

Ватуля Г.Л.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Герліці Ю.

Жилінський університет в Жиліні

Ловська А.О.

Жилінський університет в Жиліні

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ КОНТЕЙНЕРА З УРАХУВАННЯМ УДОСКОНАЛЕНОЇ СХЕМИ ЗАКРІПЛЕННЯ В НАПІВВАГОНІ

У статті наведено результати визначення навантаженості контейнера при перевезенні його у напіввагоні. З метою зменшення повздовжніх навантажень, які діють на контейнер, розміщений у кузові напіввагона пропонується удосконалення схеми їх взаємодії. При цьому є можливим використання в'язкого зв'язку між ними. Даний зв'язок може бути реалізовано між торцевими стінами кузова напіввагона та контейнера або між фітингами та фітинговими упорами.

Для обґрунтування такої схеми закріплення проведено математичне моделювання динамічної навантаженості напіввагона, завантаженого контейнерами. Враховано, що напіввагон завантажений двома контейнерами. Для розв'язку даної системи диференціальних рівнянь другого порядку використано програмний комплекс MathCad, який реалізує метод покрокової ітерації Рунге – Кутта. Встановлено, що прискорення, які діють на контейнер при повздовжній навантаженості його конструкції на 17% нижче за ті, що діють при типовій схемі взаємодії з вагоном. Отримані результати розрахунків враховано при визначенні міцності несучої конструкції контейнера. Для цього побудовано його просторову модель в програмному комплексі SolidWorks. Розрахунок на міцність здійснено за методом скінчених елементів. Результати розрахунку показали, що максимальні напруження виникають в нижньому торцевому поясі контейнера і перевищують допустимі. Тому закріплення контейнера за такою схемою не є допустимим. Також в рамках дослідження розглянуто можливість впровадження в'язкого зв'язку у фітинги контейнера. На підставі проведених розрахунків встановлено, що максимальні напруження виникають у фітингах контейнера і складають близько 270 МПа. Отже міцність контейнера забезпечується.

Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності контейнерних перевезень, а також експлуатації залізничного транспорту.

Ключові слова: транспортна механіка, динамічна навантаженість контейнера, міцність контейнера, закріплення контейнера, контейнерні перевезення.

Вступ. Вже на протязі тривалого часу транспортна галузь є провідним елементом розвитку державної економіки. При цьому однією із найбільш пріоритетних її складових є залізнична. Для підвищення ефективності роботи залізничної галузі в міжнародному сполученні дістали розвитку контейнерні перевезення. Це обумовлено інтегративністю та мобільністю контейнерів, як транспортних засобів. Перевезення контейнерів залізницею здійснюється на вагонах-платформах.

У зв'язку з нестачею спеціалізованого рухомого складу для перевезень контейнерів виникає необхідність адаптації існуючого парку вагонів для цих цілей. Одними з таких вагонів є напівва-

гони. З метою можливості кріплення контейнерів на їх підлогу приварюються фітингові упори. Важливо сказати, що наявність технологічних зазорів між фітингами та фітинговими упорами в умовах експлуатаційних режимів викликає їх додаткову навантаженість. Це може призвести до пошкодження як контейнерів, так і складових кузова. У зв'язку з цим є доцільним впровадження рішень, спрямованих на зменшення динамічних навантажень, які діють на кузов напіввагона, а відповідно і на контейнер в експлуатації. Це сприятиме зменшенню витрат на утримання транспортних засобів та створенню рекомендацій щодо підвищення ефективності його експлуатації. Тому дослі-

дження присвячені зменшенню навантаженості транспортних засобів комбінованого призначення є досить актуальними.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Для адаптації рухомого складу до перевезень контейнерів знайшли використання заходи щодо його удосконалень або впровадження спеціальних багатообертових пристроїв закріплення.

Так, наприклад, конструкцію пристрою для кріплення контейнерів при перевезенні залізницею запропоновано у патенті [1]. Особливістю цього пристрою є те, що до його складу входять елементи, які амортизують переміщення контейнера, а також наявність розділової перегородки. Разом з цим, дана конструкція пристрою не дозволяє адаптувати напіввагон до надійного перевезення контейнерів залізницею.

В роботі [2] запропоновано зйомний модуль відкритого типу для перевезень вантажів залізничним транспортом. Модуль виконано з труб прямокутного перерізу, а для зменшення навантаженості його конструкції при дії повздовжніх сил, фітинги містять пружно-в'язкі зв'язки. Даний модуль кріпиться до залізничних транспортних засобів через кутові фітинги. Подібний модуль також було запропоновано у роботі [3]. Однак він оснащений зйомними стінами. Ці модулі могли б застосовуватися і для кріплення контейнерів в напіввагонах. Однак для цього необхідним є оснащення їх фітинговими упорами, а також встановлення фітингових упорів на сам модуль. Однак авторами таких досліджень не проводилося.

Для кріплення контейнерів в кузові напіввагона в роботі [4] запропоновано впровадження спеціального пристрою. Даний пристрій включає плиту-основу, штиркову опору, ось, упорну плиту, вушка, трубку, нижню плиту та елементи фіксації. Пристрій є багатообертовим та при дотриманні відповідного технічного обслуговування і ремонту має достатню надійність. Разом з цим конструкція пристрою є досить складною, що викликатиме труднощі його обслуговування.

Особливості конструкції вагона для перевезень контейнерів висвітлено у публікації [5]. Даний вагон представляє собою класичну конструкцію напіввагона, який оснащений фітинговими упорами для кріплення контейнерів. Вони розміщуються по кутах кузова. При цьому автором зазначено, що вони можуть бути як фітингові, так і будь-які інші.

Аналогічну конструкцію вагона запропоновано у публікації [6]. Його особливість полягає у тому,

що на стінах кузова встановлені кутові напрямні. Вони призначені для спрямування контейнера при його завантаженні або вивантаженні. Дані напрямні розміщені під деяким кутом і виконані знімними. Важливо сказати, що запропоновані конструкційні удосконалення кузова напіввагона не сприяють зменшенню його навантаженості у випадку переміщень контейнера під час експлуатаційних режимів.

Заходи щодо удосконалення вагона з метою можливості перевезень контейнерів на ньому запропоновано в публікації [7]. При цьому для їх кріплення використовуються типові фітингові упори, які приварюються до рами. В роботі наведено результати експериментальних досліджень міцності несучої конструкції вагона. Доведено доцільність запропонованої модернізації. Разом з цим, вона реалізована на вагоні-платформі, як найбільш поширеному типі вагону для перевезень контейнерів. Доцільно було б також розглянути її впровадження на інших типах вагонів.

Проведений аналіз публікацій свідчить про те, що питання адаптації кузовів напіввагонів до перевезень контейнерів з метою забезпечення схоронності як кузовів, так і контейнерів, є актуальними та потребують подальшого дослідження.

Мета та основні завдання статті. Метою дослідження є аналіз напруженого стану контейнера з урахуванням удосконаленої схеми закріплення в кузові напіввагона при маневровому співударянні. Для досягнення поставленої мети визначені такі завдання:

- визначити динамічну навантаженість контейнера, розміщеного в кузові напіввагона при маневровому співударянні;

- дослідити міцність контейнера.

Викладення основного матеріалу статті.

З метою зменшення повздовжніх навантажень, які діють на контейнер при перевезенні у напіввагоні пропонується удосконалення схеми їх взаємодії. При цьому є можливим використання в'язкого зв'язку між ними. Даний зв'язок може бути реалізовано між торцевими стінами кузова напіввагона та контейнера або між фітингами та фітинговими упорами.

Для обґрунтування такої схеми закріплення проведено математичне моделювання динамічної навантаженості напіввагона, завантаженого контейнерами. До уваги прийнято випадок повздовжньої навантаженості кузова напіввагона, силою 3,5 МН (маневрове співударяння). Розрахункову схему напіввагона, завантаженого контейнерами, наведено на рис. 1.

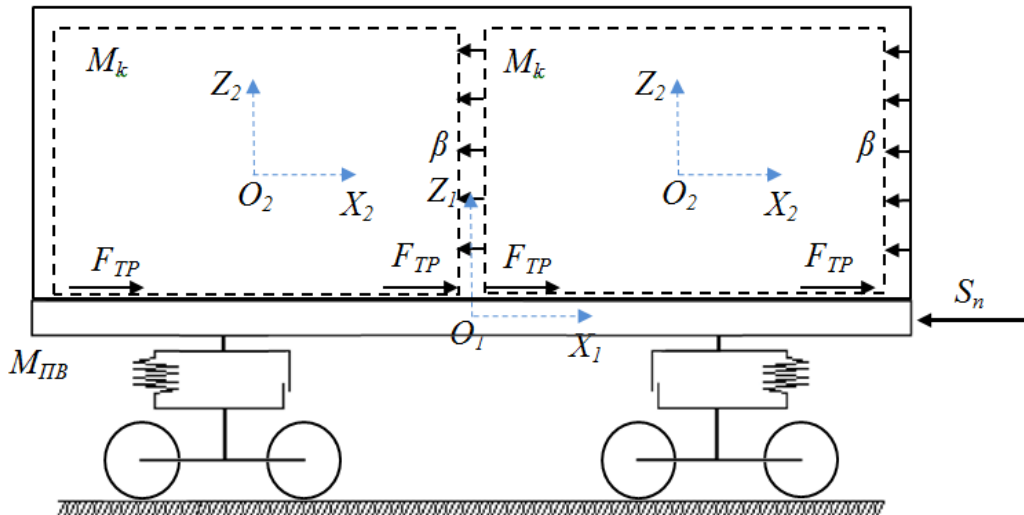


Рис. 1. Розрахункова схема напіввагона, завантаженого контейнерами

Враховано, що напіввагон завантажений двома контейнерами. Маса бруто кожного контейнера складає 24 т. При цьому контейнери завантажені умовним вантажем з використанням повної вантажопідйомності. Рух вантажу у контейнері до уваги не приймався. Удар напіввагона в автозчеп є абсолютно жорстким.

Тоді, з урахуванням зазначених припущень система диференціальних рівнянь руху кузова напіввагона, завантаженого контейнерами, має вигляд [8]:

$$\begin{cases} M_{ПВ}^{новн} \cdot \ddot{q}_1 = S_n - \sum_{i=1}^2 (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + \beta \cdot (\dot{q}_1 - \dot{q}_2)), \\ M_k \cdot \ddot{q}_2 = (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + \beta \cdot (\dot{q}_1 - \dot{q}_2)), \end{cases} \quad (1)$$

де $M_{ПВ}^{новн}$ – маса-бруто напіввагона; S_n – сила, що діє на автозчеп; F_{TP} – сила тертя між фітинговими упорами напіввагона та фітингами контейнерів; M_k – маса контейнера; β – коефіцієнт в'язкого зв'язку між кузовом та контейнером.

Для розв'язку даної системи диференціальних рівнянь другого порядку використано програмний комплекс MathCad, який реалізує метод покрокової ітерації Рунге – Кутта [9, 10]. При інтегруванні системи диференціальних рівнянь було завдано довільні початкові умови. У якості змінної інтегрування зазначено час. Крок інтегрування прийнято рівним 0,0001 с.

Коефіцієнт в'язкого зв'язку між кузовом та контейнером прийнято рівним 48 кН·с/м. Дана величина коефіцієнту в'язкого зв'язку визначена методом послідовного перебору.

Проведені розрахунки показали, що прискорення, які діють на контейнер при повздовжній навантаженості його конструкції складають

близько 30 м/с² (рис. 2) та є нижчими за ті, що діють при типовій схемі його взаємодії з вагоном на 17%.

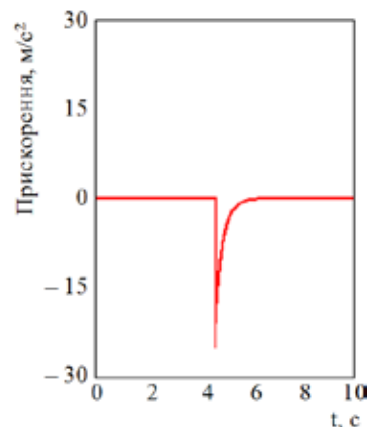


Рис. 2. Прискорення, які діють на контейнер

Отримані результати розрахунків враховано при визначенні міцності несучої конструкції контейнера. В якості прототипу обрано контейнер типорозміру 1СС. Створення просторової моделі здійснено в SolidWorks (рис. 3). Розрахунок на міцність проведено за методом скінчених елементів в SolidWorks Simulation [11, 12].

При складанні скінчено-елементної моделі застосовано ізопараметричні тетраедри. Їх чисельність визначено графоаналітичним розрахунком. Кількість вузлів сітки складала 41298, елементів – 127130. Максимальний розмір елементу моделі дорівнює 120 мм, а мінімальний – 24 мм. Мінімальна кількість елементів в колі складала 8, співвідношення збільшення розміру елементів у сітці – 1,6.

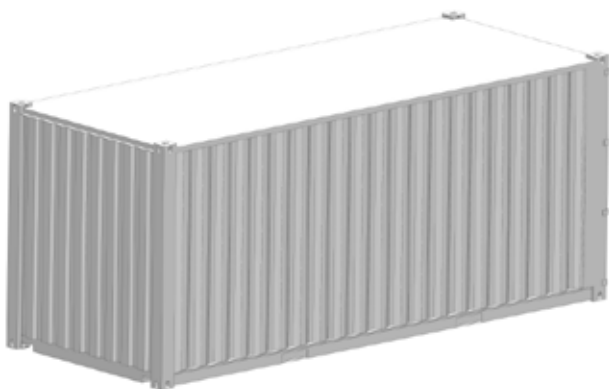


Рис. 3. Просторова модель контейнера

Матеріал конструкції контейнера – сталь марки 09Г2С, яка має межу міцності 490 МПа та межу плинності – 345 МПа [13]. Закріплення контейнера здійснювалось в зонах його спирання на фітингові упори, приварені до підлоги напіввагона.

Розрахункова схема враховує, що на підлогу контейнера діє вертикальне навантаження P_v від ваги вантажу, розміщеному у контейнері, сили тертя P_{mp} – на фітинги при їх переміщенні відносно фітингових упорів, а також повздовжня сила P_n , яка діє на торцеву стіну (рис. 4).

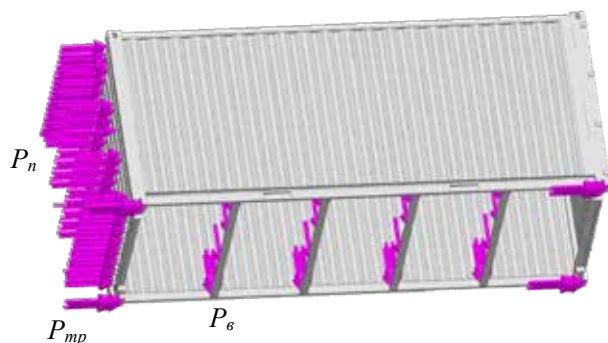


Рис. 4. Розрахункова схема контейнера

При складанні скінчено-елементної моделі застосовано ізопараметричні тетраедри. Їх чисельність визначено графоаналітичним розрахунком. Кількість вузлів сітки склала 41298, елементів – 127130. Максимальний розмір елементу моделі дорівнює 120 мм, а мінімальний – 24 мм. Мінімальна кількість елементів в колі склала 8, співвідношення збільшення розміру елементів у сітці – 1,6.

Матеріал конструкції контейнера – сталь марки 09Г2С, яка має межу міцності 490 МПа та межу плинності – 345 МПа [13]. Закріплення контейнера

здійснювалось в зонах його спирання на фітингові упори, приварені до підлоги напіввагона.

Розрахункова схема враховує, що на підлогу контейнера діє вертикальне навантаження P_v від ваги вантажу, розміщеному у контейнері, сили тертя P_{mp} – на фітинги при їх переміщенні відносно фітингових упорів, а також повздовжня сила P_n , яка діє на торцеву стіну (рис. 4).

Результати розрахунку показали, що максимальні напруження виникають в нижньому торцевому поясі контейнера і складають 653,1 МПа (рис. 5), що вище за допустимі [13–15].

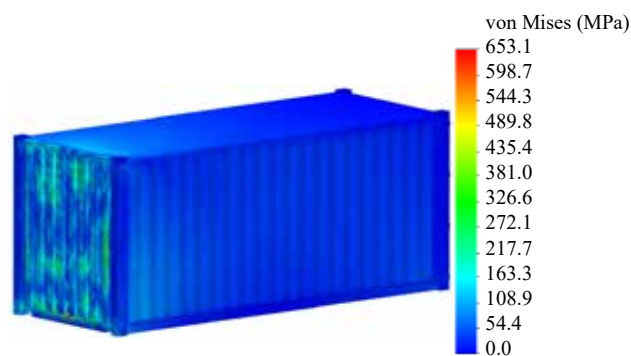


Рис. 5. Напружений стан контейнера

Тому закріплення контейнера за такою схемою не є допустимим.

Також в рамках дослідження розглянуто можливість впровадження в'язкого зв'язку у фітинги контейнера. Для цього проведено розрахунок на міцність його конструкції. Розрахункову схему контейнера наведено на рис. 6.

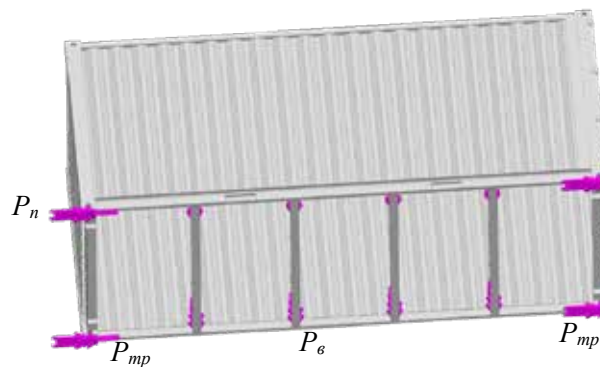


Рис. 6. Розрахункова схема контейнера

На підставі проведених розрахунків встановлено, що максимальні напруження виникають у фітингах контейнера (рис. 7) і складають близько 270 МПа. Отже міцність контейнера забезпечується [13–15].

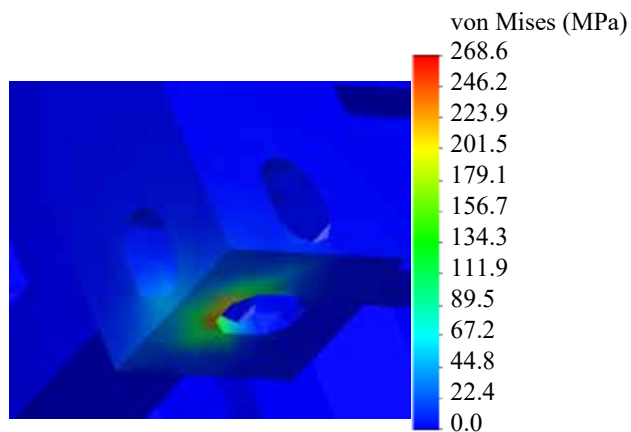


Рис. 7. Напружений стан фітинга контейнера

Подальшим напрямком даного дослідження є удосконалення конструкції фітинга контейнера з метою можливості використання в'язкого зв'язку у ньому.

Висновки.

1. Визначено динамічну навантаженість контейнера, розміщеного в кузові напіввагона при маневровому співударянні. Встановлено, що прискорення, які діють на контейнер при повздов-

жній навантаженості його конструкції складають близько 30 м/с². Отримана величина прискорення на 17% нижча за ту, що діє на контейнер з урахуванням типової схеми взаємодії з кузовом напіввагона.

2. Досліджено міцність контейнера, розміщеного в кузові напіввагона при маневровому співударянні. Встановлено, що при використанні демпфера між торцевими стінами напіввагона та контейнерами, максимальні напруження виникають в його нижньому торцевому поясі і складають 653,1 МПа. Дані напруження вище за допустимі. Тому закріплення контейнера з використанням такої схеми не є допустимим.

Також в рамках дослідження розглянуто можливість впровадження в'язкого зв'язку у фітинги контейнера. Результати проведених розрахунків показали, що максимальні напруження виникають у фітингах контейнера і складають близько 270 МПа. Тобто міцність контейнера забезпечується.

Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності контейнерних перевезень, а також експлуатації залізничного транспорту.

Список літератури:

1. Погрузочное устройство: пат. 2756738 Россия: МПК В65D 88/12 (2006.01), В65D 88/12 (2021.05). №2020132697; заявл. 27.06.2019; опубл. 04.10.2021, Бюл. 28. 9 с.
2. Sergii Panchenko, Juraj Gerlici, Glib Vatulia, Alyona Lovska, Mykhailo Pavliuchenkov, Kateryna Kravchenko. The Analysis of the Loading and the Strength of the FLAT RACK Removable Module with Viscoelastic Bonds in the Fittings // Applied Sciences. 2023. Vol. 13(1), 79. <https://doi.org/10.3390/app13010079>
3. Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Glib Vatulia, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko. Determination of the Loading of a Flat Rack Container during Operating Modes // Applied Science. 2021. Vol. 11. 7623. <https://doi.org/10.3390/app11167623>
4. Устройство для крепления контейнеров: пат. 177439 Россия: В61D 3/00 (2006.01). № 2017121303; заявл. 19.06.2017; опубл. 21.02.2018, Бюл. 6. 8 с.
5. Вагон для комбинированных перевозок. пат. 180512 Россия: МПК В61D 3/00 (2006.01), В60P 7/13 (2006.01), В61D 7/00 (2006.01). №2017120749; заявл. 13.06.2017; опубл. 14.06.2018, Бюл. 17. 2 с.
6. Грузовой вагон. пат. 196252 Россия: МПК В61D 3/20 (2006.01). №2019131422; заявл. 04.10.2019; опубл. 21.02.20, Бюл. 6. 11 с.
7. А. Г. Рейдемейстер, В. А. Калашник, А. А. Шикун. Модернизация как способ улучшения использования универсальных вагонов // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. 2016. № 2 (62). <https://doi.org/10.15802/stp2016/67334>
8. Ловська А. О. Визначення навантаженості контейнера, розміщеного на вагоні-платформі при пружно-в'язкій взаємодії фітингів з фітинговими упорами. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. 2019. Вип. 184. С. 6–19.
9. Сяев А. В. Вступ до системи MathCad: навчальний посібник. Дніпропетровськ. 2004. 108 с.
10. Богач І. В., Краковецький О. Ю., Килик Л. В. Чисельні методи розв'язання диференціальних рівнянь засобами MathCad: Навчальний посібник. Вінниця. 2020. 106 с.
11. Козяр М. М., Фещук Ю. В., Парфенюк О. В. Комп'ютерна графіка: SolidWorks: Навчальний посібник. Херсон. 2018. 252 с.
12. Пустюльга С. І., Самостян В. Р., Клак Ю. В. Інженерна графіка в SolidWorks: Навчальний посібник. Луцьк. 2018. 172 с.
13. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 250 с.
14. ДСТУ ISO 1496-1:2013. Вантажні контейнери серії 1. Технічні вимоги та методи випробовування. Частина 1. Контейнери загальної призначеності універсальні. Київ, 2014. 34 с.
15. ДСТУ ISO 8323:2015. Вантажні контейнери. Контейнери універсальні (інтермодальні) для повітряних і наземних перевезень. Технічні умови та методи випробувань. Київ, 2015.

Vatulia G.L., Gerlici Yu., Lovska A.O. RESEARCH OF THE STRESS STATE OF THE CONTAINER TAKING INTO ACCOUNT THE IMPROVED FASTENING SCHEME IN THE OPEN WAGON

The article presents the results of determining the container load when transporting it in an open wagon. In order to reduce the longitudinal loads acting on the container placed in the body of the open wagon, it is proposed to improve the scheme of their interaction. In this case, it is possible to use a viscous connection between them. This connection can be implemented between the end walls of the open wagon body and the container or between fittings and fitting stops.

To substantiate such a scheme of fastening, mathematical modeling of the dynamic loading of an open wagon loaded with containers was carried out. It is taken into account that the open wagon is loaded with two containers. To solve this system of second-order differential equations, the MathCad software package was used, which implements the Runge-Kutta stepwise iteration method. It has been established that the accelerations acting on the container under the longitudinal loading of its structure are 17% lower than those acting in the typical scheme of interaction with the wagon. The obtained results of the calculation are taken into account when determining the strength of the supporting structure of the container. For this, its spatial model was built in the SolidWorks software package. The strength calculation is made by the finite element method. The results of the calculation showed that the maximum stresses occur in the lower end zone of the container and exceed the allowable ones. Therefore, pinning the container according to this scheme is unacceptable. Also, within the framework of the study, the possibility of introducing a viscous bond into the container fitting was considered. Based on the calculations, it was found that the maximum stresses occur in the container fittings and amount to about 270 MPa. Therefore, the strength of the container is ensured.

The conducted studies will contribute to increasing the efficiency of container transportation, as well as the operation of railway transport.

Key words: *transport mechanics, container dynamic load, container strength, container fastening, container transportation.*