

УДК 629.424.2

А. Я. КУЗИШИН^{1*}, А. В. БАТІГ^{2*}^{1*} Львівський НДІ судових експертиз, вул. Липинського, 54, Львів, Україна, 79024, тел. +38 (032) 231 76 13, тел. +38 (032) 231 70 61, ел. пошта kuzyshyn1993@gmail.com, ORCID 0000-0002-3012-5395^{2*} Львівський НДІ судових експертиз, вул. Липинського, 54, Львів, Україна, 79024, тел. +38 (032) 231 76 13, ел. пошта batigasha1992@gmail.com, ORCID 0000-0003-1205-6004**ПОБУДОВА МЕХАНІЧНОЇ МОДЕЛІ ВАГОНА ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДА ДПКр-2 ТА ЇЇ ОСОБЛИВОСТІ**

Мета. На основі аналізу конструкції екіпажної частини вагона дизель-поїзда ДПКр-2 виробництва Крюківського вагонобудівного заводу в роботі передбачається побудувати його механічну модель, яка буде використана при дослідженні динамічних властивостей екіпажу, з максимальним відображенням особливостей конструкції та способів навантаження. **Методика.** Пневматична ресора механічної моделі вагона дизель-поїзда ДПКр-2, як основний елемент центрального ресорного підвішування, моделюється за допомогою вузла Кельвіна-Фойгта. Даний вузол включає в себе паралельно розташовані пружний та в'язкий елементи. Гідрравлічні гасники коливань, які використовуються як у центральному, так і в буксовому ресорному підвішуванні, моделювались як в'язкий елемент. При проведенні досліджень жорсткість пневматичної ресори, яка пов'язана зі зміною її ефективної площі при деформації, приймалась рівною нулю. **Результати.** У даній статті проведено аналіз конструкції екіпажної частини вагона дизель-поїзда ДПКр-2. Наведені механічні моделі його основних вузлів, а саме: у центральному ресорному підвішуванні – модель пневматичної ресори. Враховуючи особливості конструкції екіпажної частини вагона дизель-поїзда ДПКр-2, була розроблена його механічна модель, яка в подальшому використана при дослідженні динамічних властивостей екіпажів. **Наукова новизна.** Вперше для вагона дизель-поїзда ДПКр-2 розроблена механічна модель із урахуванням особливостей взаємодії окремих елементів його конструкції. Було запропоновано як пневматичну ресору використати вузол Кельвіна-Фойгта, що включає в себе паралельно розташовані пружний та в'язкий елементи. **Практична значимість.** На основі запропонованої механічної моделі буде складено систему звичайних диференціальних рівнянь руху екіпажної частини вагона дизель-поїзда ДПКр-2 (математична модель). Цю модель у подальшому планується використовувати при дослідженні динамічної взаємодії колісної пари екіпажної частини вагона дизель-поїзда з рейковою колією на прямих та кривих ділянках колії.

Ключові слова: дизель-поїзд; механічна модель; математична модель; пневматична ресора; ресорне підвішування

Вступ

Взаємодія колії та рухомого складу представляє собою одну з актуальних проблем залізничного транспорту, яка включає велике число практичних запитань. Задачі, які вирішуються при дослідженні взаємодії колії та рухомого складу, стосуються і такого важливого питання, як визначення умов безпечного руху поїздів.

Крюківським вагонобудівним заводом для забезпечення приміського пасажирського сполучення на ділянках залізниць із малими пасажиропотоками колії 1 520 мм України, країн СНД, Латвії, Литви й Естонії був побудований дизель-поїзд ДПКр-2 [2].

Для перевірки відповідності характеристик розробленого дизель-поїзда вимогам нормативної документації Укрзалізниці було проведено

декілька типів випробувань. Випробування щодо впливу на колію та стрілочні переводи проведені лабораторією у серпні 2014 року на магістральних коліях Придніпровської залізниці.

Метою даних випробувань була оцінка впливу дизель-поїзда ДПКр-2 на залізничну колію і стрілочні переводи та визначення допустимих швидкостей руху по залізничних коліях Державної адміністрації залізничного транспорту України шириною 1 520 мм [11].

За результатами випробувань були встановлені максимально допустимі швидкості руху дизель-поїзда ДПКр-2 по конструкціях залізничної колії шириною 1 520 мм.

Однак, теоретичних досліджень силової взаємодії дизель-поїзда ДПКр-2 з рейковою колією та методик теоретичного визначення основних показників динамічних якостей меха-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

нічної частини даного дизель-поїзда немає. У зв'язку з цим у даній роботі буде розроблятися механічна модель вагона дизель-поїзда з урахуванням основних особливостей конструкції екіпажної частини.

Мета

На основі аналізу конструкції екіпажної частини вагона дизель-поїзда ДПКр-2 виробництва Крюківського вагонобудівного заводу побудувати його механічну модель, яка буде використана при дослідженні динамічних властивостей екіпажу. При побудові механічної моделі максимально відобразити особливості конструкції та способи її навантаження.

Методика

На основі аналітичного методу був проведений аналіз конструкції екіпажної частини та побудована просторова кінематична схема вагона, яка буде використовуватися при складанні математичної моделі.

Визначаємо, що дизель-поїзд представляє собою самохідну транспортну одиницю постійного формування, яка складається з головних вагонів, з кабінами управління (на початку і в кінці поїзда) і проміжним вагоном, розташованим між ними (рис. 1).

Головні і проміжні вагони дизель-поїзда обладнані двома двовісними візками:

- а) приводний візок (рис. 2);
- б) неприводний візок (рис. 3).

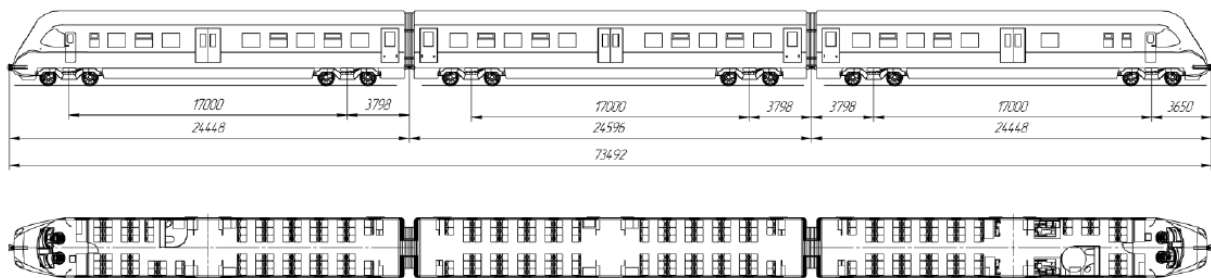


Рис. 1. Схема вагонів пасажирського дизель-поїзда ДПКр-2 для приміського сполучення

Fig. 1. Scheme of cars of passenger diesel-train DTKr-2 for suburban traffic

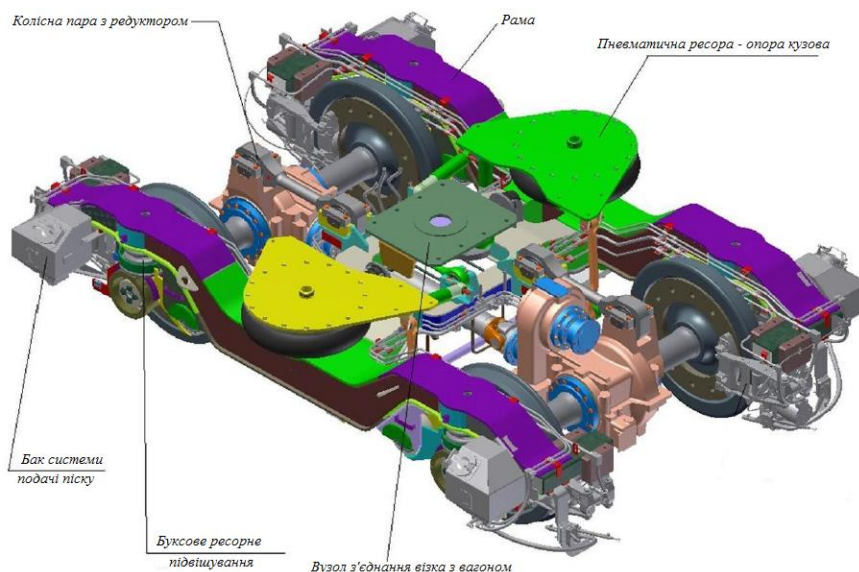


Рис. 2. Основні вузли приводного візка

Fig. 2. The main units of the geared bogie

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

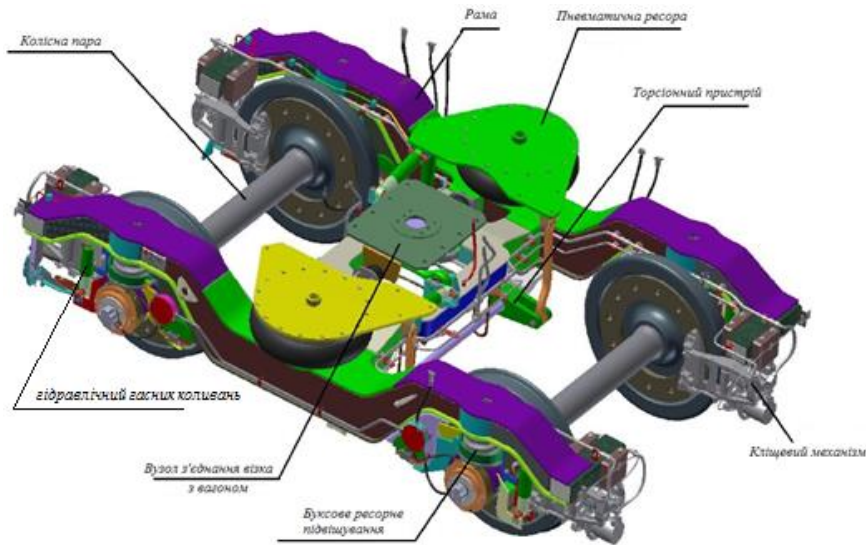


Рис. 3. Основні вузли неприводного візка

Fig. 3. The main units of non-geared bogie

Візки мають двоступеневе ресорне підвішування:

- первинне – з використанням циліндричних пружин;
- вторинне – з використанням пневматичних ресор.

Візки складаються з наступних елементів:

- осьових редукторів (тільки для приводних візків);
- колісних пар;
- рами;
- буксового (первинного) ресорного підвішування;
- центрального (вторинного) ресорного підвішування;

- гідравлічних гасників коливань;
- вузла з'єднання візка з кузовом вагона і передачі поздовжніх зусиль;
- елементів з'єднання буксових вузлів колісної пари з рамою візка;
- стабілізатора бокового коливання.

Буксове ресорне підвішування візка складається з комплекту з трьох пружин з послідовно розташованими еластичними елементами, а також гасників коливань (рис. 4). Центральне ресорне підвішування складається з двох пневматичних ресор, двох вертикальних та двох горизонтальних гасників коливань (рис. 5).

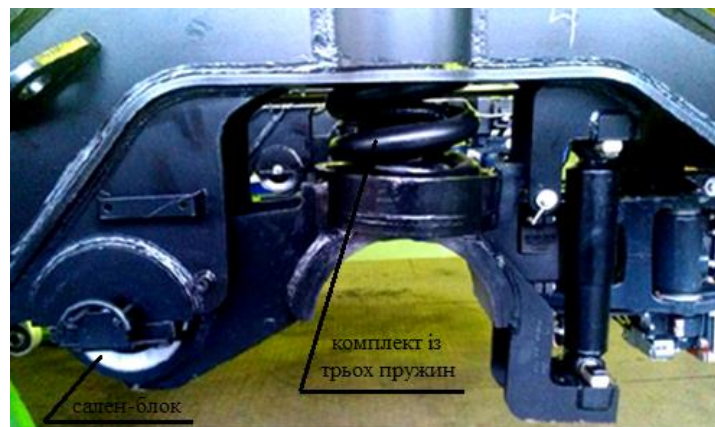


Рис. 4. Буксова ступінь ресорного підвішування

Fig. 4. Axle-box stage of spring suspension

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ



Рис. 5. Центральна ступінь ресорного підвішування

Fig. 5. Central stage of spring suspension

Пневматичні ресори конструктивно представляють собою резинокордну оболонку, яка заповнена в робочому стані стисненим повітрям з робочим тиском до 0,7 МПа. Вона складається з: кріпильних болтів ущільнювального кільця 1, зажиму плити ковзної 2, болтів ковзаючої плити 3, кріпильної плити 4, ущільнювального кільця 5, ковзної плити 6, подушки 7, нижньої плити 8, болтів нижньої плити 9, додаткової ресори 10 (рис. 6). Випробування рухомого складу з пневматичним ресорним підвішуванням показали, що незважаючи на практично однакові можливості гвинтових циліндричних пружин і пневматичних ресор у збільшенні статичного прогину, останні мають віброзахисні властивості і збільшують комфортність перевезення пасажирів [8, 13, 15]. Для зниження вертикальної жорсткості пневматичну ресору з'єднують з додатковим резервуаром, обсяг якого зазвичай більший основного обсягу пневматичної ресори [1, 6, 14]. Існує декілька типів систем пневматичних ресор [1, 7, 12, 16], (наприклад, пневматична ресора з одним або двома додатковими резервуарами), а їх динамічні властивості зручно описувати за механічною еквівалентною моделлю [4, 8, 9].

Проводячи аналіз конструкції екіпажної частини дизель-поїзда ДПКр-2, представимо еквівалентну механічну модель його пневматичної ресори (рис. 7), [10].

Дана модель є вузлом Кельвіна–Фойгта, який включає до себе паралельно розташований пружний елемент з жорсткістю J_{21} та елемент в'язкого тертя з в'язкістю β_{21} .

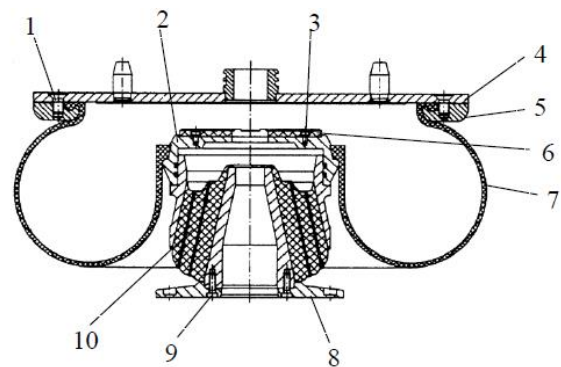


Рис. 6. Пневматична ресора

Fig. 6. Pneumatic springs

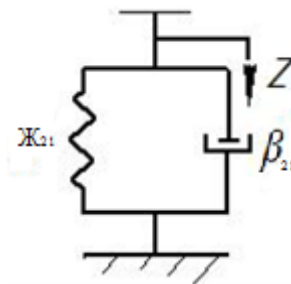


Рис. 7. Механічна модель пневматичної ресори

Fig. 7. Mechanical model of pneumatic spring

Пружина в буксовому ресорному підвішуванні буде моделюватися як лінійний пружний елемент. Гідравлічні гасники коливальних, які використовуються як у центральному, так і у буксовому ресорному підвішуванні, моделюються як в'язкий елемент [3, 5].

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Результати

На основі аналізу конструкції екіпажної частини дизель-поїзда ДПКр-2 та обраних механічних моделей його основних частин побудовано механічну модель вагона даного дизель-поїзда (рис. 8, 9, 10). При цьому приймалися наступні позначення: $z_k, y_k, x_k, \varphi_k, \psi_k, \theta_k$ – узагальнені координати кузова; $z_{bi}, y_{bi}, x_{bi}, \varphi_{bi}, \psi_{bi}, \theta_{bi}$ – узагальнені координати візків № 1, 2; $z_{kpi}, y_{kpi}, x_{kpi}, \varphi_{kpi}, \psi_{kpi}, \theta_{kpi}$ – узагальнені координати колісних пар № 1, 2, 3, 4; F_x, F_y – поздовжні та поперечні сили крипа в точці контакту колесо-рейка; β_2 – коефіцієнт затухання вертикального гідравлічного гасника коливань у центральному ресорному підвішванні; \mathcal{J}_{21} – еквівалентна жорсткість пневматичної ресори; β_{21} – еквівалентний коефіцієнт затухання, який визначається перетіканням повітря через дросель; \mathcal{J}_1 – жорсткість пружин

буксового ресорного підвішвання; β_1 – коефіцієнт затухання вертикального гідравлічного гасника коливань при буксовій ступені ресорного підвішвання; $\mathcal{J}_{\text{сал. блок}}$ – жорсткість гумового елемента сален-блоку; β_n – коефіцієнт затухання в колії; \mathcal{J}_n – жорсткість колії; $\mathcal{J}_{2\text{ поп}} = \mathcal{J}_{2\text{ поз}}$ – горизонтальна жорсткість пневматичної ресори у поперечному та поздовжньому напрямку відповідно; $\beta_{2\text{ поп}}$ – коефіцієнт затухання горизонтального гідравлічного гасника коливань в центральному ресорному підвішванні; $\mathcal{J}_{\text{поп}}$ – поперечна жорсткість пружин буксового ступеня ресорного підвішвання; $\mathcal{J}_{\text{тор}}$ – жорсткість торсійного пристрою.

Слід зазначити, що механічна модель є просторова, яка враховує сили взаємодії між колесом та рейкою, а саме, поперечні та поздовжні сили крипа.

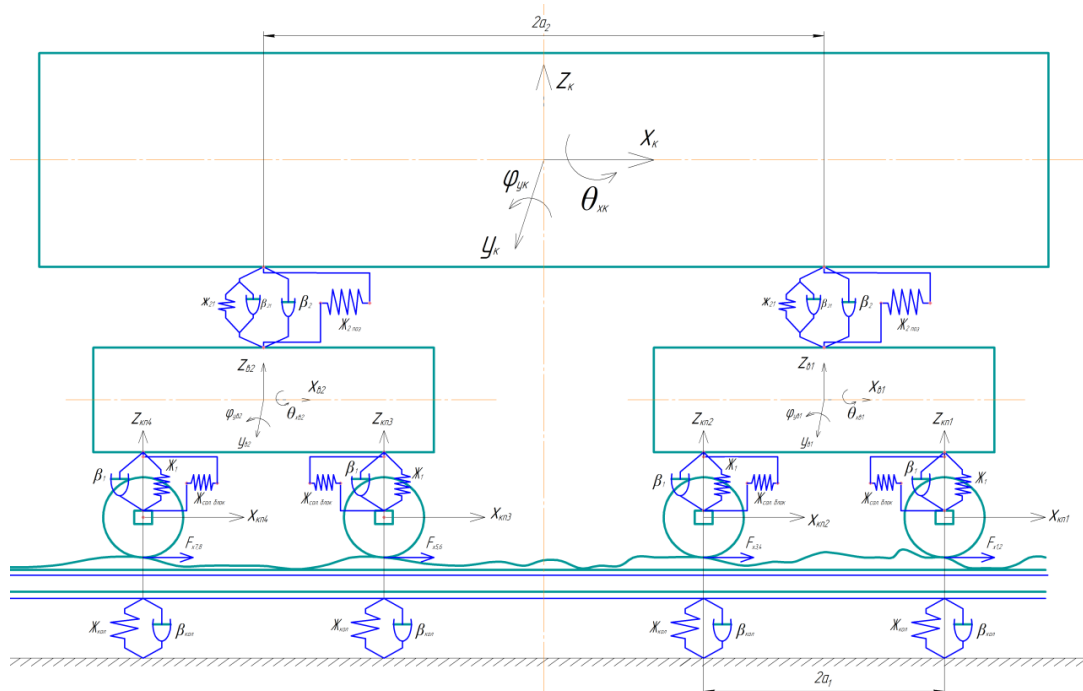


Рис. 8. Механічна модель вагона дизель-поїзда ДПКр-2 в площині ZX

Fig. 8. Mechanical model of the diesel-train DTKr-2 car in the plane ZX

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

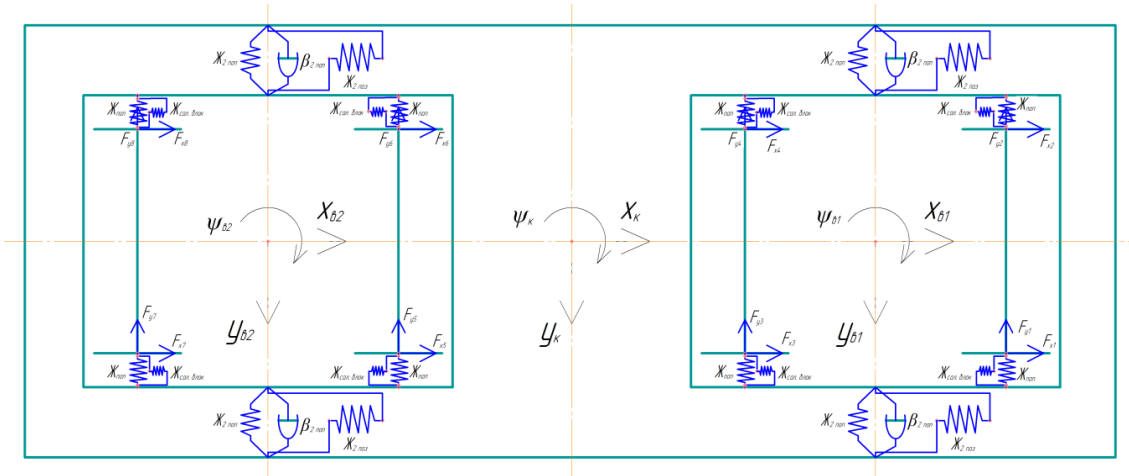


Рис. 9. Механічна модель вагона дизель-поїзда ДПКр-2 в площині YX

Fig. 9. Mechanical model of the diesel-train DTKr-2 car in the plane YX

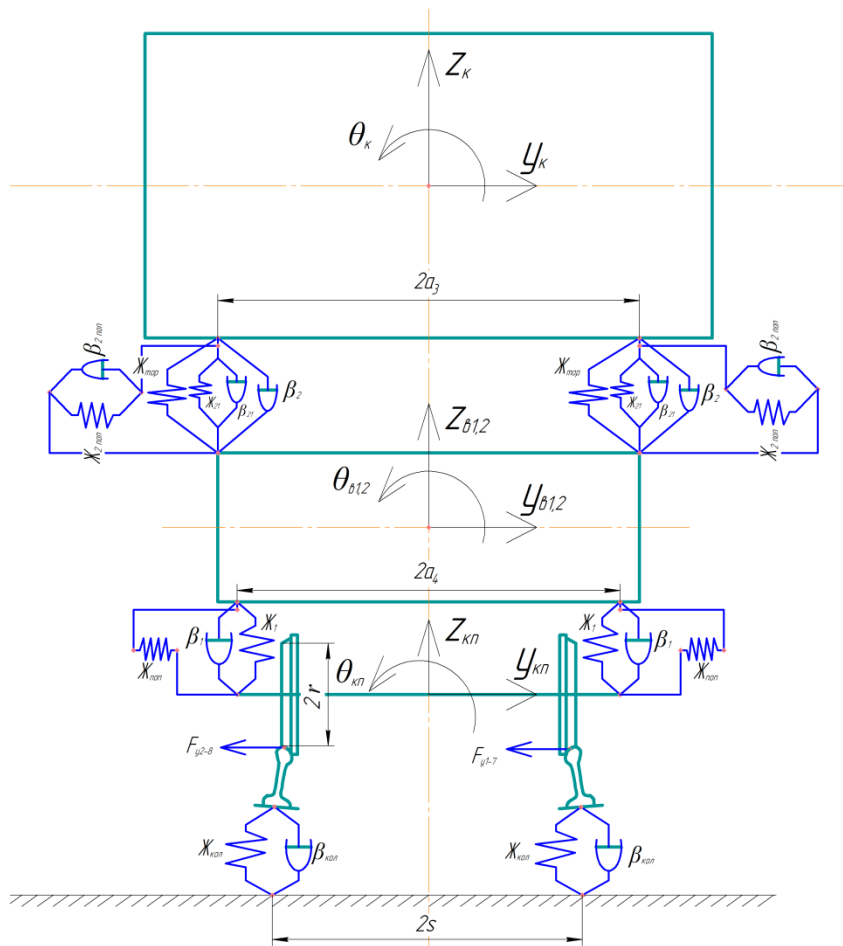


Рис. 10. Механічна модель вагона дизель-поїзда ДПКр-2 в площині ZY

Fig. 10. Mechanical model of the diesel-train DTKr-2 car in the plane ZY

Наукова новизна та практична значимість

Вперше для вагона дизель-поїзда ДПКр-2 була розроблена його механічна модель з урахуванням особливостей взаємодії окремих елементів його конструкції. Було запропоновано за пневматичні ресори використати вузол Кельвіна–Фойгта, який включає до себе паралельно розташовані пружний та в'язкий елементи.

На основі запропонованої механічної моделі буде складено систему звичайних диференціальних рівнянь руху екіпажної частини вагона дизель-поїзда ДПКр-2 (математична модель). Цю модель у подальшому планується використовувати при дослідженні динамічної взаємодії колісної пари екіпажної частини вагона дизель-поїзда з рейковою колією у прямих та кривих ділянках колії.

Висновки

1. Проведено аналіз конструкції екіпажної частини вагона дизель-поїзда ДПКр-2.

2. Наведено механічну модель пневматичної ресори, яка буде використовуватися при складанні математичної моделі.

3. З урахуванням особливостей взаємодії окремих елементів конструкції та поставлених задач для подальших досліджень була побудована механічна модель вагона дизель-поїзда ДПКр-2.

4. Напрямок подальших досліджень є створення математичної моделі, яка буде використана при дослідженні динамічної взаємодії дизель-поїзда з рейковою колією на прямих та кривих ділянках колії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горобец, В. Л. Улучшение динамических характеристик тягового подвижного состава с использованием управления гашением энергии колебаний / В. Л. Горобец, Н. П. Снитко, А. Д. Лашко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 36. – С. 7–15.
2. Дизель-поезд пассажирский ДПКр-2 : руководство по эксплуатации ДПКр-2.000.000 РЭ. Ч. 1. – [Б. м.], 2014. – 563 с.
3. Динамика локомотивов : учеб. пособие / М. А. Ибрагимов, В. И. Киселев, В. А. Рамлов, А. В. Скалин. – Москва : РГОТУПС, 2005. – 128 с.
4. Кузнецов, А. В. Колебания железнодорожного экипажа на пневмоподвешивании с учетом собственного демпфирования пневморессор / А. В. Кузнецов, Б. С. Завт // Тр. ВНИИВ. – Москва, 1973. – Вып. 22. – С. 18.
5. Мазнев, А. С. Конструкции и динамика электрического подвижного состава : монография / А. С. Мазнев, А. М. Евстафьев. – Москва : ФГБОУ «Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп.», 2013. – 248 с.
6. Макаренко, Ю. В. Результаты исследования системы пневматического рессорного подвешивания транспортного средства с микропроцессорным направлением / Ю. В. Макаренко, В. Н. Балев, В. Г. Маслиев // Вестн. нац. техн. ун-та «ХПИ». Серия: Информатика и моделирование : сб. науч. тр. – Харьков, 2001. – № 18. – С. 70–83.
7. Мелихов, А. Н. Эффективная система демпфирования пневморессоры скоростного подвижного состава : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / Мелихов Александр Николаевич ; Моск. гос. ун-т путей сообщ. – Москва, 1994. – 22 с.
8. Механическая часть тягового подвижного состава : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / И. Б. Бирюков, А. Н. Савойский, Г. П. Бурчак [и др.] ; под ред. И. В. Бирюкова. – Москва : Транспорт, 1992. – 440 с.
9. Наотэру, О. Особенности колебаний и проектирование пневморессор подвешивания железнодорожных экипажей / О. Наотэру, Н. Сэйити // Нихон кикай гаккай ромбунсю. Trans. Jap. Soc. Mech. Eng. A. – 1969. – No. 273. – С. 35.
10. Рейдемейстер, А. Г. Зависимость свойств пневматической рессоры от пневматического сопротивления дросселя / А. Г. Рейдемейстер, А. В. Кивишева // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 2 (62). – С. 157–164. doi: 10.15802/stp2016/67339.
11. Савлук, В. Історія, досягнення та перспективи колієвипробувальної галузевої науково-дослідної лабораторії ДНУЗТ / В. Савлук // Укр. залізниця. – 2014. – № 10. – С. 50–55.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

12. Создание отечественных пассажирских вагонов на тележках с пневматическим подвешиванием / И. В. Приходько, В. Н. Дузик, С. В. Лутонин [и др.] // Развитие науч. школы трансп. механики : тез. междунар. науч.-техн. конф. (5.12.2013 г.) / Мин-во образования и науки Украины ; Днепрпетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепрпетровск, 2013. – С. 40–45.
13. Iwnicki, S. Handbook of Railway Vehicle Dynamics / S. Iwnicki. – New York : Taylor & Francis Group, 2006. – 527 p. doi: 10.1201/9781420004892.
14. Koshelev, K. B. Modeling of the three-dimensional flow of polymer melt in a convergent channel of rectangular cross-section / K. B. Koshelev, G. V. Pyshnograï, M. Yu. Tolstykh // Fluid Dynamics. – 2015. – Vol. 50. – Iss. 3. – P. 315–321. doi: 10.1134/s0015462815030011.
15. Leichtbau bei Schienfahrzeugen – Bastandsaufnahme und Potenziale // Elek. Bahnen. – 2013. – No. 1. – P. 8–12.
16. Presthrus, M. Derevation of air spring model parameters for train simulation [Електронний ресурс] : Master of Science program / M. Presthrus. – Sweden : Luleå University of Technology, 2002. – 75 p. – Режим доступу: <http://publ.ltu.se/1402-1617/2002/059/LTU-EX-02059-SE.pdf>. – Назва з екрана. – Перевірено : 10.12.2015.

А. Я. КУЗЫШИН^{1*}, А. В. БАТИГ^{2*}

^{1*} Львовский НИИ судебных экспертиз, ул. Липинского, 54, Львов, Украина, 79024, тел. +38 (032) 231 76 13, тел. +38 (032) 231 70 61, эл. почта kuzyshyn1993@gmail.com, ORCID 0000-0002-3012-5395

^{2*} Львовский НИИ судебных экспертиз, ул. Липинского, 54, Львов, Украина, 79024, тел. +38 (032) 231 76 13, эл. почта batigasha1992@gmail.com, ORCID 0000-0003-1205-6004

ПОСТРОЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВАГОНА ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА ДПКр-2 И ЕЕ ОСОБЕННОСТИ

Цель. На основе анализа конструкции экипажной части вагона дизель-поезда ДПКр-2 производства Крюковского вагоностроительного завода в работе предполагается построить его механическую модель, которая будет использована при исследовании динамических свойств экипажа, с максимальным отображением особенностей конструкции и способов нагрузки. **Методика.** Пневматическая рессора механической модели вагона дизель-поезда ДПКр-2, как основной элемент центрального рессорного подвешивания, моделируется с помощью узла Кельвина-Фойгта. Данный узел включает в себя параллельно расположенные упругий и вязкий элементы. Гидравлические гасители колебаний, которые используются как в центральном, так и в буксовом рессорном подвешивании, моделировались как вязкий элемент. При проведении исследований жесткость пневматической рессоры, которая связана с изменением ее эффективной площади при деформации, принималась равной нулю. **Результаты.** В данной статье проведен анализ конструкции экипажной части вагона дизель-поезда ДПКр-2. Приведены математические модели его основных узлов, а именно: в центральном рессорном подвешивании – модель пневматической рессоры. Учитывая особенности конструкции экипажной части вагона дизель-поезда ДПКр-2, была разработана его механическая модель, которая в дальнейшем используется при исследовании динамических свойств экипажей. **Научная новизна.** Впервые для вагона дизель-поезда ДПКр-2 разработана механическая модель с учетом особенностей взаимодействия отдельных элементов конструкции. Было предложено как пневматическую рессору использовать узел Кельвина-Фойгта, который включает в себя параллельно расположенные упругий и вязкий элементы. **Практическая значимость.** На основе предложенной механической модели будет составлена система обыкновенных дифференциальных уравнений движения экипажной части вагона дизель-поезда ДПКр-2 (математическая модель). Эту модель в дальнейшем планируется использовать при исследовании динамического взаимодействия колесной пары экипажной части вагона дизель-поезда с рельсовым путем на прямых и кривых участках пути.

Ключевые слова: дизель-поезд; механическая модель; математическая модель; пневматическая рессора; рессорное подвешивание

A. Y. KUZYSHYN^{1*}, A. V. BATIG^{2*}

^{1*}Lviv Research Institute of Forensic Examination, Lypynskyi St., 54, Lviv, Ukraine, 79024, tel.+38 (032) 231 76 13, 38 (032) 231 70 61, e-mail kuzyshyn1993@gmail.com, ORCID0000-0002-3012-5395

^{2*}Lviv Research Institute of Forensic Examination, Lypynskyi St., 54, Lviv, Ukraine, 79024, tel. + 38 (032) 232 70 61, e-mail batigasha1992@gmail.com, ORCID 0000-0003-1205-6004

CONSTRUCTION OF MECHANICAL MODEL OF THE DIESEL-TRAIN DTKr-2 CAR AND ITS FEATURES

Purpose. The article is aimed to construct the mechanical model of the diesel train DTKr-2 of the Kryukivsk Railway Car Building Works based on the analysis of undercarriage construction. This model will be used in the study of dynamic properties of the vehicle. When constructing the model the design features and its loading methods should be displayed as much as possible. **Methodology.** When constructing the mechanical model of the diesel train DTKr-2 car, the pneumatic spring, which is the main element of the central spring suspension, was modeled using Kelvin-Voigt node. This node includes elastic and viscous element. Hydraulic shock absorbers that are used both in the central and axle-box spring suspension were modeled as a viscous element. During research, the rigidity of the pneumatic spring, which is associated with the change in its effective area under deformation, was assumed to be zero. **Findings.** This article analyzed the design of car undercarriage of the diesel train DTKr-2. The mathematical models of its main units were presented, namely, in the central spring suspension – the model of pneumatic spring. Taking into account the peculiarities of design of the diesel train DTKr-2 undercarriage it was developed its mechanical model, which will be used in the future when studying dynamic properties. **Originality.** For the first time for the diesel train DTKr-2 car it was developed its mechanical model taking into account the features of the interaction of individual elements of its design. It has been proposed as a pneumatic spring to use the Kelvin-Voigt node, which includes parallel arranged elastic and viscous elements. **Practical value.** On the basis of the proposed mechanical model, a system of ordinary differential equations of car undercarriage movement of the diesel train DTKr-2 (mathematical model) will be compiled. This model is further planned to be used when studying dynamic interaction of the diesel train car undercarriage wheel set with a track in the straight and curved track sections.

Keywords: diesel train; mechanical model; mathematical model; pneumatic spring; spring suspension

REFERENCES

- Horobets, V. L., Snitko, N. P., & Lashko, A. D. (2011). The diagnostic specifications improvement for rolling stock's traction with using of damping control of vibrational energy. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 36, 7-15. (in Russian)
- Dizel-poyezd passazhirskiy DPKr-2: rukovodstvo po ekspluatatsii, DPKr-2.000.000 RE (2014). (in Russian)
- Ibragimov, M. A., Kiselev, V. I., Ramlov, V. A., & Skalin, A. V. (2005). *Dinamika lokomotivov* [tutorial]. Moscow: RGOTUPS. (in Russian)
- Kuznetsov, A. V., & Zavt, B. S. (1973). Kolebaniya zheleznodorozhnogo ekipazha na pnevmopodveshivaniy s uchetom sobstvennogo dempfirovaniya pnevmoressor. *Trudy VNIIV*, 22, 18. (in Russian)
- Maznev, A. S., & Yevstafev, A. M. (2013). *Konstruksii i dinamika elektricheskogo podvizhnogo sostava* [Monograph]. Moscow: FGBOU «Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte». (in Russian)
- Makarenko, Y. V., Balev, V. N., & Masliev, V. G. (2001). Rezultaty issledovaniya sistemy pnevmaticheskogo ressonnogo podveshivaniya transportnogo sredstva s mikroprotsessornym napravleniyem. *Vestnik natsionalnogo tekhnicheskogo universitetata «KhPI»*, 18, 70-83. (in Russian)
- Melikhov, A. N. (1994). *Effektivnaya sistema dempfirovaniya pnevmoressory skorostnogo podvizhnogo sostava*. (PhD thesis). Available from MIIT, Moscow. (in Russian)
- Biryukov, I. B. (Ed.) (1992). *Mekhanicheskaya chast tyagovogo podvizhnogo sostava*. Moscow: Transport. (in Russian)
- Naoteru, O., & Seyiti, N. (1969). Osobennosti kolebaniy i proyektirovaniye pnevmoressor podveshivaniya zheleznodorozhnykh ekipazhey. *Nihon Kikai Gakkai Rombunshyu* (Jap. Soc. Mech. Eng. A. Trans.), 273, 35. (in Russian)
- Reidemeister, O. H., & Kivisheva, A. V. (2016). Dependence of air spring parameters on throttle resistance. *Science and Transport Progress*, 2 (62), 157-164. doi: 10.15802/stp2016/67339. (in Russian)

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

11. Savluk, V. (2014). Istoriiia, dosiahnennia ta perspektyvy koliaevyprobuvanoi haluzevoi naukovo-doslidnoi laboratorii DNUZT. *Ukrainian Railways*, 10(16), 50-55. (in Ukrainian)
12. Prikhodko, I. V., Duzik, V. N., Lutonin, S. V., Shkabrov, O. A., Myamlin, S. V., & Zhizhko, V. V. (2013). Sozdaniye otechestvennykh passazhirskikh vagonov na telezhkakh s pnevmaticheskim podveshivaniyem. *Abstracts of the International Scientific & Practical Conference «Scientific School Development of Transport Mechanics»*, Dnepropetrovsk, 40-45. (in Russian)
13. Iwnicki, S. (2006). *Handbook of Railway Vehicle Dynamics*. New York: Taylor & Francis Group. doi: 10.1201/9781420004892. (in English)
14. Koshelev, K. B., Pyshnograï, G. V., & Tolstykh, M. Y. (2015). Modeling of the three-dimensional flow of polymer melt in a convergent channel of rectangular cross-section. *Fluid Dynamics*, 50(3), 315-321. doi: 10.1134/s0015462815030011. (in English)
15. Leichtbau bei Schienfahrzeugen – Bastandsaufnahme und Potenziale. (2013). *Elektrische Bahnen*, 1, 8-12. (in German)
16. Presthrus, M. (2002). *Derevation of air spring model parameters for train simulation: Master of Science program*. Retrieved from <http://epubl.ltu.se/1402-1617/2002/059/LTU-EX-02059-SE.pdf>. (in English)

Стаття рекомендована до публікації к.т.н., доц. О. Г. Рейдемейстером (Україна); д.т.н. М. О. Кузіним (Україна)

Надійшла до редколегії: 07.08.2017

Прийнята до друку: 24.11.2017