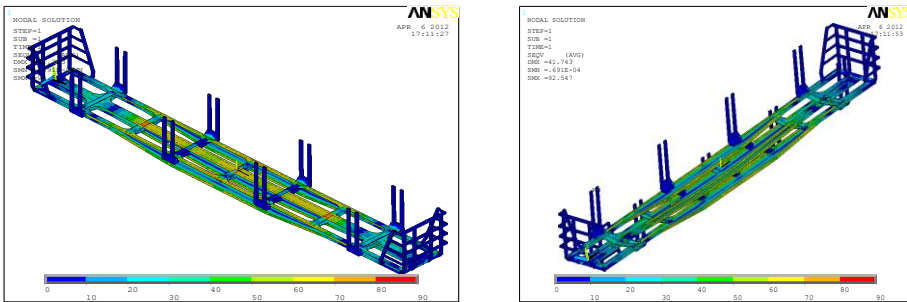


Рисунок 4.40 – напруження від вертикальної статки, 4x20'.

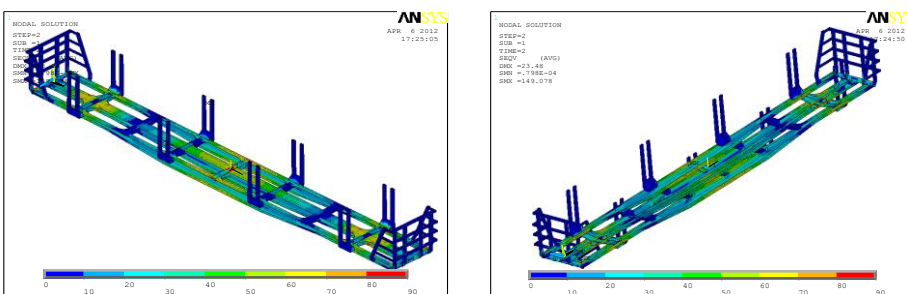


Рисунок 4.41 – напруження від вертикальної статки, 2x40'.

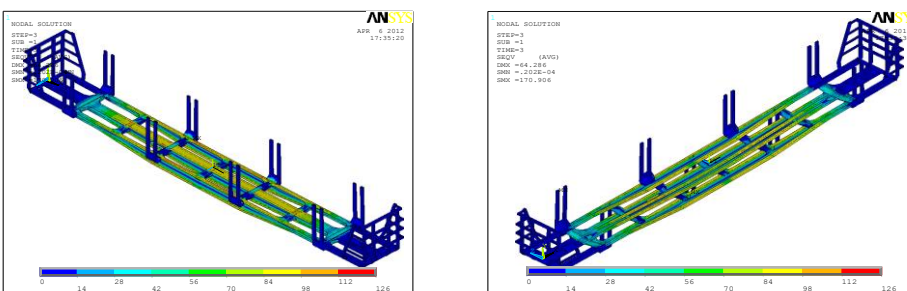


Рисунок 4.42 – напруження від вертикальної статки, 3x20'.

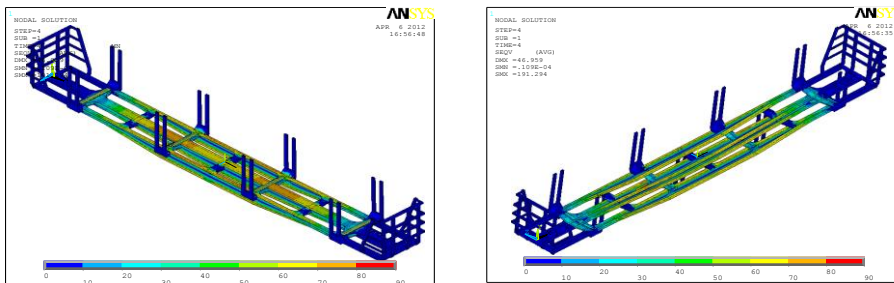


Рисунок 4.43 – напруження від вертикальної статички, два штабелі труб

Результати розрахунку коефіцієнта запасу опору втомі для схем завантаження приведених вище, наведені в таблицях 4.11 – 4.14 (Додаток Д).

Визначення коефіцієнта запасу опору втомі в зонах, в яких стався злам при проведенні стендових випробувань

При проведенні стендових випробувань руйнування були виявлені в двох зонах. В перерізі I-I в зоні закінчення накладки і в перерізі III-III хребтової балки на прорізі для горизонтального важеля автогальма. Напружено-деформований стан цих зон при завантаженні двома 40-футовими контейнерами показаний на рисунках 4.44 і 4.45. Результати розрахунку представлені в таблиці 4.15.

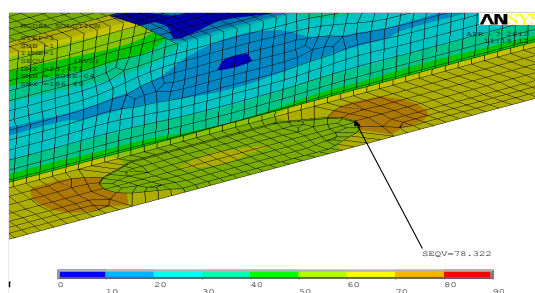


Рисунок 4.44 – Напружено-деформований стан в зоні шва накладки в центрі бічної балки до пропонованого доопрацювання

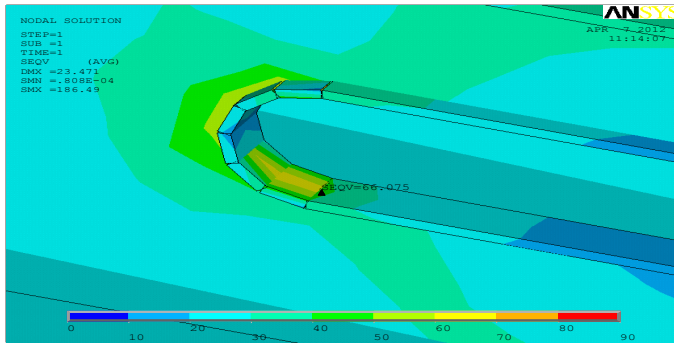


Рисунок 4.45 – Напружено-деформований стан у зоні вікна горизонтального важеля хребтової балки до пропонованого доопрацювання

Таблиця 4.15 – Коефіцієнт запасу опору втомі в зонах руйнувань, завантаження двома 40-футовими контейнерами.

Елемент	Переріз	Точка	№ узла моделі	Результати розрахунку				
				$\sigma_{ст}$	$\sigma_{а\omega}$	$(\bar{k}_{\sigma})_k$	σ_{aN}	n
Хребтова балка	I-I	т. тр1	34553	66,1	27,3	5,0	37,2	1,36
Хребтова балка	III-III	т. тр2	64578	78,3	32,3	5,0	37,2	1,15

Як видно з таблиці, значення коефіцієнта запасу опору втомі менше необхідного $[n] = 1,5$. Отже, ці зони потребують підсилення.

Для зони руйнування в перерізі I-I пропонуємо видалити накладку на нижньому поясі, що дозволить знизити концентрацію напружень біля шва і зменшити коефіцієнт концентрації з 5,0 до 2,5.

Для зони руйнування по вікну в перерізі III-III пропонується перенести стиковий шов підсилюючого обода в зону з більш низькими напруженнями, що дозволяє знизити рівень напружень з 66,1 МПа до 5,1 МПа. Напружено-деформований стан зазначених зон після доопрацювання показано на рисунках 4.46 – 4.47, а результати розрахунку наведені в таблиці 4.16.

Таблиця 4.16 – Коефіцієнт запасу опору втомі в зонах руйнувань після доопрацювання, завантаження 40-футовими контейнерами.

Елемент	Переріз	Точка	№ узла моделі	Результати розрахунку				
				$\sigma_{ст}$	$\sigma_{аЭ}$	$(\overline{k_{\sigma}})_k$	σ_{aN}	n
Хребтова балка	I-I	т. тр1	34553	5,1	2,1	5,0	37,2	17,67
Хребтова балка	III-III	т. тр2	64578	71,4	29,5	2,5	116,1	3,94

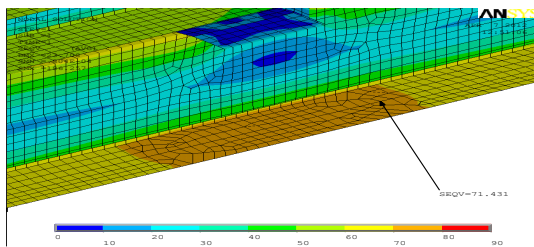


Рисунок 4.46 – Напружено-деформований стан в зоні шва накладки в центрі бічної балки після пропонованого доопрацювання

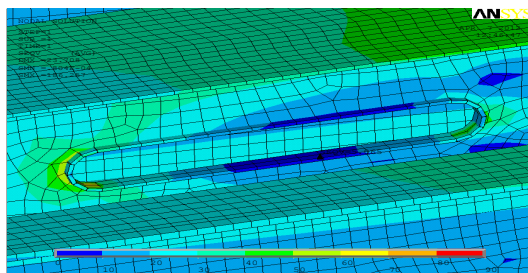


Рисунок 4.47 – Напружено-деформований стан у зоні вікна горизонтального важеля хребтової балки після пропонованого доопрацювання

Достовірність отриманих результатів підтверджується проведеними раніше експериментальними дослідженнями з визначення коефіцієнту запасу опору втомі елементів конструкції дослідного зразку вагона-платформи моделі 13-7031 (завантажений двома контейнерами) та розрахунками на міцність. Розрахунок з визначення коефіцієнту запасу опору втомі елементів конструкції був проведений для дослідного зразку вагона-платформи моделі 13-7031,

виготовленого зі сталі марки 09Г2С класу міцності 295. Результати експериментальних та розрахункових значень приведені в таблиці 4.17.

Таблиця 4.17 – Коефіцієнти запасу опору втомі елементів конструкції вагона-платформи моделі 13-7031 (завантажений двома контейнерами)

Характеристики, що контролюються (елемент вагона, перетин, точка)	Значення показника (коефіцієнт запасу опору втомі, n) до удосконалення конструкції		Відхилення розрахункового значення від експериментального, %
	Експериментальне значення	Розрахункове значення	
1	2	3	4
Хребтова балка пер. 0-0 т. 1'	2,63	2,91	10,7
Хребтова балка пер. 0-0 т. 2'	2,34	2,09	10,5
Хребтова балка пер. I-I т. 2	1,10	1,19	8,3
Хребтова балка пер. I-I т. 3	1,05	1,12	6,65
Хребтова балка пер. V- V т. 8	1,58	1,44	9,1
Хребтова балка пер. VI –VI т. 9	1,73	1,64	5,1
Хребтова балка пер. VI –VI т. 10	1,73	1,85	7,2
Шворнева балка пер. 0I-0I т. 20	2,58	2,67	3,51
Шворнева балка пер. I-I т. 21	2,98	3,11	4,2
Шворнева балка пер. 0I-0I т. 22	3,59	3,29	8,3
Проміжна балка пер. I-I т. 12	3,45	3,34	3,3
Проміжна балка пер. 0I-0I т. 13	1,50	1,47	1,7
Проміжна балка пер. I-I т. 15	1,63	1,67	2,4
Балка бокова пер. 0-0 т. 23	1,44	1,58	9,71
Балка бокова пер. 0-0 т. 24	1,56	1,39	11
Балка бокова пер. 0-0 т. 25	1,43	1,57	10,1
Балка бокова пер. I'- I' т. 27	1,46	1,56	7,1
Балка бокова пер. I'- I' т. 29	1,88	1,83	2,71
Балка бокова пер. II-II т. 31	1,40	1,28	8,6
Балка бокова пер. II-II т. 32	1,46	1,39	4,6
Балка бокова пер. III'- III' т. 33'	2,23	2,09	6,4
Балка бокова пер. III'- III' т. 34'	1,73	1,84	6,6
Балка бокова пер. IV- IV т. 33	4,62	5,03	8,8
Балка бокова пер. IV- IV т. 34	3,58	3,68	2,7
Балка бокова пер. V- V т. 35	1,12	1,17	4,6
Балка бокова пер. V- V т. 36	1,11	1,05	5,1
Балка бокова пер. VI- VI т. 37	1,27	1,37	8,1
Балка бокова пер. VI- VI т. 38	1,08	1,18	9,2

Як видно з таблиці 4.17, максимальне відхилення розрахункових значень від експериментальних складає 11 %, що свідчить про достатню точність проведених розрахунків, адекватність розрахункової схеми для моделювання напружено-деформованого стану та математичної моделі.

Проведені розрахунки для схеми завантаження двома 40-футовими контейнерами вагона-платформи моделі 13-7031 зі сталі 10 ХСНД підвищеного класу міцності 390 та середньодобового пробігу, прийнятого для розрахунків у країнах СНД ($L_c = 480$ км/добу). Результати наведені у таблиці 4.18.

Таблиця 4.18 – Коефіцієнти запасу опору втомі елементів конструкції вагона-платформи моделі 13-7031 зі сталі 10 ХСНД (завантажений двома контейнерами)

Елемент	№ узла моделі	Результати розрахунку				
		$\sigma_{ст}$	$\sigma_{аэ}$	$(\bar{k}_\sigma)_k$	σ_{aN}	n
Хребтова балка пер. 0-0 т. 1'	6948	43,12	21,90	4,50	46,21	2,11
Хребтова балка пер. 0-0 т. 2'	43015	52,60	26,94	4,00	51,98	1,93
Хребтова балка пер. I-I т. 2	40158	40,20	22,22	4,50	46,21	2,08
Хребтова балка пер. I-I т. 3	39428	22,30	14,72	4,50	46,21	3,14
Хребтова балка пер. V- V т. 8	6274	11,50	11,33	3,00	69,31	6,12
Хребтова балка пер. VI-VI т. 9	48292	62,20	38,08	3,00	69,31	1,82
Хребтова балка пер. VI-VI т. 10	15179	67,60	38,29	3,00	69,31	1,81
Шворнева балка пер. 0I-0I т. 20	22937	54,12	22,99	4,50	46,21	2,01
Шворнева балка пер. I-I т. 21	56272	37,15	22,41	4,00	51,98	2,32
Шворнева балка пер. 0I-0I т. 22	56228	33,25	22,32	4,50	46,21	2,07
Проміжна балка пер. I-I т. 12	4395	9,40	7,10	4,00	51,98	7,32
Проміжна балка пер. 0I-0I т. 13	37609	10,60	7,78	4,00	51,98	6,68
Проміжна балка пер. I-I т. 15	72433	34,20	19,92	4,00	51,98	2,61
Балка бокова пер. 0-0 т. 23	23455	62,12	28,72	4,00	51,98	1,81
Балка бокова пер. 0-0 т. 24	504	49,90	26,39	4,00	51,98	1,97
Балка бокова пер. 0-0 т. 25	90821	44,50	24,84	4,50	46,21	1,86
Балка бокова пер. I'- I' т. 27	94116	48,90	24,58	4,50	46,21	1,88
Балка бокова пер. I'- I' т. 29	122580	46,11	25,53	4,50	46,21	1,81
Балка бокова пер. II-II т. 31	59382	34,15	20,07	4,00	51,98	2,59
Балка бокова пер. II-II т. 32	26006	35,50	20,47	4,00	51,98	2,54
Балка бокова пер. III'- III' т. 33'	66644	6,70	4,00	4,50	46,21	11,56
Балка бокова пер. III'- III' т. 34'	33092	6,50	3,64	4,50	46,21	12,71
Балка бокова пер. IV- IV т. 33	23918	3,20	2,28	4,50	46,21	20,31
Балка бокова пер. IV- IV т. 34	410	17,60	10,57	4,00	51,98	4,92
Балка бокова пер. V- V т. 35	66121	16,80	10,44	4,00	51,98	4,98
Балка бокова пер. V- V т. 36	32578	15,90	10,63	4,00	51,98	4,89
Балка бокова пер. VI- VI т. 37	60111	52,30	29,88	4,00	51,98	1,74
Балка бокова пер. VI- VI т. 38	26732	52,90	30,40	4,00	51,98	1,71

4.7 Розрахунок економічного ефекту від введення в експлуатацію удосконаленого довгобазного вагона - платформи

Кон'юнктура ринку вагонів для перевезення контейнерів, труб, лісоматеріалів та інших видів довгомірних вантажів представлена різноманітним безлічною моделей. Перераховані вище вантажі можливо перевозити як на звичайних платформах так і на універсальних довгобазних і секційних платформах, у напіввагонах і критих вагонах зі знімним дахом. Доцільність використання тієї чи іншої моделі вагона визначається економічною ефективністю перевезення певного виду вантажу [143, 144].

В Україні і країнах СНД для перевезення контейнерів, і інших довгомірних вантажів використовується спеціалізований рухомий склад:

- типові платформи для перевезення контейнерів;
- довгобазні довгобазні платформи для перевезення контейнерів;
- універсальні платформи для перевезення контейнерів, труб великого діаметра, лісоматеріалів;
- секційні платформи для перевезення контейнерів.

Аналіз потреб ринку показав, що більша частина контейнерних перевезень в Україні та СНД здійснюється типовими вагонами-платформами. Такі платформи дозволяють перевозити контейнери різних типорозмірів в різних поєднаннях. Однак, порівняльний аналіз економічної ефективності показав, що доцільно використовувати секційні платформи для перевезення 20-футових контейнерів, довгобазні платформи для перевезення 40-футових контейнерів.

Номенклатура вантажів, що перевозяться універсальними багатофункціональними довгобазними платформами з торцевими стінками і бічними стійками набагато різноманітніше. Крім контейнерів, такі вагони-платформи дозволяють перевозити довгомірні лісоматеріали, труби різного діаметру як з полімерним покриттям, так і без нього, пакетований та інший вантаж з максимальним використанням габариту і вантажопідйомності вагона.

Для визначення порівняльного економічного ефекту від введення в експлуатацію універсального довгобазного вагона-платформи визначаються витра-

ти за весь життєвий цикл при експлуатації типової і довгобазної платформ при перевезенні 40-футових контейнерів.

Показники порівняльної ефективності визначаються з точки зору компанії оператора залізничних вантажних перевезень – потенційного власника вагонів-платформ.

Критерієм зіставлення є мінімізація поточної вартості сукупних (інвестиційних і експлуатаційних) витрат на виконання однакових обсягів перевезень з використанням вагонів обох типів у однакових умовах на протязі життєвого циклу розглянутих вагонів.

Розглянемо отримання економічного ефекту від введення в експлуатацію платформи моделі 13-7031.

Передбачається освоєння обсягу перевезень $m = 1000000$ т в рік на відстань 500 км контейнерними відправленнями у 40-футових контейнерах, які також належать компанії-оператора перевезень – власнику вагонів. Вагони йдуть у завантаженому стані в прямому напрямку і не завантажені в зворотному напрямку.

При цьому, оскільки визначаються показники порівняльної ефективності, враховуються лише витрати, які відрізняються за варіантами освоєння однакового обсягу перевезень різними моделями вагонів.

Розглянуті вагони мають наступні основні техніко-економічні параметри (таблиця 4.19):

Таблиця 4.19 - Основні техніко-економічні параметри вагонів-платформ

Модель – 13-7031:	Модель – типова (13-4012-11, 13-4085 и т.д.)
вантажопідйомність – 63,5 т;	вантажопідйомність – 63 - 71 т;
маса тари – 29,5-30,5 т;	маса тари – 22 - 25 т;
довжина по осях зчеплення автозчепів – 25670 мм	довжина по осях зчеплення автозчепів 19670 мм
кількість осей – 4	кількість осей – 4
кількість 40-футових контейнерів, які можуть бути завантажені – 2.	кількість 40-футових контейнерів, які можуть бути завантажені – 1.

Передбачається використання стандартних 40-футових контейнерів з такими основними характеристиками:

- маса тари контейнера 3,8 т;
- маса бруто контейнера до 30,48 т.

Виходячи з вантажопідйомності вагонів, визначається максимальна вага бруто контейнерів, які можуть бути завантажені на одну платформу:

- для платформи моделі 13-7031 – 60, 96 т;
- для типової платформи – 30,48 т.

Вага перевезеного платформами вантажу P складе:

- платформою моделі 13-7031 $P_{13-7031} = 60, 96 - (2 \times 3,8) = 53,36$ т;
- типовою платформою $P_{тип} = 30,48 - 3,8 = 26,68$ т;

Середньодобова потреба у вагонах $U^{ср\ доб}$ розраховується за формулою:

$$U_{13-7031}^{ср\ доб} = \frac{m}{P_{13-7031} * 365} = \frac{10^6}{53,36 * 365} = 51,3 \text{ платформ моделі 13-7031};$$

$$U_{тип}^{ср\ доб} = \frac{10^6}{26,68 * 365} = 102,6 \text{ типових платформ.}$$

При середньому обігу вагонів 3,5 доби потреба вагонів складе відповідно:

- довгобазних платформ моделі 13-7031 – $51,3 \times 3,5 = 180$ шт;
- типових платформ – $102,6 \times 3,5 = 360$ шт.

Для перевезення вантажу потрібно на 180 типових платформ більше, ніж довгобазних.

За даними вагонобудівних заводів ВАТ «Азовмаш», ПАТ «Дніпровагон-маш», ПАТ «КВБЗ» середня ціна становить:

- довгобазного вагона-платформи - 925 тис. грн;
- типового вагона-платформи – 750 тис. грн.

За вказаними цінами визначаються інвестиції K компанії-оператора вантажних перевезень у формування парку вагонів за умови використання:

- довгобазного вагона-платформи $K_{13-7031} = 925 \times 180 = 166500$ тис. грн.;

- типовий платформи $K_{тип} = 750 \times 360 = 270000$ тис. грн.

Крім інвестиційних витрат присутні витрати на ремонти, оплати за перевезення вантажів і порожніх контейнерів

Витрати на вагони у часі розглянемо за допомогою дисконтування. Початок життєвого циклу вагонів є моментом приведення. Ставка дисконту R визначається методом підсумовування (кумулятивної побудови).

Складові ставки дисконту:

- безризикова ставка в розмірі 6,5 % (згідно наказу Фонду державного майна України від 04.06.2009 р. №844);

- премія за низьку ліквідність 3,25 % (виходячи з безризикової ставки і строку реалізації майна 6 місяців ($6,5 \times 6 / 12 = 3,25$));

- премія за галузевий ризик у розмірі 2,1 % (згідно наказу Фонду державного майна України від 04.06.2009 р. №844);

- премія за інші ризики в розмірі 4 % (середина інтервалу премій за ризик інвестування в рухомий склад залізничного транспорту).

Сумарна величина ставки дисконтування складе:

$$R = 6,5 + 3,25 + 2,1 + 4 = 15,85 \%$$

Поточна вартість витрат на ремонт одного вагона визначається за формулою:

$$C_t = \sum_{i=1}^n c_i \cdot (1 + R)^{-t}$$

де C_t – сумарна поточна вартість витрат на ремонти (деповських і капітальні) одного вагона, тис. грн;

c_i – вартість i -го ремонту, тис. грн;

n – кількість ремонтів протягом строку корисного використання вагона;

R – ставка дисконту (частка);

t – період часу від початку експлуатації до проведення i -го ремонту, років.

За даними Південної та Придніпровської залізниць вартість деповського та капітального ремонту чотиривісних вагонів-платформ становить 17,4 тис. грн і 52,2 тис. грн відповідно.

Графік ремонту чотиривісного вагона-платформи складений виходячи з норм пробігу для проведення деповського ремонту 210 тис. км після придбання і капітального ремонту, 160 тис. км після деповського ремонту (таблиця 4.20).

Для визначення періоду часу від початку експлуатації до проведення ремонту визначено середній річний пробіг вагонів з урахуванням перебування в ремонті і резерві:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot 365}{O_v \cdot 1,1} \cdot 10^{-3} = \frac{2 \cdot 500 \cdot 365}{3,5 \cdot 1,1} = 94,8 \text{ тис. км}$$

де L – плече обороту, км;

O_v – тривалість обороту вагона, діб;

1,1 – коефіцієнт, який враховує перебування вагонів у ремонті і резерві.

Період часу до проведення ремонту визначається діленням пробігу на середній річний пробіг.

Таблиця 4.20 - Поточна вартість ремонтів вагонів-платформ

Пробіг, тис. км	Тип ремонту	Период часу до ре- монту, (t)	Вартість ре- монту (с _i), тис. грн	Фактор поточної вартості (1+R) ^{-t}	Поточна вартість, тис. грн
210	ДР	2,22	17,4	0,72136	12,55
370	ДР	3,9	17,4	0,56339	9,803
530	ДР	5,59	17,4	0,43936	7,645
690	ДР	7,28	17,4	0,34264	5,962
850	ДР	8,97	17,4	0,26721	4,649
1010	ДР	10,65	17,4	0,20869	3,631
1170	ДР	12,34	17,4	0,16275	2,832
1330	ДР	14,03	17,4	0,12692	2,208
1490	ДР	15,72	17,4	0,09898	1,722
1650	КР	17,41	52,2	0,07719	4,029
1860	ДР	19,62	17,4	0,05576	0,97
2020	ДР	21,31	17,4	0,04349	0,757
2180	ДР	23	17,4	0,03391	0,59
2340	ДР	24,68	17,4	0,02649	0,461
2500	ДР	26,37	17,4	0,02066	0,359
2660	ДР	28,06	17,4	0,01611	0,28
2820	ДР	29,75	17,4	0,01256	0,219
2980	ДР	31,43	17,4	0,00981	0,171
Усього			348		58,84

Загальна поточна вартість ремонту 180 вагонів-платформ становить:

$$180 \cdot 58,84 = 10591,2 \text{ тис. грн.}$$

За один оборот вагона мінімальна кількість маневрових робіт по станціях відправлення і прибуття – 4. По станції відправлення - подача вагона під навантаження, після навантаження – маневрові роботи по формуванню складу з навантажених вагонів. Станції прибуття – подача навантаженого вагона під вивантаження, після розвантаження - маневрові роботи по формуванню складу з порожніх вагонів. Вартість маневрових робіт від 101 до 200 вагонів на відстань 1км становить 1403,3 грн. Вартість маневрових робіт по станціях відправлення та прибуття за 1 оборот вагонів складе: $4 \cdot 1403,3 = 5613,2$ грн.

За рік вартість маневрових робіт 180 вагонів по станціях відправлення та прибуття складе:

$$5613,2 \cdot 365 = 2048,38 \text{ тис. грн.}$$

Інвестиції та поточні витрати на придбання та обслуговування 380 типових платформ складуть:

$$2048,38 + 10591,2 + 270000 = 282639,58 \text{ тис. грн.}$$

$$282639,58 - 166500 = 116139,58 \text{ тис. грн.};$$

Економічний ефект від використання одного довгобазного вагона-платформи складе:

$$116139,58 \div 180 = 645,22 \text{ тис. грн за 1 рік експлуатації.}$$

Термін окупності інвестицій:

$$925 \div 645,22 = 1,43 \text{ роки.}$$

4.8 Висновки за розділом 4

1. Визначені вихідні данні для виконання оцінки міцності несучих елементів конструкції вагона-платформи.

2. Проведений вибір розрахункової схеми та прийняті необхідні для проведення розрахунків допущення.

3. Визначені згинальні моменти можливих схем завантаження контейнерами для кінцево-елементного аналізу.

4. Визначені зусилля, що діють на раму вагона. Проведений розрахунок та отримані результати напружено деформованого стану рами вагона для I і III режимів, режиму співудару і ремонтних режимів підйомки двома домкратами. Виконано аналіз результатів розрахунку.

5. Розрахункові та експериментальні напруження в елементах вагона-платформи для великотоннажних контейнерів моделі 13-7031 від експлуатаційних навантажень, прикладених згідно [95], не перевищують допустимих напружень. Збіжність результатів розрахунків і випробувань задовільна, що свідчить про правильність проведених розрахунків.

6. Втомна міцність рами забезпечена на термін служби 32 роки для схеми навантаження 4x20', 2x40' і двома штабелями труб. Схема завантаження трьома 20-футовими контейнерами, розміщеними в центрі, не забезпечує втомну міцність на термін служби 32 роки і повинна бути виключена.

7. Необхідно провести доопрацювання зон, в яких сталися руйнування при проведенні стендових випробувань та повторити випробування.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. За результатами аналізу конструкцій сучасних довгобазних вагонів-платформ визначені їх особливості і дана класифікація характерних конструктивних рішень.

2. Виконано аналіз умов експлуатації та характерних пошкоджень конструкцій сучасних довгобазних вагонів-платформ.

3. Виконаний огляд експериментальних досліджень в області вивчення міцносних якостей сучасного довгобазного вагона-платформи. Результати проведених досліджень дослідного зразка сучасного довгобазного вагона-платформи моделі 13-7031 показали, що у всіх досліджених зонах конструкції головні та еквівалентні напруження задовольняють вимогам, при цьому залишкові деформації відсутні. Коефіцієнт запасу опору втомі в досліджених зонах не задовольняє нормативним вимогам.

4. Проведені теоретичні дослідження динаміко-міцносних якостей сучасного довгобазного вагона-платформи.

5. Розроблено математичну модель просторових коливань, що передбачає розгляд коливань чотиривісного довгобазного вагона-платформи, які виникають внаслідок його руху по ізольованій нерівності колії.

6. Виконано опис розрахункової схеми та вперше розроблено математичну модель напружено-деформованого стану довгобазного вагона-платформи, що враховує знакозмінні навантаження, які виникають в конструкції при русі по нерівностях колії, дозволяє оцінити його міцнісні характеристики в динаміці та часі, враховувати вертикальні коливання рами.

7. Вирішена задача щодо визначення вихідних силових та конструктивних параметрів для проведення необхідних динаміко-міцнісних розрахунків. Проведений вибір розрахункових схем завантаження для кінцево-елементного аналізу та визначені згинальні моменти для можливих схем завантаження контейнерами.

8. Проведений порівняльний аналіз результатів теоретичних розрахунків та експериментальних даних, отриманих при проведенні попередніх експериментальних досліджень довгобазного вагона-платформи.

9. За результатами порівняльного аналізу виявлені небезпечні зони (зони руйнувань), де коефіцієнт запасу опору втомі не задовольняє нормативним вимогам ($[n] \leq 1,5$) та розглянуті варіанти удосконалення довгобазної платформи з метою підвищення міцності конструкції.

10. Проведені вдосконалення конструкції довгобазного вагона-платформи. Виконані розрахункові дослідження міцнісних якостей вдосконаленої конструкції довгобазного вагона-платформи. Аналіз отриманих результатів відповідає нормативним вимогам. Коефіцієнт запасу опору втомі в зонах руйнувань після доопрацювання та вдосконалення конструкції забезпечує термін служби довгобазного вагона-платформи протягом 32 років для схеми навантаження 4x20', 2x40' і двома штабелями труб.

11. Виконано техніко-економічне обґрунтування рішень щодо постановки на виробництво вдосконалених довгобазних платформ. Економічний ефект від використання одного довгобазного вагона-платформи завдяки скороченню витрат на утримання й обслуговування в експлуатації складе 645,22 тис. грн. на протязі 1 року експлуатації. Термін окупності капіталовкладень, необхідних для придбання 1 вагона становить 1,43 роки.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Донченко А.В., Холод Ю.О., Ільчишин В.В., Федосов-Ніконов Д.В. Дослідження динаміко-міцносних якостей вагона, обладнаного пружно-котковими ковзунами. – Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту, серія „Транспортні системи і технології”, вип.6, Київ 2004, стор. 29-35.
2. Ткачов В.І., Середа В.А., Федосов-Ніконов Д.В., Лашкевич І.М. Аналіз динамічних якостей універсального довгобазного вагона-платформи при різних схемах завантаження. – Збірник наукових праць державного економіко-технологічного університету транспорту, серія „Транспортні системи і технології”, випуск 15, Київ - ДЕТУТ - 2009, стор. 109-119.
3. Федосов - Ніконов Д.В. Выбор рациональных схем размещения груза для длиннобазных универсальных платформ. – Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту, випуск 129, м. Харків, с. 90-95.
4. Федосов-Ніконов Д.В., Кельріх М.Б. Дослідження на міцність конструкції довгобазної платформи. – Науковий журнал «Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля», №1-2016, с. 90-94.
5. Донченко А.В., Федосов-Ніконов Д.В. Методика розрахунково-експериментальних досліджень конструкції довгобазної платформи. – Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту, серія „Транспортні системи і технології”, випуск 28, Київ - ДЕТУТ - 2016, стор. 53-60.
6. Фомін О.В., Федосов-Ніконов Д.В. Дослідження конструкції довгобазного вагона-платформи на міцність. – Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій, серія „Транспортні системи і технології”, випуск 31, Київ - ДУІТ - 2017, стор. 140-147.
7. Фомін О.В., Іщенко В.М., Федосов-Ніконов Д.В. Довгобазні платформи. Проблеми міцності конструкції – Металлургическая и горнорудная промышленность. – Дніпро: МПА, 2018. – Вип. 2. – С. 84-90.

8. Фомин А.В., Федосов-Никонов Д.В. Научно-практическое исследование прочности рамы длиннобазной платформы – Научно-методический журнал «Вестник науки и образования», 2018. – 10 (46) С. 8-15.

9. Ishchenko V.M., Fedosov-Nikonov D.V. Long Wheelbase Flat Wagons: Structural Strength. – Metallurgical and Mining Industry «Machine building», 2017 – №8, p. 18-23.

10. Федосов-Никонов Д.В.. Исследование прочностных качеств длиннобазных платформ на знакопеременные нагрузки. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції „Проблеми і перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології”, ДЕТУТ, Київ, 24-25 березня 2011 р., стор. 143.

11. Федосов-Никонов Д.В. Длиннобазные платформы. Проблемы прочности и безопасности. Матеріали 71 Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта», ДИИТ, м. Дніпропетровськ, 14.04-15.04.2011 р., стор. 85.

12. Донченко А.В., Федосов-Никонов Д.В. Прочность конструкции универсальной длиннобазной платформы. Матеріали 72 Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта», ДИИТ, м. Дніпропетровськ, 19.04-20.04.2012 р., с. 75.

13. Федосов-Никонов Д.В. Анализ экспериментальных исследований прочности и надежности конструкции длиннобазной платформы. Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту», ДИИТ, м. Дніпропетровськ, 23.05-25.05.2012 р., с. 145.

14. Донченко А.В., Федосов-Никонов Д.В. Анализ результатов усталостных испытаний длиннобазных платформ. Матеріали 74 Международной научно-технической конференции кафедр академии, инженерно-технических работников железных дорог, предприятий и организаций Украины и других стран, 24.04-25.04.2012 р. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту, випуск 129, м. Харків, с. 214.

15. Донченко А.В., Федосов-Никонов Д.В. О прочности длиннобазных платформ. Материалы III международной партнерской конференции «Проблемы подвижного состава: пути решения через взаимодействие государственного и частного секторов» 21-25.05.2012, г. Ялта, с. 58.
16. Федосов-Никонов Д. В. О прочности конструкции длиннобазной платформы. Материалы XLIV науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Сучасні проблеми залізничного транспорту».– К.: ДЕ-ТУТ, 2014. – Ч. 1. – 244.- с. 84.
17. Донченко А.В., Федосов-Никонов Д.В. О прочности элементов конструкции длиннобазных платформ. Материалы 75 Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» 14.05. - 15.05.2015, ДИИТ, г. Днепропетровск, с. 157.
18. Федосов-Никонов Д.В., Кельріх М.Б. Розрахунково- експериментальний метод оцінювання міцності конструкції довгобазної платформи. Материалы міжнародної науково-практичної конференції «Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи.», м. Трускавець, СНУ ім. В. Даля, 2016, с.101.
19. Федосов – Никонов Д.В. Аналіз міцностних якостей конструкції довгобазної платформи. Материалы 76 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», 19.05.2016-20.05.2016, Дніпропетровськ, 2016, с.21-22.
20. Звіт про науково-дослідну роботу «Дослідження міцностних якостей конструкції вагона-платформи моделі 13-4147 (заключний)» від 20.02.2014 р., РК0114U001899, ОК0214U008026.
21. Звіт про науково-дослідну роботу «Дослідження міцнісних якостей, характеристик конструкції вагона-платформи моделі 13-4147 (заключний)» від 2011 р.,РК0112U000124, ОК U.
22. Донченко А.В., Федосов-Никонов Д.В., Орлов О.В., Соляник М.И., Долинский С.В. (ПАО «Днепрвагонмаш»). Экспериментальное исследование

конструкции длиннобазной платформы. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад», вип. 9, видавник ДП „УкрНДІВ”, м. Кременчук 2013, с. 71-73.

23. Контейнеры универсальные. Типы, основные параметры и размеры. ГОСТ 18477-79.

24. Акальев В.П. Перевозки грузов ускоренными контейнерными поездами. Бюллетень ОСЖД. 2000. - №3. - С 14-17.

25. Абгафоров В.А. Матюшин Л.Н Организация контейнерных перевозок. Железнодорожный транспорт/ М.: Трансжелдориздат, 2000, №5.

26. Шайтанова И.К. Выбор направлений модернизации универсальных вагонов-платформ. Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. ПГУПС СПб 2005, 24 с.

27. Бороненко Ю. П. Оценка пределов увеличения грузоподъемности вагонов и возможных путей их достижения / Тезисы доклада 12-й международной научно конференции «Проблемы механики железнодорожного транспорта» // – Днепропетровск: ДНУЖТ им. В. Лазаряна. – 2008. – С. 43.

28. Грузовые вагоны для скоростных перевозок (Германия) // Э-И ЦНИИТЭИ МПС: Ж.д. транспорт за рубежом Сер. II Подв. состав. -1993.-№6.-С. 20-26.

29. Цюренко В.Н. Типаж и технические требования к грузовым вагонам нового поколения. -М. Железнодорожный транспорт. — 2003. N 2.- с. 8-13.

30. Проблемы совершенствования вагонных конструкций и методов исследования.// Сб. науч. тр. ВНИИ вагоностроения/ Под ред. Л.Д. Кузьмича, М.: 1984. – вып. 53. С. 22-31.

31. Карпов Б.М. Некоторые вопросы методики выбора оптимальных параметров грузовых вагонов. -М.: Транспорт, 1972. -с 20-26.

32. ГОСТ 9238-83 Габариты приближения строений и подвижного состава железных дорог колеи 1520-1524 мм.

33. Лукин, В.В. Выбор рациональных параметров грузовых вагонов /учеб. пособие /В.В. Лукин. Омск: ОмИИТ, 1985. - 84 е., ил.

34. Матюшин, Л. Н. Совместная эксплуатация контейнеров в СНГ / Железнодорожный транспорт. М.: Трансжелдориздат, 1994 г. N 6
35. Некоторые вопросы перевозки контейнеров на специализированных платформах российских железных дорог колеи 1520 мм./ Л.Н. Матюшин, И.Л. Шарин, А.М. Савитская. Опасные грузы и контейнеры. 2004, №6, с. 28-33
36. Общие технические требования к грузовым вагонам нового поколения. М.:МПС РФ.-2001;
37. Грузовые вагоны железных дорог колес 1520 мм. Альбом справочник 002-97 ПКБ ЦВ МПС РФ. 1998. 283 с.
38. Железнодорожный транспорт: Энциклопедия / Гл. ред. Н.С. Конарев. -М.:БРЭ, 1994.-553 с.
39. Матюшин Л.Н. Контейнерные и контрейлерные перевозки грузов : справочник/ Л.Н. Матюшин; Трансконтейнер. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Сандика Плюс, 2005. -190 с.: ил., табл., прил.
40. Совершенствование грузовых вагонов на железных дорогах США. Железные дороги мира. 2001. - №1. - С. 15-16.
41. Специализированные грузовые вагоны // Железные дороги мира №2 февраль 2003.
42. Американская железнодорожная энциклопедия. Вагоны и вагонное хозяйство. М.: Трансжелдориздат, 1961. - 382 с.
43. Чиркин В.В. Методика оптимизации основных геометрических параметров грузовых вагонов. // Совершенствование параметров вагонного парка./ Сборник статей. М. 1973. С. 69-84.
44. Динамика и прочность перспективных вагонов// Сб. науч. тр. ВНИИЖТ/ Под ред. С.В. Вершинского, М.: Транспорт, 1976. – вып. 548. С. 110-129.
45. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. Москва, 2003г. Утверждены МПС России 27.05.2003 №ЦМ-943. - 408 с.
46. Вериги М.Ф. Динамика вагонов. - Издат. ВЗИИТ, 1971. – 176 с.

47. Вершинский С.В., Никольский Е.Н., Никольский Л.Н. и др. Расчет вагонов на прочность. Трансжелдориздат. 1960.
48. Вершинский С.В. и др. Расчет вагонов на прочность. Изд. 2-е. Под ред. Л.А. Шадура. М., «Машиностроение», 1971, - 432 с.
49. Вершинский С.В. Данилов В.Н., Хусидов В.Д. Динамика вагона: Учебник для вузов ж.-д. трансп./ С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, В. Д. Хусидов: под ред. С.В. Вершинского М.: Транспорт. – 1991. – 360 с.
50. Лазарян В. А. Динамика вагонов: Устойчивость движения и колебания. / В. А. Лазарян. – М.: Машиностроение. – 1964. – 256 с.
51. Лазарян В. А. К вопросу проектирования продольного профиля железных дорог / В. А. Лазарян, Е. П. Блохин. // Исследование колебаний подвижного состава. – Днепропетровск. – 1977. – С. 71-73.
52. Лазарян В.А. Исследование неустановившихся режимов движения поездов. -М.: Трансжелдориздат. 1949. - 135 с.
53. Лазарян В.А. Динамика вагонов. М.: Транспорт, 1964. -256 с.
54. Лазарян В.А. Динамика транспортных средств: Избранные труды. К.: Наукова думка, 1985. - 528 с.
55. Лазарян В.А. Продольные колебания нелинейных одномерных систем при возмущениях, распространяющихся вдоль их длины / В.А. Лазарян, Е.П. Блохин, Л.В. Белик // Прикладная механика. – 1973. – 9, № 6. – С. 89 – 94.
56. Лазарян В.А. Устойчивость движения рельсовых экипажей / В.А. Лазарян, Л.А. Длугач, М.Л. Коротенко. – Киев: Наук. думка, 1972. – 198 с.
57. Лазарян В.А. Обобщенные функции в задачах механики / В.А. Лазарян, С.И. Конащенко. – Киев: Наук. думка, 1974. – 191 с.
58. Лазарян В. А. О математическом моделировании движения поезда по переломам продольного профиля пути / В. А. Лазарян, Е. П. Блохин // Совершенствование норм проектирования. Труды Московского института инженеров железнодорожного транспорта – 1974. – Вып. 444. – С. 83-123.
59. Лазарян В.А. О математическом моделировании движения поезда по переломам продольного профиля пути / В.А. Лазарян, Е.П. Блохин // Со-

вершенствование норм проектирования. – М.: МИИТ, 1974. – Вып. 444. – С. 83-123.

60. Лукин В. В. Вагоны. Общий курс: Учебник для вузов ж.-д. трансп./ Лукин В. В., Анисимов П.С., Федосеев., под ред. В.В. Лукина. –М.: Маршрут. 2004. – 424 с.

61. Конструирование и расчет вагонов: Учебник для вузов ж.-д. трансп./ [В.В. Лукин, Л.А. Шадур, В.Н. Котуранов, А.А. Хохлов, П.С. Анисимов]; под ред. В.В. Лукина. – М.: УМК МПС России, 2000. – 731 с.

62. Бирюков Д.Б., Постоев В.С. Метод конечных элементов в напряжениях, СПб: АООТ «НПО ЦКТИ», 1999, 187 с.

63. Блохин Е.П. Динамика поезда. / Е.П. Блохин, Л.А. Манашкин; М.: Транспорт, 1982. 222 С.

64. Блохин, Е.П. Расчет грузовых вагонов на прочность при ударах / Е.П. Блохин, И.Г. Барбас, Л.А. Манашкин, О.М. Савчук; под ред. Е.П. Блохина М.:Транспорт, 1988. - 380 с., ил.

65. Блохин Е.П. О возможности понижении порядка системы дифференциальных уравнений движения поезда при возмущениях, распространяющихся вдоль его длины / Е.П. Бороненко, Л.Г. Маслеева // Межвуз сб. науч. тр. – Днепрпетровск: ДИИТ, 1978. – Вып. 199/25. С. 47 – 54.

66. Блохин Е.П. Математическое моделирование пространственных колебаний четырехосного экипажа / Е.П. Блохин, В.Д. Данович, Н.И. Морозов – Д.: ДИИТ, 1986. – 39 с. – Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 29.09.86, № 7252 ж.д.

67. Расчет грузовых вагонов на прочность при ударах/ Под ред. Е.П. Блохина.М.: Транспорт, 1989.223 с.

68. Демин Ю.В., Богомаз Г.И., НауменкоН.Е. Динамика машиностроительных и транспортных конструкций при нестационарных воздействиях. К.: Наукова думка, 1995. -188 с.

69. Бороненко Ю.П. Программирование нагруженности и прочности вагонов с гибкими конструктивными элементами изменяемой формы: автореф.

дис. на здобуття наук. ступеня д-ра тех. наук. / Ю.П. Бороненко – Ленинград, 1986. – 42 с.

70. Бороненко Ю.П. и др. Применение ЭЦВМ для решения задач по расчету вагонов на прочность. СПб.: ЛИИЖТ, 1979. - 43 с.

71. Данович В.Д. Пространственные колебания вагонов на инерционном пути: дис. доктора техн. наук / Данович В.Д. – Д., 1982. – 465 с.

72. Данович В.Д. Пространственные колебания грузового вагона при движении по пути с детерминированными и случайными неровностями / В.Д. Данович, Р.С. Липовский, Р.Б. Грановский // Механика и транспорта [ред. В.А. Лазаряна]. – К.: Наук. думка, 1977. – С. 37 – 41.

73. Данович В. Д. Пространственные колебания вагонов на инерционном пути: Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – М. – 1982. – 44 с.

74. Демин Ю.В., Длугач Л.А., М.Л. Коротенко, О.М. Макарова. Автоколебания и устойчивость рельсовых экипажей./ К.: Наукова думка, 1984.-160 с.

75. Демин Ю.В. Железнодорожная техника международных транспортных систем (грузовые перевозки). Киев.: «Юшкон-Прес», 2001. - 342 с.

76. Некоторые результаты испытаний грузовых вагонов в условиях эксплуатации / Ю.В. Демин, В.А. Калашник, М.Л. Коротенко и др. -Труды ДИИТ, 1981. Вып.220/28. - с 34-40.

77. Камаев В. А. Сравнение различных алгоритмов оптимизации параметров рессорного подвешивания железнодорожных экипажей // Вопросы транспортного машиностроения. Тула: Тул. политехи, ин-т, 1997.-С. 84-95.

78. Вагоны: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / [Л. А. Шадур, И.И. Челноков, Л. Н. Никольский, Е. Н. Никольский, В. Н. Котуранов, П.Г. Проскурнев, Г. А. Казанский, А. Л. Спиваковский, В. Ф. Девятков]; под ред. Л. А. Шадура - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1980. - 439 с.

79. Вагоны. Схемы оценки проектных решений/ А.П. Азовский, В.В. Кобищанов, В.Н. Котуранов, и др; Ред. В.Н. Котуранов,. М.: МИИТ, 1999.- 187 е.: ил., табл.

80. Котуранов В.Н. Строительная механика и надёжность вагонов: учеб. пособие / В.Н. Котуранов, А.И. Быков, О.К. Буренков. М.: МИИТ, 1988.-99 с.
81. Мямлин С.В. Программа моделирования пространственных колебаний подвижного состава / С.В. Мямлин // Залізничний транспорт України. – 2000. – № 3. – С. 52 – 54.
82. Мямлин С.В. Методика моделирования пространственных колебаний железнодорожного экипажа / С.В. Мямлин // Залізничний транспорт України. – 2001. – № 2. – С. 2 – 5.
83. Проблемы бесперегрузочных и комбинированных перевозок // Ю.В. Демин, Г.Н. Кирпа, А.Н. Пшинько, О.М. Савчук, В.В. Степанов. - Железнодорожный транспорт Украины. 1998. - №1 (4-5). - С. 37-42.
84. Соколов М.М. Динамическая нагруженность вагона / Соколов М.М., Хусидов В.Д., Минкин Ю.Г. М.: Транспорт, 1981. 206 с.
85. Соколов С.И. Исследование динамики и прочности вагонов. [С.И. Соколов, В.В. Новарро, Г.Ф. Левенсон и др.] – М.: Машиностроение, 1976. – 224 с.
86. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле / С. П. Тимошенко. – М.: Наука, 1959. – 436 с.
87. Битюцкий А.А., Третьяков А.В. Эффективный метод построения суперэлементных схем. СПб ЦНИИТЭИтяжелого машиностроения. -М.: ЦНИИТЭИ Ш, серия 5, вып.3, 1986, с. 4-6.
88. Математическое моделирование рельсовых транспортных средств / [В.Ф. Ушкалов, Л.М. Резников, В.С. Иккол, Е.Ю. Трубицкая и др.] – Киев: Наук. думка, 1989. – 240 с.
89. Математическое моделирование колебаний рельсовых транспортных средств / Под ред. В.Ф. Ушкалова. – К.: Наук. думка, 1989. – 240 с.
90. В.Ф. Ушкалов, Л.М. Резников, В.С. Иккол и др. Математическое моделирование колебаний транспортных средств/ Киев: Наук, думка, 1989.-240 с.
91. Котуранов В.Н. Нагруженность элементов конструкции вагонов: учебник для вузов / В.Н. Котуранов, В.Д. Хусидов и др. М.: Транспорт, 1991.

92. Хусидов В.Д. и др. Динамика вагонов. М.: Транспорт, 1991. 360 с.
93. Кочнов А.Д., Черкашин Ю.М. Методы расчета показателей надежности элементов конструкции вагона при постепенных отказах / Современные методы расчета вагонов на прочность, надежность и устойчивость. Сб. науч. тр. ВНИИЖТ/ Под ред. С.В. Вершинского, М.: Транспорт, 1986. – С. 87-98.
94. Расчет вагонов на прочность/ Под ред. Л.А. Шадура.М.: Машиностроение, 1978.-432 с.
95. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). ГосНИИВ-ВНИИЖТ. М., 1996.
96. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). ВНИИВ-ВНИИЖТ. М., 1983.
97. РД 24.050.37-95 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. -М.; 1995.
98. РД 24.050.37-90 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. -М.; 1990.
99. ДСТУ 7598:2014 Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). 2014.
100. QMS.ВЦ.І.7.02 Інструкція оцінювання невизначеності вимірювання деформацій при статичних випробуваннях. ДП «УкрНДІВ». 2013.
101. ДСТУ - Н РМГ 43:2006 Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределённости измерений» (РМГ 43:2001, IDT)
102. QMS.ВЦ.П.7.11 Процедура оцінювання невизначеності вимірювань
103. Вагоны-платформы увеличенной длины. Типовая методика испытаний на сопротивление усталости. ДП «УкрНДІВ».
104. QMS.ВЦ.І.7.43 Інструкція оцінювання невизначеності вимірювання маси вагона. ДП «УкрНДІВ». 2012
105. QMS.ВЦ.І.7.44 Інструкція визначення невизначеності вимірювання температури та вологості повітря. ДП «УкрНДІВ». 2012

106. QMSФ106.ВЦ.І.7.46 Інструкція оцінювання невизначеності вимірювання швидкості руху вагона. ДП «УкрНДІВ». 2012

107. QMS.ВЦ.І.7.47 Інструкція. Оцінювання невизначеності вимірювання коефіцієнта вертикальної динаміки при проведенні ходових динамічних випробувань вантажних та пасажирських вагонів. ДП «УкрНДІВ», 2012

108. QMS.ВЦ.І.7.59 Оцінювання невизначеності вимірювань при обробці результатів випробувань з визначення параметрів мікроклімату, вентиляції, термоавтоматики кліматичних установок, теплотехнічних параметрів, показників шуму й інфразвуку та параметрів компресорних агрегатів

109. QMS.ВЦ.І.7.63 Інструкція оцінювання невизначеності вимірювання рамних сил при проведенні ходових динамічних випробувань вантажних та пасажирських вагонів. ДП «УкрНДІВ». 2015

110. QMS.ВЦ.І.7.65 Інструкція оцінювання невизначеності вимірювання коефіцієнта запасу стійкості вагона від перекидання при проведенні ходових динамічних випробувань вантажних та пасажирських вагонів. ДП «УкрНДІВ». 2013

111. QMS.ВЦ.І.7.66 Інструкція оцінювання невизначеності вимірювання коефіцієнта вертикальної динаміки необресорених частин при проведенні ходових динамічних випробувань вантажних та пасажирських вагонів. ДП «УкрНДІВ». 2014

112. QMS.ВЦ.І.7.81 Інструкція оцінювання невизначеності вимірювання коефіцієнта запасу опору втомі при проведенні ходових міцносних випробувань вантажних та пасажирських вагонів. ДП «УкрНДІВ»

113. QMS.ВЦ.І.7.82 Інструкція оцінювання невизначеності вимірювання сумарних допустимих напружень від навантаження бруто і поздовжнього ударного навантаження при проведенні випробувань на міцність при співударі вантажних та пасажирських вагонів. ДП «УкрНДІВ»

114. QMS.ВЦ.І.7.83 Інструкція оцінювання невизначеності вимірювання коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейки при проведенні ходових

динамічних випробувань вантажних та пасажирських вагонів. ДП «УкрНДІВ». 2013.

115. Блохин Е.П. К вопросу о взаимодействии экипажей при соударениях / Е.П. Блохин, Г.И. Богомаз, Ю.Г. Черномашинцева // Межвуз сб. науч. тр. – Дне-пропетровск: ДИИТ, 1987. – Вып. 252/34. – С. 71 – 82.

116. Блохин Е.П. К вопросу о понижении порядка систем дифференциальных уравнений движения поезда при оценке статических характеристик сил, действующих на вагон в случаях движения через переломы продольного профиля пути / Е.П. Блохин, Л.А. Манашкин, Л.Г. Маслеева // Межвуз сб. науч. тр.– Днепропетровск: ДИИТ, 1977. – Вып. 195/24. – С. 48 – 54.

117. . Бороненко Ю.П. Исследование субгармонических колебаний жидкого груза в цистерне / Ю.П. Бороненко // Тр. ЛИИЖТ. – 1977. – Вып. 417. – С. 21 – 27.

118. Манашкин Л.А. Динамика вагонов, сцепов и поездов при продольных ударах: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук / Л.А. Манашкин. – Л., 1980. – 42 с.

119. Исследование с помощью ЦВМ нагрузок, действующих на вагоны и амортизированные грузы при соударениях сцепов и пуске в ход грузовых поездов / Л.А. Манашкин, Б.С. Ратнер, А. В. Юрченко [и др.] // Межвуз. сб. на-уч. тр. – Днепропетровск: ДИИТ, 1978. – Вып. 199/25. – С. 87 – 93.

120. Манашкин Л.А. Математическая модель поезда для исследования нагруженности вагона / Л.А. Манашкин, Н.И. Грановская // Межвуз. сб. науч. тр. – Днепропетровск: ДИИТ. 1984. – Вып. 232/31. – С. 24 – 28.

121. Манашкин Л.А. Математическая модель для исследования нагруженности пятникового узла грузового вагона при колебаниях в вертикально-продольной плоскости / Л.А. Манашкин, Н.И. Грановская, А.Д. Жаковский Е.А. Калениченко // Динамическая нагруженность железнодорожного подвижного состава. – Днепропетровск: ДИИТ, 1988. – С. 59 – 69.

122. Розин А.А. Метод конечных элементов. Д.: Энергия. - 1971. - 241 с.

123. Розин Л.А. Основы метода конечных элементов в теории упругости / Л.А. Розин – Л.: Уч. пособ., 1972. – 79 с.
124. Розин Л.А. Стержневые системы, как системы конечных элементов / Л.А. Розин // труды ЛГУ. - Л., 1976. - 232 с.
125. Розин Л.А. Метод конечных элементов и строительная механика / Л.А. Розин – Л., 1976. – 208 с.
126. Розин Л.А. Метод конечных элементов в применении к стержневым системам / Л.А. Розин. – М.: Стройиздат, 1977. – 127 с.
127. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике / О.К. Зенкевич - М.: Мир, 1975. - 541 с.
128. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в теории сооружений и механических сплошных сред / О.К. Зенкевич, И. Чанг. - М.: Недра, 1974. - 233 с.
129. Шапошников Н.Н., Тарабасов Н.Д. и др. Расчет машиностроительных конструкций на прочность и жесткость. М.: Машиностроение, 1981. -332 с.
130. Н.Быков В.П. Методическое обеспечение САПР в машиностроении. Д.: Машиностроение, 1989.-243 с.
131. Быков А.И. Применение метода конечных элементов к расчету кузовов вагонов. В сб.: Вопросы строительной мехвники кузовов вагонов. -Тула.: 1977, с 28-33.
132. Бате К., Вильсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов-М.: Стройиздат, 1982. -447 с.
133. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: Справочное пособие. М.: Машиностроение-1, 2004. - 512 е., ил.
134. Метод конечных элементов в механике твердых тел./ Под ред. А.С. Сахарова, И Алыпенбаха. Киев.: Высшая школа, 1982. -480 с.
135. Метод конечных элементов: Учебное пособие для вузов/ Под ред. П.М. Варвака. -Киев: Виша школа, 1981. -176 с.
136. Норри Д., Ж. де Фриз. Введение в метод конечных элементов. - М.:Издательство «Мир», 1981. 304 е., ил.

137. Буряка В.А. Инженерный анализ в Ansys Workbench: Учеб. пособ. / В.А. Буряка, В.Г. Фокин, Е.А. Солодусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.: ил.
138. Алямовский А.А. и др. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В., Харитонович А.И., Пономарев Н.Б. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 800 с.: ил.
139. Чернов А. Особенности создания сетки КЭ на платформе Workbench // Инженерно-технический журнал ANSYS Solutions. Русская редакция. — 2005. — № 1. — С. 26–29.
140. Конохов А. В. Основы анализа конструкций в ANSYS: Учебное пособие. — Казань: КГУ, 2001. — 102 с.
141. Мямлин С.В. Выбор конструктивной схемы и параметров тележки грузовых вагонов для перспективных условий эксплуатации: дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Мямлин Сергей Витальевич. – Днепропетровск, 1995. – 142 с.
142. ANSYS Theory Reference. Release 10.0, Canonsburg: ANSYS Inc.
143. Шапошников Н.Н. Расчет машиностроительных конструкций на прочность и жесткость / Н.Н. Шапошников, Н.Д. Тарабасов, В.В. Петров, В.И. Мяченков. – М.: Машиностроение, 1981. – 333 с.
144. Жовтобрюх Г.Д., Закс М.Н., Ирош Е.Т., Погребной А.П., Плоткин В.С. Исследование сопротивления усталости шкворневого узла универсальной платформы. Сборник трудов ВНИИвагоностроения. М. -1984.
145. Сенаторов С. А. К испытанию конструкций на резонансном вибростенде при асимметричном цикле / С. А. Сенаторов // Расчет на прочность подвижного состава и конструкции: сб. тр. – Свердловск: УЭМИИТ. – 1969. – Вып. 23. с. 3-7.
146. Баранов И.В. Натурные испытания на усталостную прочность крупных конструкций на резонансных вибрационных стендах. Труды МИИТ, вып. 214. – 1965.
147. Приходько А.П. Метод расчета параметров усталости деталей сложной формы. М.: Транспорт, 1986. - с. 113-121.

148. Когаев В.П. Расчет деталей машин на прочность при напряжениях, переменных во времени. М.: Машиностроение, 1977. 232 с.

149. Камаев О.Б., Приходько А.П., Двухглазов В.А. и др. Физическое моделирование усталостного разрушения деталей на образцах коробчатого сечения. Тр. ВНИИЖТ, 1976, вып 559, с. 93-97.

150. Андриашевич М.Н. Преобразование показателей сопротивления многоцикловой усталости металлов для прогнозирования предела выносливости / М.Н. Андриашевич, В.В. Андреев: сб. трудов международной научно-технической конф. «Актуальные проблемы надежности технологических, энергетических и транспортных машин». –М.: Машиностроение, Т.1, 2003. – 451 с.

151. Битюцкий А.А., Соколов А.А. Уточненное исследование напряженного состояния универсальной железнодорожной платформы с рамой из сварных двутавров// Вопросы совершенствования конструкции и ремонта вагонов: Сб. науч. тр. Хабаровск: ДВГАПС, 1993. - с. 22-30.

152. Машенко И.А., Резников Л.М. Исследование случайных вертикальных колебаний контейнерной платформы при различных параметрах рессорного подвешивания // Нагруженность, колебания и прочность сложных механических систем. Киев: Наукова думка, 1977. - с.23-28

153. Струвило А.Б., Погребной А.П. Расчетно-экспериментальная оценка усталостной прочности и долговечности рам универсальной 4-осной платформы. ВНИИВагоностроения. М. 1980 с. 8-21.

154. Вагон-платформа для перевозки крупнотоннажных контейнеров модели 13-1281. Расчет усталостной прочности по напряжениям, полученным в результате расчета. Инженерный центр ОВС. СПб. 2005. -46с.

155. Вагон-платформа для перевозки крупнотоннажных контейнеров модели 13-1281. Расчет усталостной прочности по напряжениям, полученным на ходовых испытаниях. Инженерный центр ОВС. СПб. 2005. -23с.

156. Методические рекомендации по определению экономической эффективности мероприятий научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1990. – 109 с.

157. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте. – Министерство путей сообщения Российской Федерации, 1998. – 123 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Результати експериментальних досліджень

Таблиця 2.3 - Сумарні напруження в елементах вагона-платформи моделі 13-7031 від дії вертикальних та поздовжніх навантажень по I режиму

Характеристика, що контролюється (параметр)			Одиниці величини	Нормативні документи, що встановлюють вимоги до контрольованої характеристики (параметра) ТЗЗТ (позначення, номер пункту)	Значення параметра			Висновок про відповідність (так/ні)
Елемент	Переріз	Точка			за нормативною документацією	фактичні максимальні сумарні напруження від поздовжніх та вертикальних сил		
			з урахуванням розтягування 2,0 МН	з урахуванням стискування 2,5 МН				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Хребтова балка	0-0	т.1'	МПа	Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) ДСТУ 7598:2014 Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)	265,0	-143,4	-192,4	так
Хребтова балка	0-0	т.2'	МПа		292,0	-131,2	-177,5	так
Хребтова балка	I-I	т.2	МПа		265,0	-79,2	-264,7	так
Хребтова балка	I-I	т.3	МПа		265,0	-49,9	-129,7	так
Хребтова балка	V-V	т.8	МПа		265,0	-96,0	-235,3	так
Хребтова балка	VI-VI	т.9	МПа		265,0	-63,8	-246,4	так
Хребтова балка	VI-VI	т.10	МПа		265,0	-79,4	-254,9	так
Шворнева балка	I-I	т.21	МПа		292,0	-3,1	147,9	так
Шворнева балка	0I-0I	т.22	МПа		292,0	-44,6	112,2	так
Шворнева балка	0I-0I	т.20	МПа		292,0	160,2	15,2	так
Проміжна балка №1	I-I	т.12	МПа		327,0	225,6	179,7	так
Проміжна балка №1	0I-0I	т.13	МПа		327,0	133,7	124,8	так
Проміжна балка №3	I-I	т.15	МПа		327,0	82,8	-41,0	так

Кінець таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Балка бокова	0-0	т.23	МПа	Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеей 1520 мм (несамоходных) ДСТУ 7598:2014 Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)	280,0	216,4	204,9	так
Балка бокова	0-0	т.24	МПа		280,0	-186,1	-216,1	так
Балка бокова	0-0	т.25	МПа		280,0	-127,5	-220,7	так
Балка бокова	I'-I'	т.27	МПа		280,0	-105,9	-137,6	так
Балка бокова	I'-I'	т.29	МПа		280,0	-92,0	-179,4	так
Балка бокова	II-II	т.31	МПа		280,0	-93,0	-164,6	так
Балка бокова	II-II	т.32	МПа		280,0	-92,3	-150,7	так
Балка бокова	III'-III'	т.33'	МПа		280,0	-70,7	-139,2	так
Балка бокова	III'-III'	т.34'	МПа		280,0	-44,1	-115,8	так
Балка бокова	IV-IV	т.33	МПа		280,0	-82,8	-144,9	так
Балка бокова	IV-IV	т.34	МПа		280,0	-33,7	-71,6	так
Балка бокова	V-V	т.35	МПа		280,0	-34,6	-105,1	так
Балка бокова	V-V	т.36	МПа		280,0	-151,7	-238,2	так
Балка бокова	VI-VI	т.37	МПа		280,0	-77,8	-230,8	так
Балка бокова	VI-VI	т.38	МПа	280,0	-68,6	-244,3	так	

Таблиця 2.4 - Сумарні напруження в елементах вагона-платформи моделі 13-7031 від дії вертикальних та поздовжніх навантажень по III режиму

Контрольована характеристика (параметр)			Одиниці величини	Нормативні документи, що встановлюють вимоги до контрольованої характеристики (параметра) ТЗЗТ (позначення, номер пункту)	Значення параметра			Висновок про відповідність (так/ні)
Елемент	Переріз	Точка			за нормативною до-кumentaцією	фактичні максимальні сумарні напруження від поздовжніх та вертикальних сил з урахуванням розтягування 1,0 МН	з урахуванням стискання 1,0 МН	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Хребтова балка	0-0	т.1'	МПа	Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) ДСТУ 7598:2014 Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)	190,0	-141,3	-154,7	так
Хребтова балка	0-0	т.2'	МПа		195,0	-130,2	-142,2	так
Хребтова балка	I-I	т.2	МПа		190,0	-113,5	-171,5	так
Хребтова балка	I-I	т.3	МПа		190,0	-60,4	-82,5	так
Хребтова балка	V-V	т.8	МПа		190,0	-119,8	-173,6	так
Хребтова балка	VI-VI	т.9	МПа		190,0	-109,2	-188,5	так
Хребтова балка	VI-VI	т.10	МПа		190,0	-119,0	-185,6	так
Шворнева балка	I-I	т.21	МПа		195,0	31,6	75,0	так
Шворнева балка	0I-0I	т.22	МПа		195,0	-6,7	38,7	так
Шворнева балка	0I-0I	т.20	МПа		195,0	115,8	71,4	так
Проміжна балка №1	I-I	т.12	МПа		220,0	197,9	184,1	так
Проміжна балка №1	0I-0I	т.13	МПа		220,0	121,1	116,4	так
Проміжна балка №3	I-I	т.15	МПа		220,0	49,9	13,6	так

Кінець таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Балка бокова	0-0	т.23		Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) ДСТУ 7598:2014 Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)	195,0	185,6	167,3	так
Балка бокова	0-0	т.24	МПа		195,0	-176,4	-183,7	так
Балка бокова	0-0	т.25	МПа		195,0	-139,1	-168,9	так
Балка бокова	I'-I'	т.27	МПа		195,0	-103,4	-112,4	так
Балка бокова	I'-I'	т.29	МПа		195,0	-105,0	-131,8	так
Балка бокова	II-II	т.31	МПа		195,0	-99,0	-119,0	так
Балка бокова	II-II	т.32	МПа		195,0	-95,7	-111,7	так
Балка бокова	III'-III'	т.33'	МПа		195,0	-77,1	-96,6	так
Балка бокова	III'-III'	т.34'	МПа		195,0	-52,6	-71,7	так
Балка бокова	IV-IV	т.33	МПа		195,0	-93,7	-112,8	так
Балка бокова	IV-IV	т.34	МПа		195,0	-36,9	-47,5	так
Балка бокова	V-V	т.35	МПа		195,0	-43,4	-64,5	так
Балка бокова	V-V	т.36	МПа		195,0	-151,1	-173,8	так
Балка бокова	VI-VI	т.37	МПа		195,0	-102,6	-148,9	так
Балка бокова	VI-VI	т.38	МПа	195,0	-97,9	-147,0	так	

Таблиця 2.5 - Максимальні напруження в елементах конструкції вагона-платформи моделі 13-7031 у режимі співудару (завантажений трубами)

Контрольована характеристика (параметр)			Одиниці величини	Нормативні документи, що встановлюють вимоги до контрольованої характеристики (параметра) ТЗЗТ (позначення, номер пункту)	Значення параметра		Висновок про відповідність (так/ні)
Елемент	Переріз	Точка			За нормативним документом	Фактичні максимальні сумарні напруження від поздовжніх (-3,5 МН) та вертикальних сил	
1	2	3	4	5	6	7	8
Балка бокова	V-V	т.36	МПа	Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) ДСТУ 7598:2014 Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)	295	-70,12	так
Балка бокова	V-V	т.35	МПа		295	-40,48	так
Балка бокова	VI-VI	т.38	МПа		295	-58,56	так
Балка бокова	VI-VI	т.37	МПа		295	-47,47	так
Балка хребтова	V-V	т.7	МПа		295	-97,16	так
Балка хребтова	V-V	т.8	МПа		295	-129,47	так

Таблиця 2.6 - Максимальні напруження в елементах конструкції вагона-платформи моделі 13-7031 у режимі співудару (завантажений 2-ма 40-футовими контейнерами)

Контрольована характеристика (параметр)			Одиниці величини	Нормативні документи, що встановлюють вимоги до контрольованої характеристики (параметра) ТЗЗТ (позначення, номер пункту)	Значення параметра		Висновок про відповідність (так/ні)
Елемент	Переріз	Точка			За нормативним документом	Фактичні максимальні сумарні напруження від поздовжніх (-3,5 МН) та вертикальних сил	
1	2	3	4	5	6	7	8
Балка хребтова	0-0	1'	МПа	Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) ДСТУ 7598:2014 Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)	295	-10	так
Балка хребтова	I-I	3	МПа		295	-189	так
Балка хребтова	V-V	8	МПа		295	-165	так
Балка хребтова	0-0	2'	МПа		295	-34	так
Балка хребтова	VI-VI	10	МПа		295	-200	так
Балка хребтова	VI-VI	9	МПа		295	-330	ні
Балка хребтова	I-I	2	МПа		295	-176	так
Балка хребтова	V-V	7	МПа		295	-185	так
Балка бокова	0-0	25	МПа		295	-205	так
Балка бокова	0-0	23	МПа		295	-203	так
Балка бокова	II-II	32	МПа		295	-116	так
Балка бокова	III-III'	33'	МПа		295	-109	так
Балка бокова	IV-IV	33	МПа		295	-104	так
Балка бокова	V-V	36	МПа		295	239	так
Балка бокова	VI-VI	38	МПа		295	-54	так
Балка бокова	VI-VI	37	МПа		295	-91	так
Балка шворнева	I-I	19	МПа		325	-184	так
Балка шворнева	0I-0I	20	МПа		325	-179	так
Балка проміжна 3	I-I	15	МПа	345	-91	так	

Таблиця 2.7 – Коефіцієнти запасу опору втомі в елементах конструкції вагона-платформи моделі 13-7031 (завантажений двома контейнерами)

Характеристики, що контролюються (елемент вагона, перетин, точка)	Нормативна документація, вимоги, що встановлюються до показника (позначення розділу, пункту документації)	Значення показника		Примітка
		фактичне (коефіцієнт запасу опору втомі, n)	За документацією, [n]	
1	2	3	4	5
Хребтова балка пер. 0-0 т. 1'	Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) ДСТУ 7598:2014 Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)	2,63	≥1,5	відповідає
Хребтова балка пер. 0-0 т. 2'		2,34		відповідає
Хребтова балка пер. I-I т. 2		1,10		не відповідає
Хребтова балка пер. I-I т. 3		1,05		не відповідає
Хребтова балка пер. V- V т. 8		1,58		відповідає
Хребтова балка пер. VI –VI т. 9		1,73		відповідає
Хребтова балка пер. VI –VI т. 10		1,73		відповідає
Шворнева балка пер. 0I-0I т. 20		2,58		відповідає
Шворнева балка пер. I-I т. 21		2,98		відповідає
Шворнева балка пер. 0I-0I т. 22		3,59		відповідає
Проміжна балка пер. I-I т. 12		3,45		відповідає
Проміжна балка пер. 0I-0I т. 13		1,50		відповідає
Проміжна балка пер. I-I т. 15		1,63		відповідає
Балка бокова пер. 0-0 т. 23		1,44		не відповідає
Балка бокова пер. 0-0 т. 24		1,56		відповідає
Балка бокова пер. 0-0 т. 25		1,43		не відповідає
Балка бокова пер. I'- I' т. 27		1,46		не відповідає
Балка бокова пер. I'- I' т. 29		1,88		відповідає
Балка бокова пер. II-II т. 31		1,40		не відповідає
Балка бокова пер. II-II т. 32		1,46		не відповідає
Балка бокова пер. III'- III' т. 33'		2,23		відповідає
Балка бокова пер. III'- III' т. 34'		1,73		відповідає
Балка бокова пер. IV- IV т. 33		4,62		відповідає
Балка бокова пер. IV- IV т. 34		3,58		відповідає
Балка бокова пер. V- V т. 35		1,12		не відповідає
Балка бокова пер. V- V т. 36		1,11		не відповідає
Балка бокова пер. VI- VI т. 37		1,27		не відповідає
Балка бокова пер. VI- VI т. 38		1,08		не відповідає

ДОДАТОК Б

Значення сил в ковзунах і п'ятниках рами довгобазного вагона-платформи
на прямолінійній ділянці колії

Таблиця 3.1 - Значення сил в ковзунах і п'ятниках рами довгобазного вагона-платформи на прямолінійній ділянці колії

Прямолінійна ділянка колії, $V=120$ км/год, $f_{кв}=200$ Гц								
X, м	Szxc1, Н	Szn1, Н	Szxc1, Н	Szxc2, Н	Szn2, Н	Szxc2, Н	t, с	T, с
192,3	0	358,3012	58,44773	61,66953	451,9918	7,303215	0,01924	0
192,9413	0	296,7406	73,63839	38,63191	444,3225	14,79653	0,01924	0,01924
193,5837	0	259,9279	106,0091	32,15574	411,5346	0	0,019269	0,03851
194,226	0	309,5221	98,56035	0	373,0493	15,97375	0,019269	0,057779
194,8692	0	299,0313	116,5311	0	331,7844	58,90808	0,019298	0,077077
195,5125	0	309,7659	134,2604	0	293,297	64,53615	0,019298	0,096375
196,1558	0	341,3984	124,361	0	257,999	66,68871	0,019298	0,115673
196,7981	0	388,6829	120,0518	0	293,7746	55,21795	0,019269	0,134942
197,4394	0	384,71	130,7807	0	296,8239	34,19948	0,01924	0,154183
198,0798	0	420,8136	130,6641	0	329,5731	9,138329	0,019212	0,173394
198,7202	0	418,1721	83,12021	0	367,5631	0	0,019212	0,192606
199,3596	0	402,9102	53,93682	31,6781	313,4582	0	0,019183	0,211788
199,999	2,082752	442,4949	34,57745	22,19142	348,4918	0	0,019183	0,230971
200,6375	0,993665	433,4976	17,83152	23,50582	369,9488	0	0,019154	0,250125
201,276	0	397,341	30,63501	30,33656	319,2203	0	0,019154	0,269279
201,9144	0	393,0819	0	0	347,4165	0	0,019154	0,288433
202,5529	41,86396	355,4827	0	30,50373	379,8063	0	0,019154	0,307587
203,1904	0	331,0475	0	58,29099	338,1934	0	0,019125	0,326712
203,8288	11,5399	300,2874	0	35,41767	392,7862	0	0,019154	0,345865
204,4673	40,8118	232,8576	0	37,1159	431,2464	0	0,019154	0,365019
205,1058	24,75079	229,455	0	67,1687	395,3434	0	0,019154	0,384173
205,7462	37,92606	207,1282	0	50,79393	442,3934	0	0,019212	0,403385
206,3875	48,97794	168,2517	0	68,74153	453,5018	3,287102	0,01924	0,422625
207,0298	42,98173	239,543	0	73,10947	406,83	0	0,019269	0,441894
207,6731	59,13814	258,3527	0	45,28023	414,7103	0	0,019298	0,461192
208,3173	105,5214	205,7439	0	89,63	379,2305	0	0,019327	0,480519
208,9625	94,23559	253,5149	0	72,20614	331,7175	0	0,019356	0,499875
209,6077	107,0568	295,6488	0	59,7752	346,8073	0	0,019356	0,519231
210,2519	118,084	289,9386	0	60,36838	325,8477	0	0,019327	0,538558
210,8971	86,78739	349,9897	0	90,08739	262,179	0	0,019356	0,557913
211,5413	88,0047	384,7153	0	62,60572	276,2071	0	0,019327	0,57724
212,1856	97,53622	380,0895	0	51,841	269,6727	0	0,019327	0,596567
212,8298	67,22138	436,7476	0	45,38401	218,9474	0	0,019327	0,615894
213,4721	65,28519	445,1989	0	13,61528	225,1108	0	0,019269	0,635163
214,1144	63,40952	350,8441	0	0	250,3172	0	0,019269	0,654433
214,7548	26,24115	393,1042	0	5,343789	233,6578	0	0,019212	0,673644
215,3952	4,40836	408,6671	0	0	268,4323	0	0,019212	0,692856
216,0346	28,24434	347,4012	0	0	301,3707	0	0,019183	0,712038
216,6731	0	365,4233	12,20835	4,609187	314,2137	0	0,019154	0,731192
217,3125	0	362,0557	0	0	325,204	0	0,019183	0,750375
217,9519	0	336,5203	0	0	405,6868	0	0,019183	0,769558
218,5923	0	290,882	17,14619	0	360,2084	26,13221	0,019212	0,788769
219,2317	0	309,6673	7,427081	0	348,5566	49,82086	0,019183	0,807952
219,8721	0	303,2586	9,186849	0	388,3962	72,05659	0,019212	0,827163
220,5135	0	251,5009	70,12247	0	393,4519	77,44295	0,01924	0,846404
221,1538	0	296,4979	77,75387	0	374,7192	99,15798	0,019212	0,865615
221,7952	0	278,8796	97,27683	0	390,5259	110,414	0,01924	0,884856

Кінець таблиці 3.1

Прямолінійна ділянка колії, $V=120$ км/год, $f_{кв}=200$ Гц								
$X, м$	$S_{zлс1}, H$	S_{zn1}, H	$S_{zлс1}, H$	$S_{zлс2}, H$	S_{zn2}, H	$S_{zлс2}, H$	t, c	T, c
222,4385	0	285,1877	120,0686	0	358,2918	77,17299	0,019298	0,904154
223,0808	0	318,6021	118,7435	0	318,981	86,05057	0,019269	0,923423
223,724	0	339,376	123,5294	0	349,7699	88,68518	0,019298	0,942721
224,3673	0	321,6761	162,4949	0	334,8995	69,96307	0,019298	0,962019
225,0096	0	335,3268	171,1784	0	305,14	83,29808	0,019269	0,981288
225,651	0	288,7164	173,6123	0	313,477	47,5844	0,01924	1,000529
226,2913	0	250,76	204,8004	0	297,1531	29,60739	0,019212	1,01974
226,9308	0	296,2149	184,5795	0	290,463	44,59678	0,019183	1,038923
227,5712	0	280,2396	135,5781	0	332,7834	0	0,019212	1,058135
228,2115	0	279,3863	106,4144	0	297,663	0	0,019212	1,077346
228,8519	0	367,6186	38,97737	16,4495	339,8863	0	0,019212	1,096558
229,4913	0	380,5813	7,206539	28,75473	359,9419	0	0,019183	1,11574
230,1317	0	373,4454	15,55271	44,76931	323,9396	0	0,019212	1,134952
230,7712	13,95999	384,1737	0	33,9023	361,5397	0	0,019183	1,154135
231,4096	24,30654	328,3562	0	49,79212	393,5658	0	0,019154	1,173288
232,0481	0	341,1822	0	65,27151	377,0161	0	0,019154	1,192442
232,6875	16,12981	341,1398	0	41,30629	429,2515	0	0,019183	1,211625
233,3279	12,05421	300,6213	0	29,68986	437,4077	9,70102	0,019212	1,230837
233,9692	0	328,6032	0	21,01471	382,9852	0	0,01924	1,250077
234,6115	51,71422	348,8672	0	0	392,432	10,46917	0,019269	1,269346
235,2538	83,27296	317,5283	0	6,462396	430,8222	19,58668	0,019269	1,288615
235,8962	69,59282	371,0254	0	36,88334	353,0679	0	0,019269	1,307885
236,5375	97,86874	394,125	0	53,15762	352,0939	0	0,01924	1,327125
237,1788	159,159	301,8477	0	89,87104	337,1766	0	0,01924	1,346365
237,8192	131,5746	328,6784	0	128,6448	285,3801	0	0,019212	1,365577
238,4596	127,1406	305,1687	0	118,2684	308,9543	0	0,019212	1,384788
239,1	123,1561	263,4164	0	135,2178	298,9003	0	0,019212	1,404
239,7404	81,23077	273,4344	0	104,8389	257,4692	0	0,019212	1,423212

ДОДАТОК В

Схеми розміщення вантажу та величини згинальних моментів

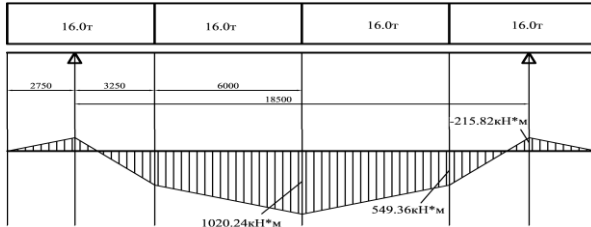


Рисунок 4.2 – чотири 20 футових контейнера

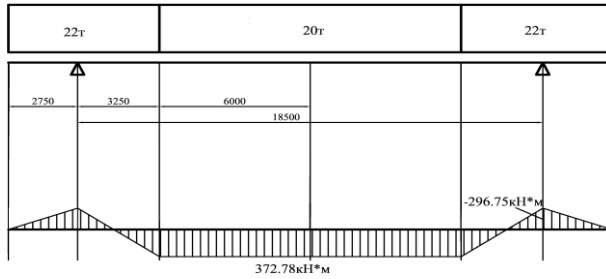


Рисунок 4.3 – 40 футовий та два 20 футових контейнера

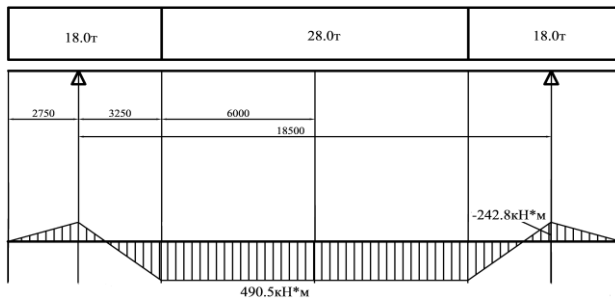


Рисунок 4.4 – 40 футовий и два 20 футових контейнера

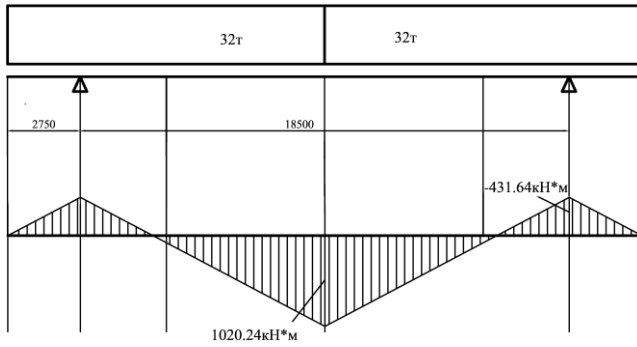


Рисунок 4.5 – два 40 футовых контейнера

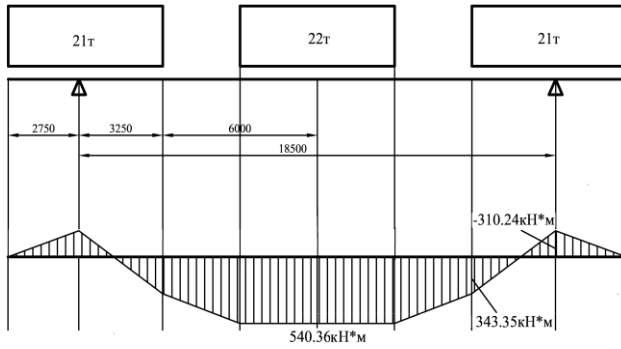


Рисунок 4.6 – три 20 футовых контейнера

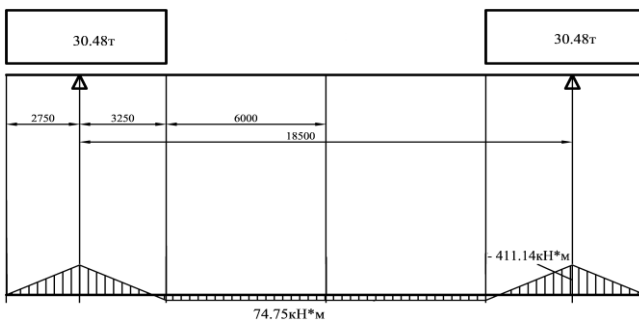


Рисунок 4.7 – два 20 футовых контейнера

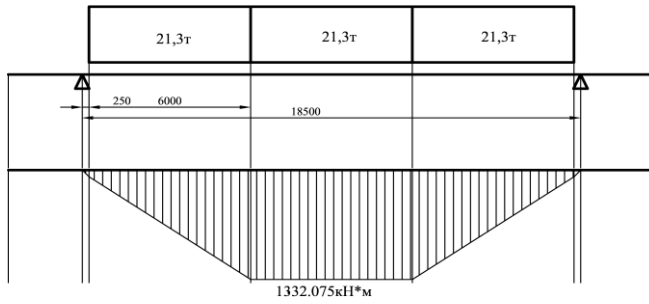


Рисунок 4.8 – три 20 футових контейнера

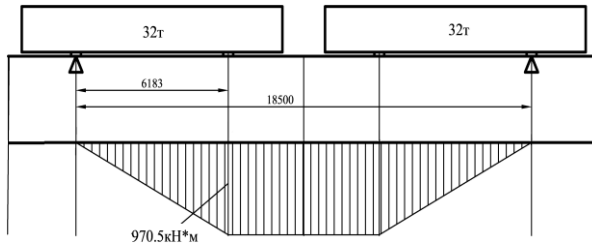


Рисунок 4.9 – два штабелі труб

ДОДАТОК Г

Таблиці комбінацій режимів навантаження

Таблиця 4.2 Комбінації навантажень для різних режимів навантаження

Роз- раху- нок	Посадання навантажень		Значення
	1	2	
I	1.1 Поздовжнє навантаження:	- розтягуюче квазістатичне навантаження (п.2.4.1 [95])	+2,0 МН
	1.2 Вертикальне навантаження	- власна вага рами і сила тяжіння 4-х контейнерів (п.2.2.3 [95])	4x0,157 МН
		- вертикальне зусилля від відцентрової взаємодії автозчепів (додаток 1 [95])	0,11МН
1.3 Бокові навантаження	- поперечна складова поздовжньої квазістатичної сили (п.2.3.4 [95])	0,103 МН	
I	2.1 поздовжнє навантаження:	- стискаюче квазістатичне навантаження (п.2.4.1 [95])	-2,5 МН
	2.2 Вертикальні навантаження	- власна вага вагона і сила тяжіння 4-х контейнерів (п.2.2.3 [95])	4x0,157 МН
		- вертикальне зусилля від відцентрової взаємодії автозчепів (додаток 1 [95])	0,125МН
2.3 Бокові навантаження	- поперечна складова поздовжньої квазістатичної сили (п.2.3.4 [95])	0,239МН	
I Удар	3.1 Поздовжнє навантаження:	- сила інерції вантажу і рами вагона (п. 2.4.1 «Норм ...»), врівноважена реакцією на задньому упорі	п. 2.5
	3.2 Вертикальні навантаження:	- власна вага рами і сила тяжіння 4-х контейнерів (п.2.2.3 [95])	4x0,157 МН
		- 50% вертикальної добавки від поздовжньої сили інерції (п.2.4.3 [95])	п. 2.5
		- вертикальне зусилля від відцентрової взаємодії автозчепів (додаток 1 [95])	0,175 МН

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4
III	4.1 Поздовжнє навантаження:	- розтягуюче квазістатичне навантаження (п.2.4.1 [95])	+1,0 МН
	4.2 Вертикальні навантаження:	- власна вага рами і сила тяжіння 4-х контейнерів (п.2.2.3 [95])	4x0,157 МН
		- вертикальна динамічна добавка (п.2.2.3 [95])	Кд=0,4
		- вертикальна добавка від центробіжної сили (п.2.2.3 [95])	п. 4.6
		- вертикальне зусилля від відцентрової взаємодії автозчепів (додаток 1 [95])	0,0276 МН
	4.3 Бокові навантаження:	- центробіжна сила (п.2.2.3 [95])	п. 4.6
III	5.1 Поздовжнє навантаження:	- стискаюче квазістатичне навантаження (п.2.4.1 [95])	-1,0 МН
	5.2 Вертикальні навантаження:	- власна вага вагона і сила тяжіння 4-х контейнерів (п.2.2.3 [95])	4x0,157 МН
		- вертикальна динамічна добавка (п.2.2.3 [95])	Кд=0,4
		- вертикальна добавка від центробіжної сили (п.2.2.3 [95])	п. 4.6
		- вертикальне зусилля від відцентрової взаємодії автозчепів (додаток 1 [95])	0,025 МН
	5.3 Бокові навантаження:	- центробіжна сила (п.2.2.3 [95])	п. 4.6
I	6.1 Поздовжнє навантаження:	- розтягуюче квазістатичне навантаження (п.2.4.1 [95])	+2,0 МН
	6.2 Вертикальні навантаження	- власна вага рами і сила тяжіння 3-х контейнерів (п.2.2.3 [95])	3x0,209 МН
		- вертикальне зусилля від відцентрової взаємодії автозчепів (додаток 1 [95])	0,11 МН
	6.3 Бокові навантаження	- поперечна складова поздовжньої квазістатичної сили (п.2.3.4 [95])	0,103 МН

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4
I	7.1 Поздовжнє навантаження:	- стискаюче квазістатичне навантаження (п.2.4.1 [95])	-2,5 МН
	7.2 Вертикальні навантаження	- власна вага вагона и сила тяжіння 3-х контейнерів (п.2.2.3 [95])	3x0,209 МН
		- вертикальне зусилля від відцентрової взаємодії автотцепів (додаток 1 [95])	0,125МН
7.3 Бокові навантаження	- поперечна складова поздовжньої квазістатичної сили (п.2.3.4 [95])	0,239МН	
I Удар	8.1 Поздовжнє навантаження:	- сила інерції вантажу і рами вагона (п.2.4.1 [95]), врівноважена реакцією на задньому упорі	п. 2.5
	8.2 Вертикальні навантаження:	- власна вага рами і сила тяжіння 3-х контейнерів (п.2.2.3 [95])	3x0,209 МН
		- 50% вертикальної добавки від поздовжньої сили інерції (п.2.4.3 [95])	п. 2.5
		- вертикальне зусилля від відцентрової взаємодії автотцепів (додаток 1 [95])	0,175 МН
III	9.1 Поздовжнє навантаження:	- розтягує к квазістатичне навантаження (п.2.4.1 [95])	+1,0 МН
	9.2 Вертикальні навантаження:	- власна вага рами і сила тяжіння 4-х контейнерів (п.2.2.3 [95])	3x0,209 МН
		- вертикальна динамічна добавка (п.2.2.3 [95])	Кд=0,4
		- вертикальна добавка від відцентрової сили (п.2.2.3 [95])	п. 4.6
		- вертикальне зусилля від відцентрової взаємодії автотцепів (додаток 1 [95])	0,0276 МН
	9.3 Бокові навантаження:	- центробіжна сила (п.2.2.3 [95])	п. 4.6

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4
III	10.1 Поздовжнє навантаження:	- стискаюче квазістатичне навантаження (п.2.4.1 [95])	-1,0 МН
	10.2 Вертикальні навантаження:	- власна вага вагона і сила тяжіння 4-х контейнерів (п.2.2.3 [95])	3x0,209 МН
		- вертикальна динамічна добавка (п.2.2.3 [95])	К _д =0,4
		- вертикальна добавка від відцентрової сили (п.2.2.3 [95])	п. 4.6
	- вертикальне зусилля від відцентрової взаємодії автозчепів (додаток 1 [95])	0,025 МН	
	10.3 Бокові навантаження:	- центробіжна сила (п.2.2.3 [95])	п. 4.6
I	11.1 Поздовжнє навантаження:	- розтягуюче квазістатичне навантаження (п.2.4.1 [95])	+2,0 МН
	11.2 Вертикальні навантаження	- власна вага рами і сила тяжіння 2-х контейнерів 1AAA (п.2.2.3 [95])	2x0,314 МН
		- вертикальне зусилля від відцентрової взаємодії автозчепів (додаток 1 [95])	0,11МН
	11.3 Бокові навантаження	- поперечна складова поздовжньої квазістатичної сили (п.2.3.4 [95])	0,103 МН
I	12.1 Поздовжнє навантаження:	- стискаюче квазістатичне навантаження (п.2.4.1 [95])	-2,5 МН
	12.2 Вертикальні навантаження	- власна вага рами і сила тяжіння 2-х контейнерів 1AAA (п.2.2.3 [95])	2x0,314 МН
		- вертикальне зусилля від відцентрової взаємодії автозчепів (додаток 1 [95])	0,125МН
	12.3 Бокові навантаження	- поперечна складова поздовжньої квазістатичної сили(п.2.3.4 [95])	0,239МН
I Удар	13.1 Поздовжнє навантаження:	- сила інерції вантажу і рами вагона (п.2.4.1 [95]), врівноважена реакцією на задньому упорі	п. 2.5
	13.2 Вертикальні навантаження:	- власна вага рами і сила тяжіння 2-х контейнерів 1AAA (п.2.2.3 [95])	2x0,314 МН
		- 50% вертикальної добавки від поздовжньої сили інерції (п.2.4.3 [95])	п. 2.5
		- вертикальне зусилля від відцентрової взаємодії автозчепів (додаток 1 [95])	0,175 МН

Продовження таблиці 4.2

III	14.1 Поздовжнє навантаження:	- розтягує квалістатичне навантаження (п.2.4.1 [95])	+1,0 МН
	14.2 Вертикальні навантаження:	- власна вага рами і сила тяжіння 2-х контейнерів 1AAA (п.2.2.3 [95])	2x0,314 МН
		- вертикальна динамічна добавка (п.2.2.3 [95])	Кд=0,4
		- вертикальна добавка від центробіжної сили (п.2.2.3 [95])	п. 4.6
		- вертикальне зусилля від відцентрової взаємодії автозчепів (додаток 1 [95])	0,0276 МН
14.3 Бокові навантаження:	- центробіжна сила (п.2.2.3 [95])	п. 4.6	
III	15.1 Поздовжнє навантаження:	- стискає квалістатичне навантаження (п.2.4.1 [95])	-1,0 МН
	15.2 Вертикальні навантаження:	- власна вага рами і сила тяжіння 2-х контейнерів 1AAA (п.2.2.3 [95])	2x0,314 МН
		- вертикальна динамічна добавка (п.2.2.3 [95])	Кд=0,4
		- вертикальна добавка від відцентрової сили (п.2.2.3 [95])	п. 4.6
		- вертикальне зусилля від відцентрової взаємодії автозчепів (додаток 1 [95])	0,025 МН
15.3 Бокові навантаження:	- центробіжна сила (п.2.2.3 [95])	п. 4.6	
I	16.1 Поздовжнє навантаження:	- розтягує квалістатичне навантаження (п.2.4.1 [95])	+2,0 МН
	16.2 Вертикальні навантаження	- власна вага рами і сила тяжіння 2-х штабелів труб (п.2.2.3 [95])	2x0,314 МН
		- вертикальне зусилля від відцентрової взаємодії автозчепів (додаток 1 [95])	0,11 МН
16.3 Бокові навантаження	- поперечна складова поздовжньої квалістатичної сили (п.2.3.4 [95])	0,103 МН	

Кінець таблиці 4.2

I	17.1 Поздовжнє навантаження:	- стискаюче квазістатичне навантаження (п.2.4.1 [95])	-2,5 МН
	17.2 Вертикальні навантаження	- власна вага рами і сила тяжіння 2-х штабелів труб (п.2.2.3 [95])	2x0,314 МН
		- вертикальне зусилля від відцентрової взаємодії автотзчепів (додаток 1 [95])	0,125МН
17.3 Бокові навантаження	- поперечна складова поздовжньої квазістатичної сили (п.2.3.4 [95])	0,239МН	
I Удар	18.1 Поздовжнє навантаження:	- сила інерції вантажу і рами вагона (п.2.4.1 [95]), врівноважена реакцією на задньому упорі	п. 2.5
	18.2 Вертикальні навантаження:	- власна вага рами і сила тяжіння 2-х штабелів труб (п.2.2.3 [95])	2x0,314 МН
		- 50% вертикальної добавки від поздовжньої сили інерції (п.2.4.3 [95])	п. 2.5
		- вертикальне зусилля від відцентрової взаємодії автотзчепів (додаток 1 [95])	0,175 МН
III	19.1 Поздовжнє навантаження:	- розтягуюче квазістатичне навантаження (п.2.4.1 [95])	+1,0 МН
	19.2 Вертикальні навантаження:	- власна вага рами і сила тяжіння 2-х штабелів труб (п.2.2.3 [95])	2x0,314 МН
		- вертикальна динамічна добавка (п.2.2.3 [95])	Кд=0,4
		- вертикальна добавка від відцентрової сили (п.2.2.3 [95])	п. 4.6
		- вертикальне зусилля від відцентрової взаємодії автотзчепів (додаток 1 [95])	0,0276 МН
19.3 Бокові навантаження:	- центробіжна сила (п.2.2.3 [95])	п. 4.6	
III	20.1 Поздовжнє навантаження:	- стискаюче квазістатичне навантаження (п.2.4.1 [95])	-1,0 МН
	20.2 Вертикальні навантаження:	- власна вага рами і сила тяжіння 2-х штабелів труб (п.2.2.3 [95])	2x0,314 МН
		- вертикальна динамічна добавка (п.2.2.3 [95])	Кд=0,4
		- вертикальна добавка від центробіжної сили (п.2.2.3 [95])	п. 4.6
		- вертикальне зусилля від відцентрової взаємодії автотзчепів (додаток 1 [95])	0,025 МН
20.3 Бокові навантаження:	- центробіжна сила (п.2.2.3 [95])	п. 4.6	

ДОДАТОК Д

Напружено деформований стан рами довггобазного вагона-платформи.

Значення еквівалентних напружень.

Визначення коефіцієнта вертикальної динаміки.

Розрахункові значення коефіцієнтів запасу опору втомі

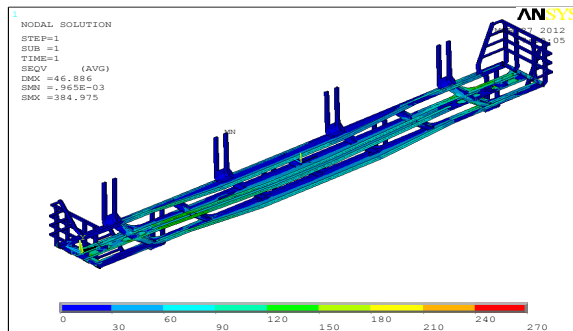
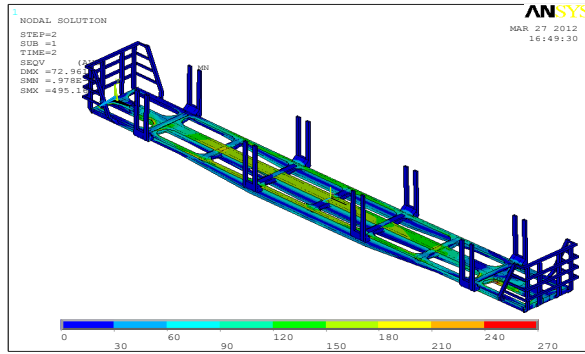
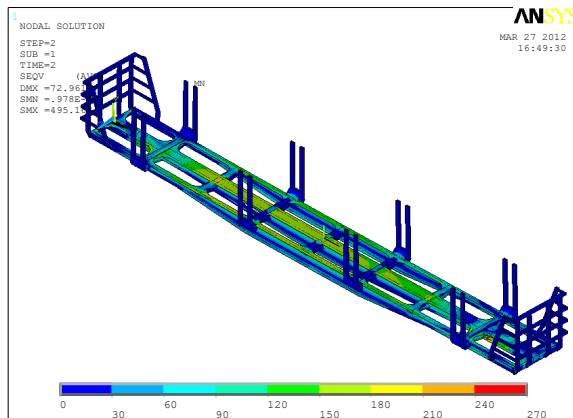


Рисунок 4.16 – I режим розтягування, 4x20'.



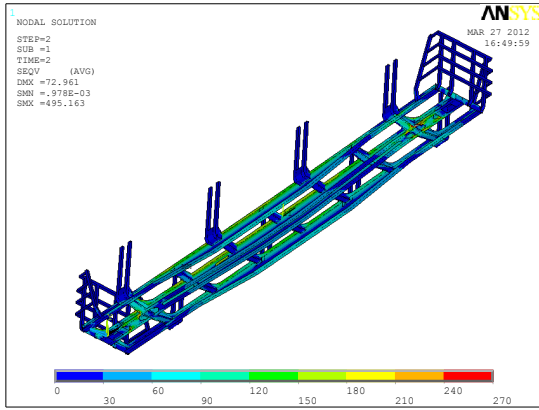


Рисунок 4.17 – I режим стискання, 4x20'.

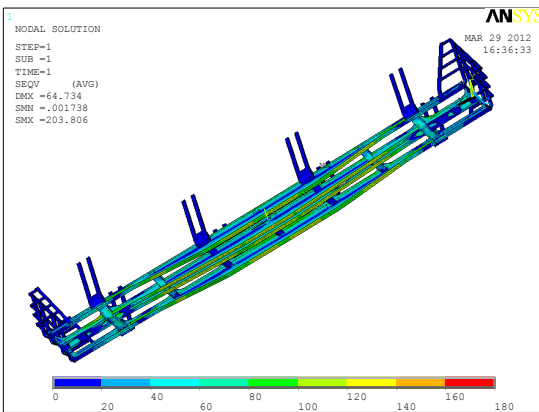
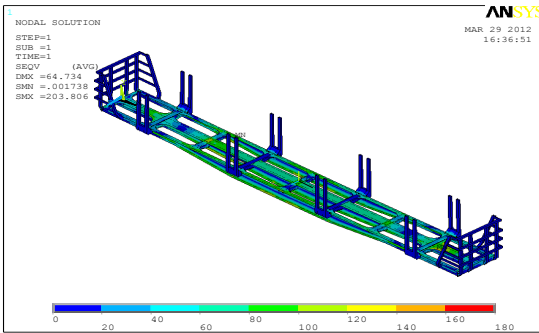


Рисунок 4.18 – III режим розтягування, 4x20'.

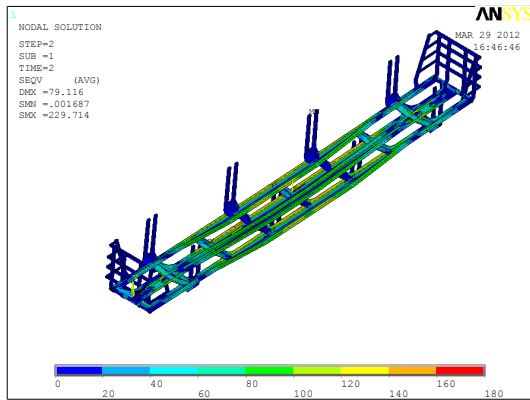
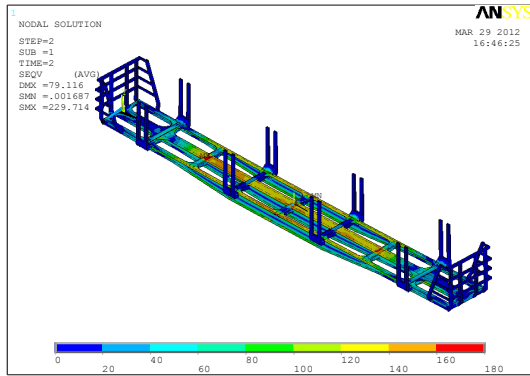
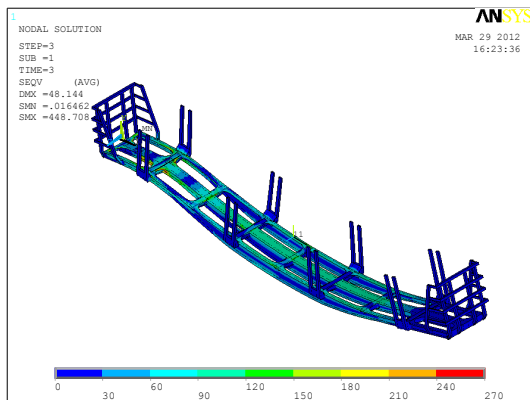


Рисунок 4.19 – III режим стискання, 4x20'.



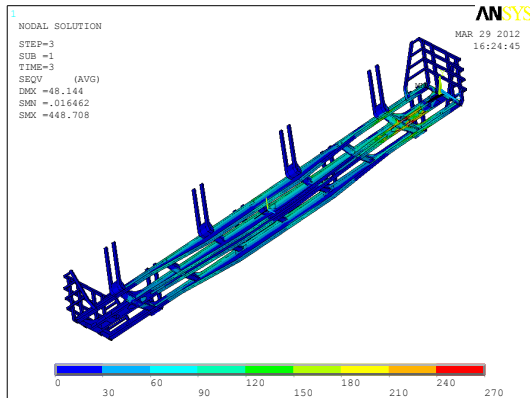


Рисунок 4.20 – співудар 3,5МН, 4х20'.

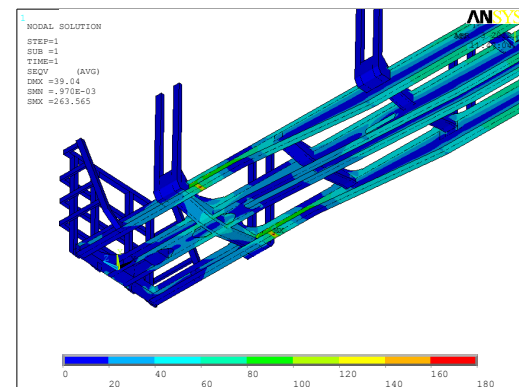
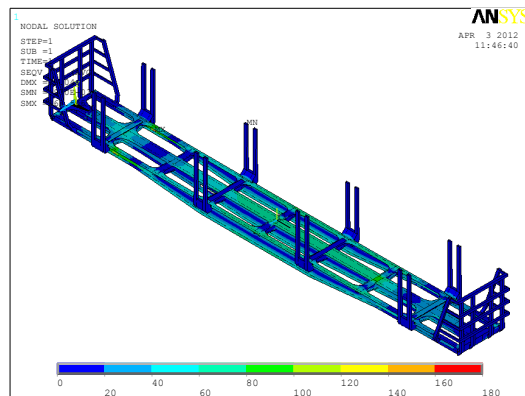


Рисунок 4.21 – підйом двома домкратами, 4х20'.

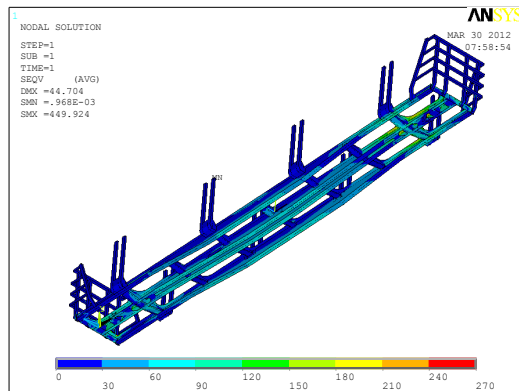
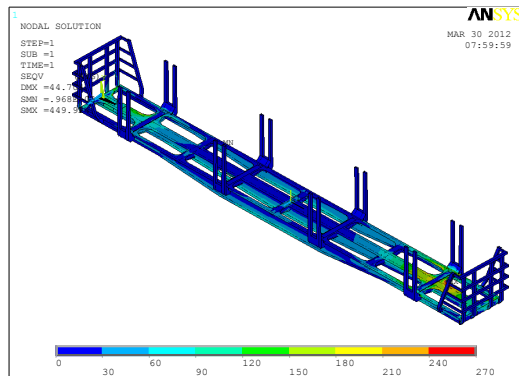
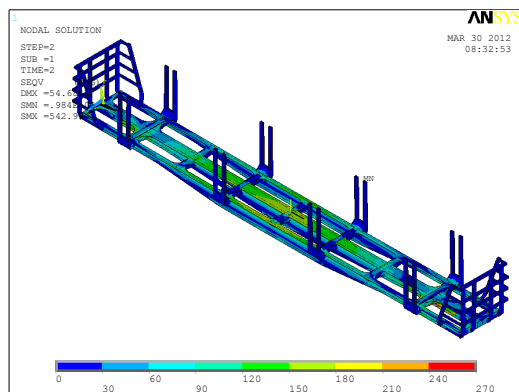


Рисунок 4.22 – I режим розтягування, 2x40'.



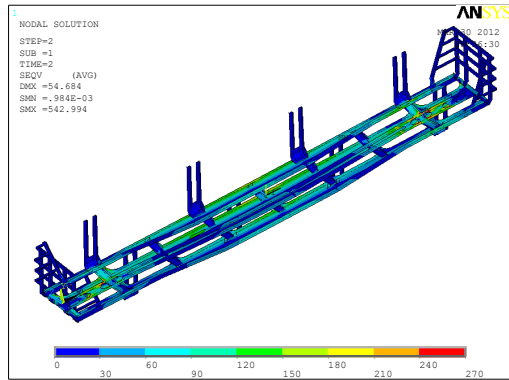


Рисунок 4.23 – I режим стискання, 2x40'.

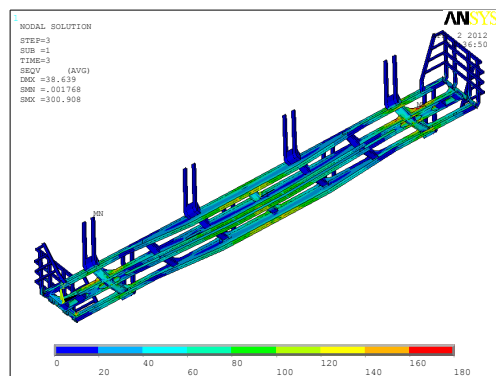
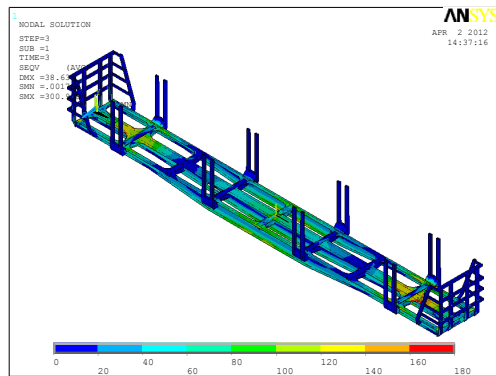


Рисунок 4.24 – III режим розтягування, 2x40'.

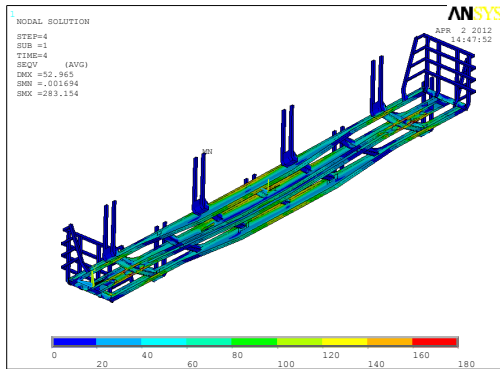
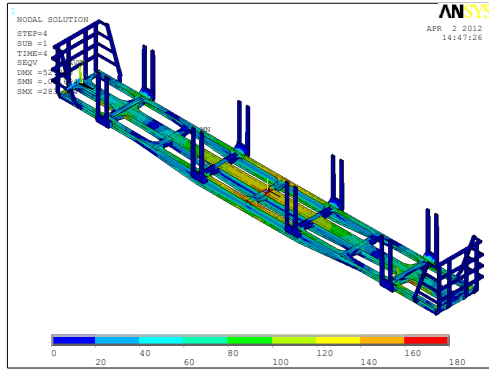
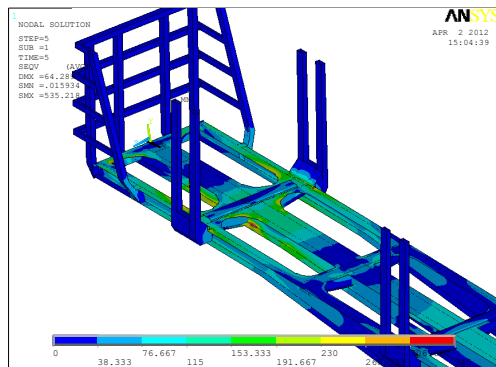


Рисунок 4.25 – III режим стискання, 2x40'.



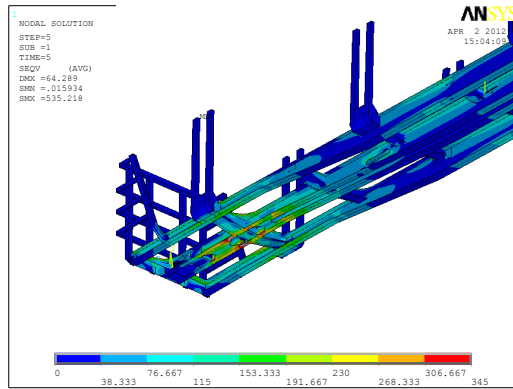


Рисунок 4.26 – співудар 3,5МН, 2х40'.

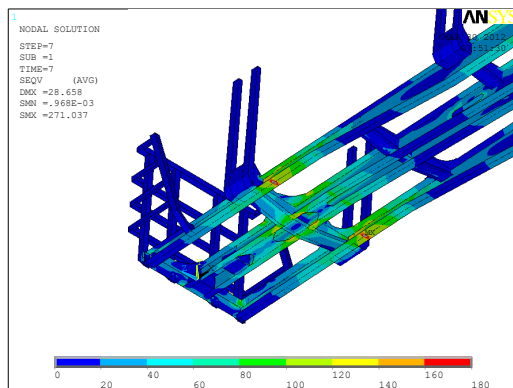
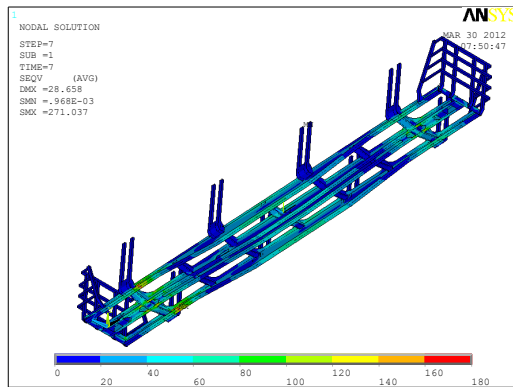


Рисунок 4.27 – підйом двома домкратами, 2х40'.

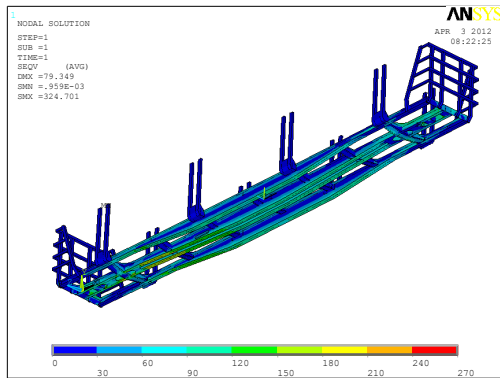
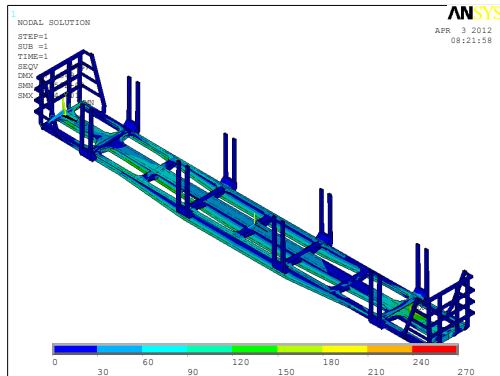
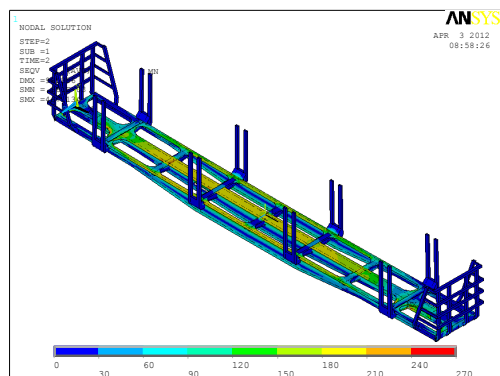


Рисунок 4.28 – I режим розтягування, 3x20'.



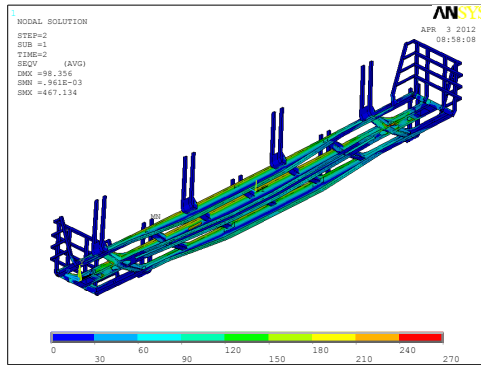


Рисунок 4.29 – I режим стискання, 3x20'.

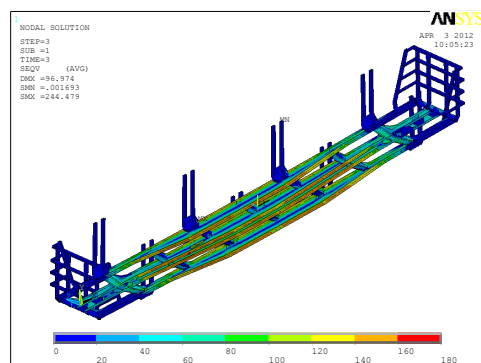
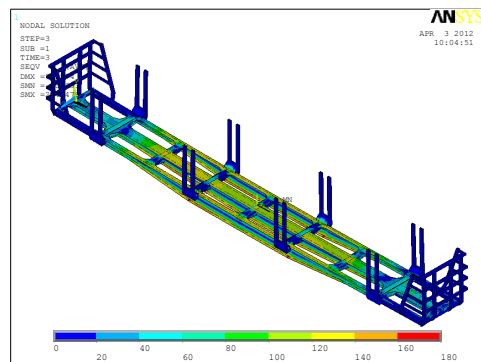


Рисунок 4.30 – III режим розтягування, 3x20'.

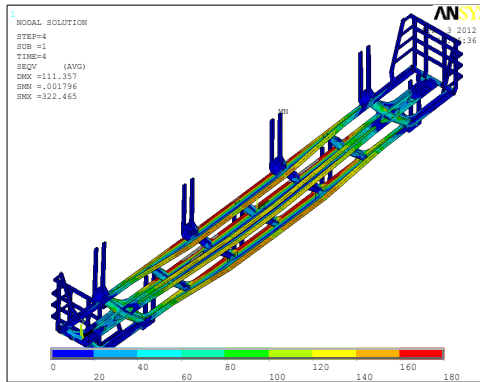
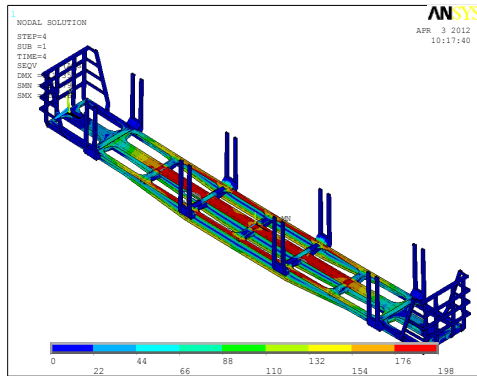
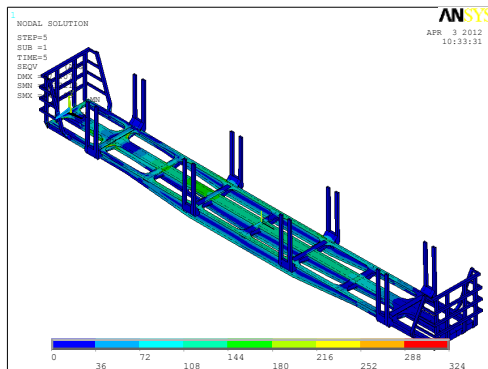


Рисунок 4.31 – III режим стиснення, 3x20'.



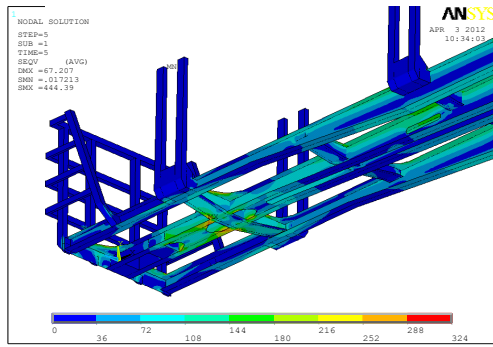


Рисунок 4.32 – співудар 3,5МН, 3х20'.

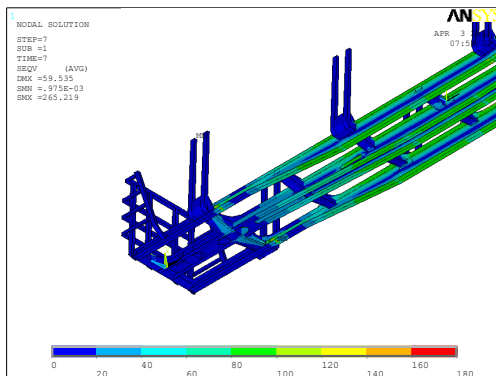
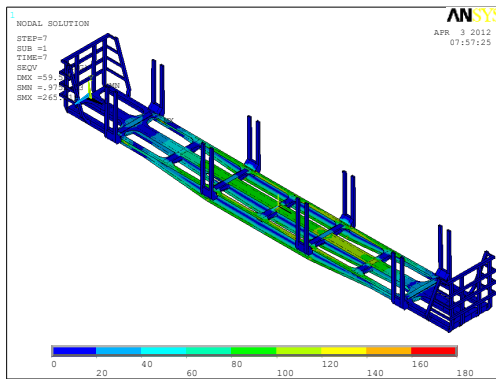


Рисунок 4.33 – підйом двома домкратами, 3х20'.

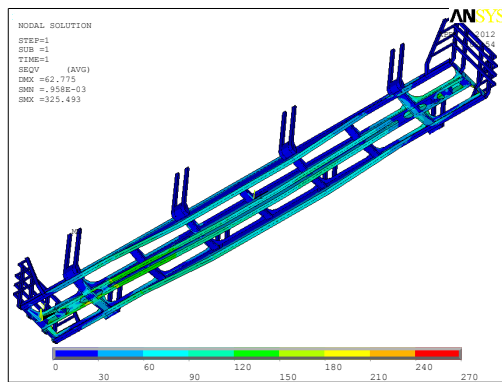
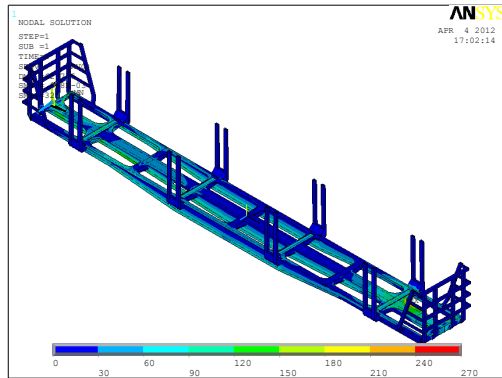
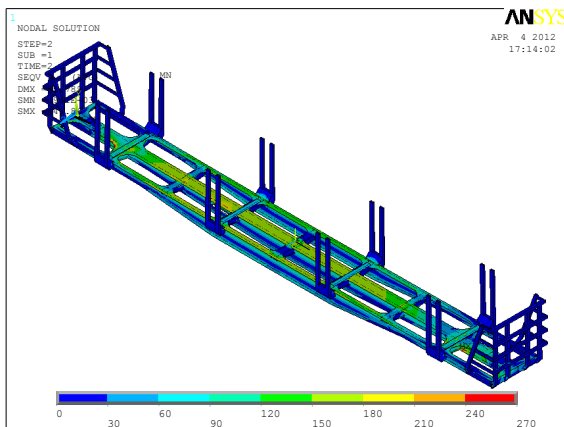


Рисунок 4.34 – I режим розтягування, два штабеля труб.



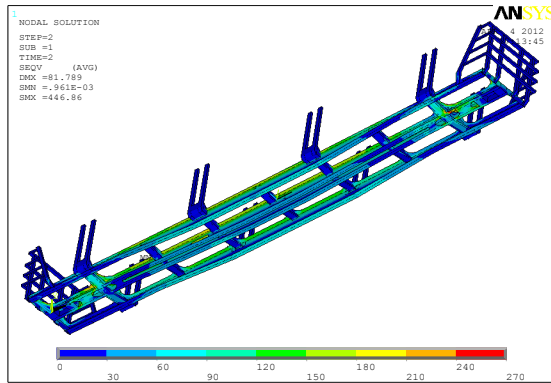


Рисунок 4.35 – I режим стискання, два штабелі труб.

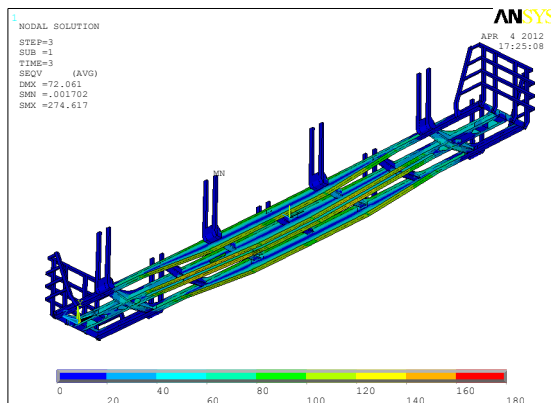
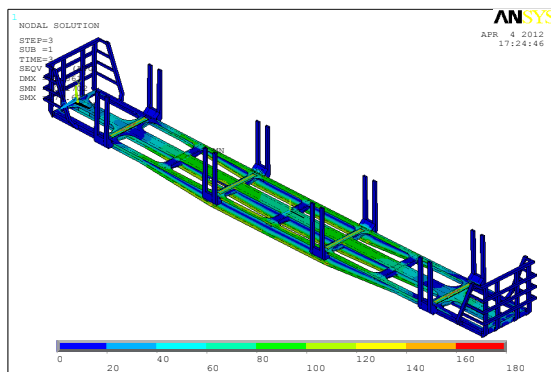


Рисунок 4.36 – III режим розтягування, два штабелі труб.

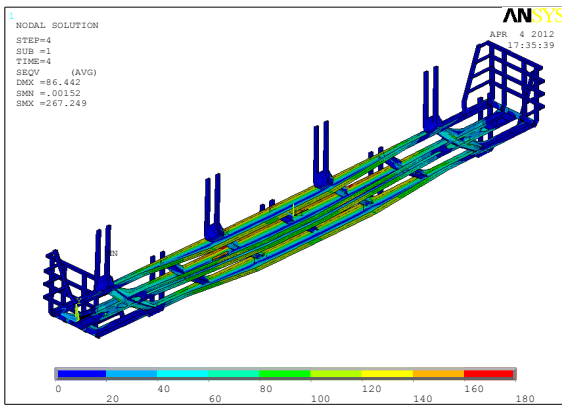
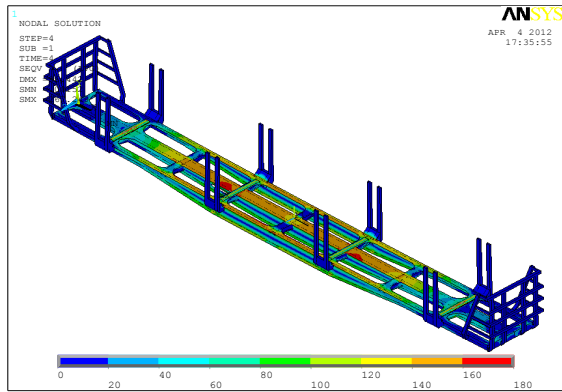
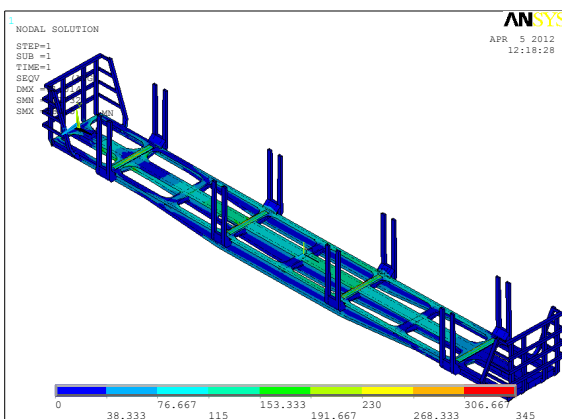


Рисунок 4.37 – III режим стискання, два штабелі труб.



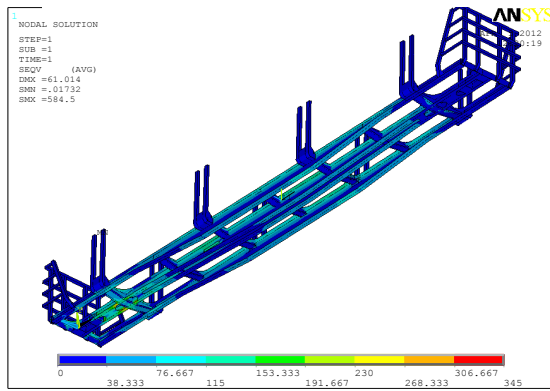


Рисунок 4.38 – співудар 3,5МН, два штабелі труб.

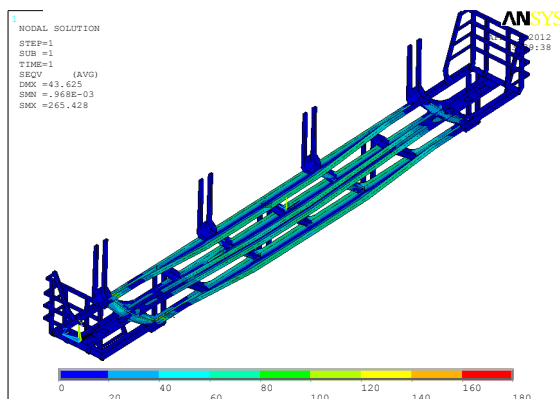
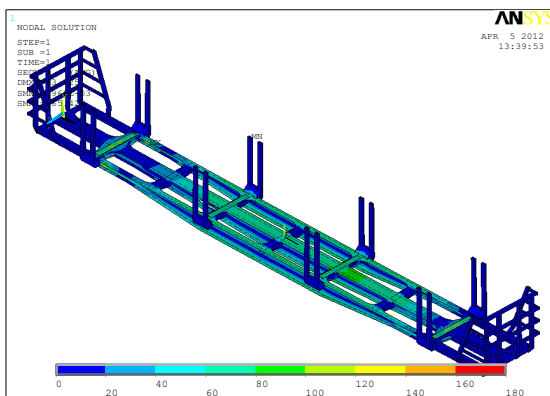


Рисунок 4.39 – підйом двома домкратами, два штабелі труб.

Таблиця 4.3 – Еквівалентні напруження при завантаженні 4х20'.

Елемент	Переріз	Точка	№ вузла моделі	Розрахункові напруження за режимами, МПа					
				I розт.	I стиск.	Удар	Шрозт.	III стиск.	I рем.
Хребтова балка	0-0	1'	6948	85,4	48,1	104,6	88,5	29,4	58,4
Хребтова балка	0-0	2'	43015	10,4	159,7	74,5	141,4	115,6	69,9
Хребтова балка	I-I	2	40158	89,2	53,6	109,7	93,5	29,7	58,8
Хребтова балка	I-I	3	39428	100,2	48,8	110	86,9	13,1	48,5
Хребтова балка	III-III	10	6179	98,4	40,4	108,1	82,9	12,1	49,4
Хребтова балка	VI-VI	9	39523	127,5	12	86,8	34,8	96,5	4,1
Хребтова балка	V-V	8	6274	120,9	9,4	90,1	38,9	94,6	4,6
Шворнева балка	I-I	21	22937	40,2	255,3	38	145,6	279,6	34,8
Шворнева балка	0I-0I	22	56272	105,2	125,5	32,8	141,6	279,6	34,8
Шворнева балка	0I-0I	20	56228	106,7	25,8	85,8	46,5	119,6	43
Проміжна балка №1	I-I	12	4395	31,9	107	49,3	99,9	186,1	16,4
Проміжна балка №1	0I-0I	13	37609	33	98,3	37,5	80,2	185,7	14,5
Проміжна балка №3	I-I	15	72433	18,6	63,4	37,1	57	65,1	30,8
Балка бокова	0-0	23	23455	46	184,3	106,1	164,9	122,2	80,1
Балка бокова	0-0	24	504	63,6	57,5	92	90,1	55,5	57,9
Балка бокова	I'-I'	27	90821	34,3	153	85,5	135,8	83,5	66,4
Балка бокова	0-0	25	94116	73,4	67,8	107,1	105	52,6	66
Балка бокова	II-II	31	126001	76,2	72,7	106,1	104	52,6	66
Балка бокова	I'-I'	29	122580	10	117,7	78	128,3	83,6	66,4
Балка бокова	II-II	32	26006	85	62,7	110,7	102,4	49	61,9
Балка бокова	III'-III'	33'	66644	113,9	76,7	114,5	96,5	13,3	53,4
Балка бокова	III'-III'	34'	33092	100,8	55,5	112	93,9	12,6	52,9
Балка бокова	IV-IV	33	23918	84,5	172,1	104,4	141,8	33,6	59,3
Балка бокова	IV-IV	34	410	96,3	38,6	86,5	63,6	40,4	2,6
Балка бокова	V-V	35	66121	90,5	51,2	67,6	49,3	36,3	3,6
Балка бокова	V-V	36	32578	77,6	31	67,9	49,5	36,7	3,6
Балка бокова	VI-VI	37	60111	59,5	40,3	39,9	84,1	173,5	37,2
Балка бокова	VI-VI	38	26732	9,6	103,4	37,6	81,7	173,4	37,2

Таблиця 4.4 – Еквівалентні напруження при завантаженні 2x40'.

Елемент	Переріз	Точка	№ вузла моделі	Розрахункові напруження за режимами, МПа					
				I розт.	I стиск.	Удар	Шрозт.	Ш стиск.	I рем.
Хребтова балка	0-0	1'	6948	78,8	41,4	93,6	77,5	20,4	51,7
Хребтова балка	0-0	2'	43015	8,5	157,7	68	134,9	141,7	67,9
Хребтова балка	I-I	2	40158	83,1	47,5	102,3	86,1	106,3	52,6
Хребтова балка	I-I	3	39428	79,7	28,3	80,6	57,6	147,4	28
Хребтова балка	III-III	10	6179	78,9	21	80,5	55,3	17,6	29,9
Хребтова балка	VI-VI	9	39523	72,4	46,1	10,2	44,4	159,4	51,7
Хребтова балка	V-V	8	6274	67,0	55,2	16,5	36,9	156,1	49,6
Шворнева балка	I-I	21	22937	37,0	253,9	34,3	140,2	286,5	52,5
Шворнева балка	0I-0I	22	56272	102,6	119,7	36,8	141,4	264,4	52,7
Шворнева балка	0I-0I	20	56228	116,9	55,1	116,8	93,3	286,5	65,9
Проміжна балка №1	I-I	12	4395	43,2	80,2	11,9	64,4	151,4	16,4
Проміжна балка №1	0I-0I	13	37609	44,8	70,9	19,1	37,1	152,8	16,9
Проміжна балка №3	I-I	15	72433	39,2	63,3	57,9	67,8	101,8	46
Балка бокова	0-0	23	23455	47,8	186	109,7	168,5	123	81,9
Балка бокова	0-0	24	504	67,9	61,8	98,1	96,2	59,4	62,2
Балка бокова	I'-I'	27	90821	27,2	145,9	75,4	125,7	50,3	59,3
Балка бокова	0-0	25	94116	70,5	64,8	103,4	101,3	96,7	63
Балка бокова	II-II	31	126001	73,2	69,7	101,4	99,3	43,8	62,8
Балка бокова	I'-I'	29	122580	3	110,6	68	118,3	50,4	59,3
Балка бокова	II-II	32	26006	66,8	44,5	85,1	76,8	27,9	43,7
Балка бокова	III'-III'	33'	66644	62,5	25,1	40,1	22	99,1	2,5
Балка бокова	III'-III'	34'	33092	48,6	8,1	39,1	20,9	151,3	1,8
Балка бокова	IV-IV	33	23918	16,7	104,5	5,1	42,5	48,2	8,7
Балка бокова	IV-IV	34	410	33	24,8	3,2	25,3	101,6	61,5
Балка бокова	V-V	35	66121	38,5	4,2	7,4	25,7	58,9	54,9
Балка бокова	V-V	36	32578	25,3	22,1	5,6	24	59,5	55,5
Балка бокова	VI-VI	37	60111	38,6	68,8	81,9	126,2	162,6	65,7
Балка бокова	VI-VI	38	26732	21,2	131,8	76,3	120,4		65,6

Таблиця 4.5 – Еквівалентні напруження при завантаженні 3х20'.

Елемент	Переріз	Точка	№ вузла моделі	Розрахункові напруження за режимами, МПа					
				I розт.	I стиск.	Удар	Шрозт.	Ш стиск.	I рем.
Хребтова балка	0-0	1'	6948	111,3	73,9	141,2	125	54,5	84,3
Хребтова балка	0-0	2'	43015	38,2	187,6	117,1	184	138,6	97,9
Хребтова балка	I-I	2	40158	115,2	79,6	146,9	130,7	54,9	84,8
Хребтова балка	I-I	3	39428	131,7	80,3	155,9	132,8	50,4	80,1
Хребтова балка	III-III	10	6179	130,3	72,4	151,9	126,8	49,4	81,4
Хребтова балка	VI-VI	9	39523	159,5	43,9	131,6	79,7	45,5	35,5
Хребтова балка	V-V	8	6274	153,2	34,2	136,7	85,5	43,7	36,7
Шворнева балка	I-I	21	22937	52,1	258,5	58,2	155,2	284,6	19,7
Шворнева балка	0I-0I	22	56272	110	133,8	51,2	148,1	284,6	19,8
Шворнева балка	0I-0I	20	56228	112,1	24,3	83,7	19,2	78,1	33,9
Проміжна балка №1	I-I	12	4395	54,1	97,8	47	89,1	148,4	31,3
Проміжна балка №1	0I-0I	13	37609	54,6	89,3	56,1	71,4	147,4	28,2
Проміжна балка №3	I-I	15	72433	20,3	74,9	46,8	70,1	54,9	37,4
Балка бокова	0-0	23	23455	67,9	206,1	137,5	196,3	128,6	102
Балка бокова	0-0	24	504	77,8	71,7	111,6	109,7	69,2	72,1
Балка бокова	I'-I'	27	90821	65,2	183,9	130,5	180,8	124,7	97,2
Балка бокова	0-0	25	94116	103,2	88,2	149,5	147,4	82	95,9
Балка бокова	II-II	31	126001	106	93,9	148,5	146,4	81,9	95,8
Балка бокова	I'-I'	29	122580	40,9	148,6	120,9	171,2	124,8	97,3
Балка бокова	II-II	32	26006	135,6	113,2	181,4	173,1	104,3	112,4
Балка бокова	III'-III'	33'	66644	129,7	80,7	137,2	119,2	38,5	69,2
Балка бокова	III'-III'	34'	33092	116,4	70,9	133,9	115,8	37,8	68,6
Балка бокова	IV-IV	33	23918	104,8	192,6	131	168,4	78,5	79,7
Балка бокова	IV-IV	34	410	124,8	67,1	126,4	103,5	10,4	30,6
Балка бокова	V-V	35	66121	115,2	92,4	103,2	84,8	7,3	22
Балка бокова	V-V	36	32578	102,2	55,6	102,5	84,1	7	21,7
Балка бокова	VI-VI	37	60111	89,5	60111	9,2	35,4	119	4,2
Балка бокова	VI-VI	38	26732	41,5	77,9	8,9	35,9	118,9	4,1

Таблиця 4.6 – Еквівалентні напруження при завантаженні двома штабелями труб.

Елемент	Переріз	Точка	№ вузла моделі	Розрахункові напруження за режимами, МПа					
				I розт.	I стиск.	Удар	Шрозт.	Ш стиск.	I рем.
Хребтова балка	0-0	1'	6948	87,1	49,8	107,4	91,2	45,2	60,1
Хребтова балка	0-0	2'	43015	9,9	159,3	77,1	144,1	117,5	69,6
Хребтова балка	I-I	2	40158	91,1	55,5	112,1	95,9	45,7	60,7
Хребтова балка	I-I	3	39428	112,3	60,9	127,7	104,6	29,6	60,7
Хребтова балка	III-III	10	6179	111,1	53,1	125,3	100,1	28,9	62,1
Хребтова балка	VI-VI	9	39523	139,5	23,9	103,5	51,6	70,4	15,5
Хребтова балка	V-V	8	6274	133,4	14,4	108,1	57	68,1	16,9
Шворнева балка	I-I	21	22937	59,2	238,4	31,7	124,2	209,1	41,6
Шворнева балка	0I-0I	22	56272	124	111,9	27,3	118	209,1	41,7
Шворнева балка	0I-0I	20	56228	98,9	36,1	63,4	10,8	85,2	47,3
Проміжна балка №1	I-I	12	4395	56,8	83,3	29,5	65,8	89,3	30
Проміжна балка №1	0I-0I	13	37609	57,9	74,5	46,4	51,8	88	27,4
Проміжна балка №3	I-I	15	72433	11,3	72,1	34,6	62	45,3	26,5
Балка бокова	0-0	23	23455	44,9	183,2	104,1	162,9	122,2	79,1
Балка бокова	0-0	24	504	62,1	56	89,9	88,1	54,4	56,4
Балка бокова	I'-I'	27	90821	40,6	159,4	94,9	145,2	112,2	72,7
Балка бокова	0-0	25	94116	79,2	73,6	115,7	113,6	73,5	71,8
Балка бокова	II-II	31	126001	82	78,4	113,9	111,8	73,4	71,7
Балка бокова	I'-I'	29	122580	16,3	124	86,6	136,9	112,3	72,7
Балка бокова	II-II	32	26006	103,1	80,8	136,3	128	59,5	80
Балка бокова	III'-III'	33'	66644	110,1	72,8	108,6	90,6	11,3	49,5
Балка бокова	III'-III'	34'	33092	96,7	51,3	106,5	88,3	10,3	48,8
Балка бокова	IV-IV	33	23918	82,1	169,8	99,6	137,1	67,6	57
Балка бокова	IV-IV	34	410	105,1	47,4	98,7	75,8	24	10,8
Балка бокова	V-V	35	66121	99,1	59,8	79,9	61,6	21,1	5,9
Балка бокова	V-V	36	32578	86,1	39,4	79,7	61,3	21,6	5,6
Балка бокова	VI-VI	37	60111	91,9	7,8	12,7	31,7	103,6	2,2
Балка бокова	VI-VI	38	26732	43,7	75,6	11,7	32,7	103,5	2,1

Таблиця 4.7 – Визначення коефіцієнта вертикальної динаміки в і-му інтервалі швидкостей для схеми навантаження 4x20'

Інтервал швидкостей	V_i , м/с	p_i	k_{di}	$k_{di}^4 \cdot p_i$
0-12,5	6,25	0,03	0,0208	5,651403E-09
12,5-15,0	13,75	0,07	0,0458	3,089042E-07
15,0-17,5	16,25	0,09	0,0666	1,767976E-06
17,5-20,0	18,75	0,12	0,0997	1,186795E-05
20,0-22,5	21,25	0,16	0,1329	4,987306E-05
22,5-25,0	23,75	0,19	0,1660	1,443501E-04
25,0-27,5	26,25	0,16	0,1992	2,517832E-04
27,5-30,0	28,75	0,1	0,2323	2,913062E-04
30,0-32,5	31,25	0,06	0,2655	2,979961E-04
32,5-35,0	33,75	0,02	0,2986	1,590371E-04
Σ	-	1	-	1,208296E-03

Таблиця 4.8 – Визначення коефіцієнта вертикальної динаміки в і-му інтервалі швидкостей для схеми навантаження 2x40'

Інтервал швидкостей	V_i , м/с	p_i	k_{di}	$k_{di}^4 \cdot p_i$
0-12,5	6,25	0,03	0,0208	5,651403E-09
12,5-15,0	13,75	0,07	0,0458	3,089042E-07
15,0-17,5	16,25	0,09	0,0624	1,365730E-06
17,5-20,0	18,75	0,12	0,0872	6,951385E-06
20,0-22,5	21,25	0,16	0,1121	2,523838E-05
22,5-25,0	23,75	0,19	0,1369	6,673039E-05
25,0-27,5	26,25	0,16	0,1617	1,094509E-04
27,5-30,0	28,75	0,1	0,1866	1,211148E-04
30,0-32,5	31,25	0,06	0,2114	1,197846E-04
32,5-35,0	33,75	0,02	0,2362	6,225873E-05
Σ	-	1	-	5,132095E-04

Таблиця 4.9 – Визначення коефіцієнта вертикальної динаміки в і-му інтервалі швидкостей для схеми навантаження 3x20'

Інтервал швидкостей	V_i , м/с	p_i	k_{di}	$k_{di}^4 \cdot p_i$
0-12,5	6,25	0,03	0,0208	5,651403E-09
12,5-15,0	13,75	0,07	0,0458	3,089042E-07
15,0-17,5	16,25	0,09	0,0784	3,398686E-06
17,5-20,0	18,75	0,12	0,1352	4,006337E-05
20,0-22,5	21,25	0,16	0,1920	2,172327E-04
22,5-25,0	23,75	0,19	0,2487	7,273163E-04
25,0-27,5	26,25	0,16	0,3055	1,394060E-03
27,5-30,0	28,75	0,1	0,3623	1,723007E-03
30,0-32,5	31,25	0,06	0,4191	1,850804E-03
32,5-35,0	33,75	0,02	0,4759	1,025591E-03
Σ	-	1	-	6,981787E-03

Таблиця 4.10 – Визначення коефіцієнта вертикальної динаміки в і-му інтервалі швидкостей для схеми навантаження двома штабелями труб

Інтервал швидкостей	V_i , м/с	p_i	k_{di}	$k_{di}^4 \cdot p_i$
0-12,5	6,25	0,03	0,0208	5,651403E-09
12,5-15,0	13,75	0,07	0,0458	3,089042E-07
15,0-17,5	16,25	0,09	0,0684	1,966244E-06
17,5-20,0	18,75	0,12	0,1051	1,464286E-05
20,0-22,5	21,25	0,16	0,1418	6,475523E-05
22,5-25,0	23,75	0,19	0,1786	1,931975E-04
25,0-27,5	26,25	0,16	0,2153	3,438314E-04
27,5-30,0	28,75	0,1	0,2520	4,035371E-04
30,0-32,5	31,25	0,06	0,2888	4,172465E-04
32,5-35,0	33,75	0,02	0,3255	2,245373E-04
Σ	-	1	-	1,664029E-03

Таблиця 4.11 – Коефіцієнт запасу опору втомі, завантаження 4х20'.

Елемент	Пере-різ	точ-ка	№ уз-ла мо-делі	Результати розрахунку				
				$\sigma_{ст}$	$\sigma_{аЭ}$	$(\bar{k}_{\sigma})_k$	$\sigma_{аN}$	n
Хребтова балка	0-0	т.1'	6948	57,4	20,639	4,5	41,293	2,00
Хребтова балка	0-0	т.2'	43015	65,5	23,552	4,0	46,455	1,97
Хребтова балка	I-I	т.2	40158	57,4	20,639	4,5	41,293	2,00
Хребтова балка	I-I	т.3	39428	55,2	19,848	4,5	41,293	2,08
Хребтова балка	V-V	т.8	6274	33,5	12,046	3,0	61,940	5,14
Хребтова балка	VI-VI	т.9	48292	49	17,619	3,0	61,940	3,52
Хребтова балка	VI-VI	т.10	15179	49	17,619	3,0	61,940	3,52
Шворнева балка	I-I	т.21	22937	51,5	18,518	4,0	46,455	2,51
Шворнева балка	0I-0I	т.22	56272	51,5	18,518	4,5	41,293	2,23
Шворнева балка	0I-0I	т.20	56228	32,9	11,830	4,5	41,293	3,49
Проміжна балка №1	I-I	т.12	4395	40,8	14,670	4,0	46,455	3,17
Проміжна балка №1	0I-0I	т.13	37609	40,8	14,670	4,0	46,455	3,17
Проміжна балка №3	I-I	т.15	72433	27,1	9,744	4,0	46,455	4,77
Балка бокова	0-0	т.23	23455	76,9	27,651	4,0	46,455	1,68
Балка бокова	0-0	т.24	504	54,6	19,633	4,0	46,455	2,37
Балка бокова	I'-I'	т.27	90821	62,4	22,437	4,5	41,293	1,84
Балка бокова	0-0	т.25	94116	61,3	22,042	4,5	41,293	1,87
Балка бокова	I'-I'	т.29	122580	62,4	22,437	4,5	41,293	1,84
Балка бокова	II-II	т.31	59382	60,8	21,862	4,0	46,455	2,12
Балка бокова	II-II	т.32	26006	60,8	21,862	4,0	46,455	2,12
Балка бокова	III'-III'	т.33'	66644	60,5	21,754	4,5	41,293	1,90
Балка бокова	III'-III'	т.34'	33092	60,5	21,754	4,5	41,293	1,90
Балка бокова	IV-IV	т.33	23918	72,8	26,177	4,5	41,293	1,58
Балка бокова	IV-IV	т.34	410	41,2	14,814	4,0	46,455	3,14
Балка бокова	V-V	т.35	66121	31,9	11,470	4,0	46,455	4,05
Балка бокова	V-V	т.36	32578	31,9	11,470	4,0	46,455	4,05
Балка бокова	VI-VI	т.37	60111	40	14,383	4,0	46,455	3,23
Балка бокова	VI-VI	т.38	26732	40	14,383	4,0	46,455	3,23

Таблиця 4.12 – Коефіцієнт запасу опору втомі, завантаження 2х40'.

Елемент	Переріз	точ-ка	№ уз-ла моделі	Результати розрахунку				
				$\sigma_{ст}$	$\sigma_{аэ}$	$(\bar{k}_{\sigma})_k$	$\sigma_{аН}$	n
Хребтова балка	0-0	т.1'	6948	50,7	14,717	4,5	41,293	2,81
Хребтова балка	0-0	т.2'	43015	63,4	18,404	4,0	46,455	2,52
Хребтова балка	I-I	т.2	40158	51,2	14,862	4,5	41,293	2,78
Хребтова балка	I-I	т.3	39428	34,7	10,073	4,5	41,293	4,10
Хребтова балка	V-V	т.8	6274	20,4	5,922	3,0	61,940	10,46
Хребтова балка	VI-VI	т.9	48292	91,7	26,619	3,0	61,940	2,33
Хребтова балка	VI-VI	т.10	15179	91,6	26,590	3,0	61,940	2,33
Шворнева балка	I-I	т.21	22937	50,6	14,688	4,0	46,455	3,16
Шворнева балка	0I-0I	т.22	56272	50,6	14,688	4,5	41,293	2,81
Шворнева балка	0I-0I	т.20	56228	61,9	17,968	4,5	41,293	2,30
Проміжна балка №1	I-I	т.12	4395	14,3	4,151	4,0	46,455	11,19
Проміжна балка №1	0I-0I	т.13	37609	14,8	4,296	4,0	46,455	10,81
Проміжна балка №3	I-I	т.15	72433	41,1	11,930	4,0	46,455	3,89
Балка бокова	0-0	т.23	23455	78,6	22,816	4,0	46,455	2,04
Балка бокова	0-0	т.24	504	58,8	17,068	4,0	46,455	2,72
Балка бокова	I'-I'	т.27	90821	55,3	16,052	4,5	41,293	2,57
Балка бокова	0-0	т.25	94116	58,3	16,923	4,5	41,293	2,44
Балка бокова	I'-I'	т.29	122580	55,3	16,052	4,5	41,293	2,57
Балка бокова	II-II	т.31	59382	42,1	12,221	4,0	46,455	3,80
Балка бокова	II-II	т.32	26006	42,6	12,366	4,0	46,455	3,76
Балка бокова	III'-III'	т.33'	66644	9	2,613	4,5	41,293	15,81
Балка бокова	III'-III'	т.34'	33092	8,3	2,409	4,5	41,293	17,14
Балка бокова	IV-IV	т.33	23918	5,2	1,509	4,5	41,293	27,36
Балка бокова	IV-IV	т.34	410	22,1	6,415	4,0	46,455	7,24
Балка бокова	V-V	т.35	66121	20,1	5,835	4,0	46,455	7,96
Балка бокова	V-V	т.36	32578	20,5	5,951	4,0	46,455	7,81
Балка бокова	VI-VI	т.37	60111	68,4	19,855	4,0	46,455	2,34
Балка бокова	VI-VI	т.38	26732	68,4	19,855	4,0	46,455	2,34

Таблиця 4.13– Коефіцієнт запасу опору втомі, завантаження 3х20'.

Елемент	Пере-різ	точ-ка	№ уз-ла мо-делі	Результати розрахунку				
				$\sigma_{ст}$	$\sigma_{аЭ}$	$(\bar{k}_{\sigma})_k$	$\sigma_{аН}$	n
Хребтова балка	0-0	т.1'	6948	83,2	46,383	4,5	41,293	0,89
Хребтова балка	0-0	т.2'	43015	93,4	52,069	4,0	46,455	0,89
Хребтова балка	I-I	т.2	40158	83,4	46,494	4,5	41,293	0,89
Хребтова балка	I-I	т.3	39428	86,8	48,390	4,5	41,293	0,85
Хребтова балка	V-V	т.8	6274	65,8	36,682	3,0	61,940	1,69
Хребтова балка	VI-VI	т.9	48292	10,1	5,631	3,0	61,940	11,00
Хребтова балка	VI-VI	т.10	15179	10	5,575	3,0	61,940	11,11
Шворнева балка	I-I	т.21	22937	58,9	32,836	4,0	46,455	1,41
Шворнева балка	0I-0I	т.22	56272	58,9	32,836	4,5	41,293	1,26
Шворнева балка	0I-0I	т.20	56228	28,5	15,888	4,5	41,293	2,60
Проміжна балка №1	I-I	т.12	4395	36,8	20,515	4,0	46,455	2,26
Проміжна балка №1	0I-0I	т.13	37609	35,9	20,014	4,0	46,455	2,32
Проміжна балка №3	I-I	т.15	72433	35,1	19,568	4,0	46,455	2,37
Балка бокова	0-0	т.23	23455	98,8	55,079	4,0	46,455	0,84
Балка бокова	0-0	т.24	504	68,8	38,355	4,0	46,455	1,21
Балка бокова	I'-I'	т.27	90821	93,3	52,013	4,5	41,293	0,79
Балка бокова	0-0	т.25	94116	91,1	50,787	4,5	41,293	0,81
Балка бокова	I'-I'	т.29	122580	93,3	52,013	4,5	41,293	0,79
Балка бокова	II-II	т.31	59382	111,2	61,992	4,0	46,455	0,75
Балка бокова	II-II	т.32	26006	111,4	62,104	4,0	46,455	0,75
Балка бокова	III'-III'	т.33'	66644	76,3	42,536	4,5	41,293	0,97
Балка бокова	III'-III'	т.34'	33092	76,1	42,425	4,5	41,293	0,97
Балка бокова	IV-IV	т.33	23918	93,1	51,902	4,5	41,293	0,80
Балка бокова	IV-IV	т.34	410	69,6	38,801	4,0	46,455	1,20
Балка бокова	V-V	т.35	66121	56,6	31,554	4,0	46,455	1,47
Балка бокова	V-V	т.36	32578	56,5	31,498	4,0	46,455	1,47
Балка бокова	VI-VI	т.37	60111	6,9	3,847	4,0	46,455	12,08
Балка бокова	VI-VI	т.38	26732	6,9	3,847	4,0	46,455	12,08

Таблиця 4.14 – Коефіцієнт запасу опору втомі, завантаження двома штабелями труб.

Елемент	Пере-різ	точ-ка	№ уз-ла мо-делі	Результати розрахунку				
				$\sigma_{ст}$	$\sigma_{аЭ}$	$(\bar{k}_{\sigma})_k$	$\sigma_{ан}$	n
Хребтова балка	0-0	т.1'	6948	59	22,982	4,5	41,293	1,80
Хребтова балка	0-0	т.2'	43015	65,1	25,358	4,0	46,455	1,83
Хребтова балка	I-I	т.2	40158	59,3	23,099	4,5	41,293	1,79
Хребтова балка	I-I	т.3	39428	67,4	26,254	4,5	41,293	1,57
Хребтова балка	V-V	т.8	6274	46	17,918	3,0	61,940	3,46
Хребтова балка	VI-VI	т.9	48292	7,5	2,921	3,0	61,940	21,20
Хребтова балка	VI-VI	т.10	15179	7,4	2,882	3,0	61,940	21,49
Шворнева балка	I-I	т.21	22937	37	14,412	4,0	46,455	3,22
Шворнева балка	0I-0I	т.22	56272	37	14,412	4,5	41,293	2,87
Шворнева балка	0I-0I	т.20	56228	14,9	5,804	4,5	41,293	7,11
Проміжна балка №1	I-I	т.12	4395	23,4	9,115	4,0	46,455	5,10
Проміжна балка №1	0I-0I	т.13	37609	22	8,569	4,0	46,455	5,42
Проміжна балка №3	I-I	т.15	72433	27,9	10,868	4,0	46,455	4,27
Балка бокова	0-0	т.23	23455	75,9	29,565	4,0	46,455	1,57
Балка бокова	0-0	т.24	504	53,1	20,684	4,0	46,455	2,25
Балка бокова	I'-I'	т.27	90821	68,7	26,760	4,5	41,293	1,54
Балка бокова	0-0	т.25	94116	67,1	26,137	4,5	41,293	1,58
Балка бокова	I'-I'	т.29	122580	68,7	26,760	4,5	41,293	1,54
Балка бокова	II-II	т.31	59382	78,6	30,616	4,0	46,455	1,52
Балка бокова	II-II	т.32	26006	78,9	30,733	4,0	46,455	1,51
Балка бокова	III'-III'	т.33'	66644	56,7	22,086	4,5	41,293	1,87
Балка бокова	III'-III'	т.34'	33092	56,4	21,969	4,5	41,293	1,88
Балка бокова	IV-IV	т.33	23918	70,4	27,422	4,5	41,293	1,51
Балка бокова	IV-IV	т.34	410	49,9	19,437	4,0	46,455	2,39
Балка бокова	V-V	т.35	66121	40,5	15,776	4,0	46,455	2,94
Балка бокова	V-V	т.36	32578	40,3	15,698	4,0	46,455	2,96
Балка бокова	VI-VI	т.37	60111	4,5	1,753	4,0	46,455	26,50
Балка бокова	VI-VI	т.38	26732	4,5	1,753	4,0	46,455	26,50

ДОДАТОК Е.

Акти впровадження результатів дисертаційної роботи



МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ УКРАЇНИ
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
 "УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ ВАГОНОБУДУВАННЯ"
 (ДП «УкрНДІВ»)

ОРГАН З СЕРТИФІКАЦІЇ
 ПРОДУКЦІЇ ВАГОНОБУДУВАННЯ

ВИПРОБУВАЛЬНИЙ ЦЕНТР
 ПРОДУКЦІЇ ВАГОНОБУДУВАННЯ

Код 00388168, р/р № 26002060073768 у відділенні "Кременчуцька філія" філії "ПГРУ" ПАТ КБ "ПриватБанк", МФО 331401
 39621, Україна, м. Кременчук Полтавської обл., вул. І.Приходька, 33
 тел. (05366) 6-23-32, факс (05366) 6-10-36 e-mail: office@ukrndiv.com.ua



АКТ

про впровадження результатів кандидатської дисертаційної роботи
Федосова-Ніконова Дмитра Вячеславовича

Комісія в складі:

голова Ільчишин В.В. головний інженер, керівник ВЦ ПВ ДП „УкрНДІВ”;

члени комісії:

Сулім А.О. заступник завідувача НДЛ ДП „УкрНДІВ”, к.т.н.;

Багров О.М. завідувач групи НДЛ ДП „УкрНДІВ”, к.т.н.;

склали цей акт про те, що результати дисертаційної роботи «Покращення міцнісних якостей довгобазних вагонів-платформ шляхом удосконалення їх конструкцій та методів розрахунків», представлені на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук використовуються під час розробки методик, під час проведення та опрацювання результатів експериментальних досліджень на міцність та опір втомі вантажних вагонів.

Використання результатів дисертаційної роботи дозволили оцінювати ефективність конструкційних впроваджень на етапі проектування довгобазних вагонів та проводити розрахункові дослідження на відповідність чинним нормативним документам. При проведенні експериментальних досліджень використання результатів дисертаційної роботи дозволяє скоротити витрати та час, підвищити точність та достовірність отриманих результатів.

Голова комісії:

 В.В. Ільчишин

Члени комісії:

 А.О. Сулім

 О.М. Багров

044945



Затверджую

Директор Київського інституту
залізничного транспорту Державному
університету інфраструктури та
технологій (КІЗТ ДУІТ)



Н.С. Брайковська

АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи
Федосова-Ніконова Дмитра Вячеславовича «Покращення
міцнісних якостей довгобазних вагонів-платформ шляхом
удосконалення їх конструкцій та методів розрахунків»

« 16 » 01 2018р.

Цей акт складено про те, що в навчальному процесі Київського інституту залізничного транспорту (КІЗТ ДУІТ) кафедрою «Вагони та вагонне господарство» використовуються основні теоретичні положення та результати досліджень, які представлені в дисертації, при підготовці бакалаврів і магістрів за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт» при викладанні дисциплін «Вагони, конструювання та розрахунки», «Технічне обслуговування вагонів», «Технологія вагонобудування та ремонт вагонів».

Завідувач кафедри «Вагони
та вагонне господарство» к.т.н., доцент



В.М. Іщенко

Декан факультету ІРСЗ к.т.н., доцент



В.М. Твердомед



№ _____
на № _____

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор технічний
ПАТ „Дніпровагонмаш”
О.В. Жуков
«23» _____ 2018

АКТ

про впровадження результатів кандидатської дисертаційної роботи
Федосова-Ніконова Дмитра Вячеславовича

Комісія в складі:

голова Посунько Ю.В. начальник служби якості ПАТ „Дніпровагонмаш”;
члени комісії:

Долінський С.В. головний конструктор ПАТ „Дніпровагонмаш”;

Євдокімов А.І. начальник відділу випробувань ПАТ „Дніпровагонмаш”;

склали цей акт про те, що результати дисертаційної роботи «Покращення міцнісних якостей довгобазних вагонів-платформ шляхом удосконалення їх конструкцій та методів розрахунків», представлені на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, використовуються конструкторським бюро ПАТ «Дніпровагонмаш» в якості керівництва під час проектування і розрахунках на міцність та опір втомі вантажних вагонів.

Використання результатів дисертаційної роботи дозволили оцінювати ефективність конструкційних впроваджень на етапі проектування довгобазних вагонів. За даними експертної оцінки використання результатів дисертаційної роботи дозволяє скоротити витрати та час при проектуванні та розрахунках довгобазних вагонів в розмірі до 8%, підвищити точність та достовірність отриманих результатів.

Голова комісії:

Ю.В. Посунько

Члени комісії:

С.В. Долінський

А.І. Євдокімов

Україна, 51925, Дніпропетровська обл., м. Кам'янське, вул. Українська, 4, ПАТ «Дніпровагонмаш»
телефони: +380 (569) 58-47-27, 58-47-17, 58-48-68, факс +380 (569) 58-47-08
E-mail: sales@dvmmash.biz; www.dvmmash.biz

ПУБЛИЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
КРЮКІВСЬКИЙ ВАГОНБУДІВНИЙ ЗАВОД

вул. І.Приходька, 139, м. Кременчук
Полтавська обл., Україна, 39621
Тел. (0536) 74-14-20, 76-92-22,
76-97-85, 76-93-31, 76-95-05
e-mail: kvsz@kvsz.com
www.kvsz.com



ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
КРЮКОВСКИЙ ВАГОНСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД

ул. И.Приходько, 139, г. Кременчуг
Полтавская обл., Украина, 39621
Телеграфный адрес: Кременчуг, 21 Ось
Телетайп: 164519 OS. Факс: (0536) 74-36-20

№

На №

ЗАТВЕРДЖУЮ
Технічний директор
ПАТ „Крюківський
вагонобудівний завод“
«*[Signature]*» М.В. Крамаренко
2018р.



АКТ

про впровадження результатів кандидатської дисертаційної роботи
Федосова-Ніконова Дмитра В'ячеславовича

Комісія в складі:
голова Шкабров О.А. начальник проектно-конструкторського управління ПАТ
„КВБЗ“;

члени комісії:

Лутонін С.В. заступник технічного директора ПАТ „КВБЗ“;

Можейко С.Р. головний конструктор з вантажного вагонобудування ПАТ „КВБЗ“,
склали цей акт про те, що результати дисертаційної роботи «Покращення міцнісних
якостей довгобазних вагонів-платформ шляхом удосконалення їх конструкцій та методів
розрахунків», представлені на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук,
використовуються конструкторським бюро з проектування вантажних вагонів
ПАТ «КВБЗ» в якості керівництва під час проектування і розрахунках на міцність та опір
втомі вантажних вагонів.

Використання результатів дисертаційної роботи дозволили оцінювати ефективність
конструкційних впроваджень на етапі проектування довгобазних вагонів та проводити
розрахункові дослідження на відповідність чинним нормативним документам. За даними
експертної оцінки використання результатів дисертаційної роботи дозволяє скоротити
витрати та час при проектування та розрахунках довгобазних вагонів в розмірі 5-8%,
підвищити точність та достовірність отриманих результатів.

Голова комісії:

О.А. Шкабров

Члени комісії:

С.В. Лутонін

С.Р. Можейко



IRIS
Certification



Система менеджмента предприятия
СЕРТИФИЦИРОВАНА

000154€