

УДК 625.282

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЙ РЕСОРНОЇ ПІДВІСКИ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

Д-р техн. наук В.Г. Маслієв, магістрант С.О. Кравченко, бакалавр А.О. Маслієв

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИЙ РЕССОРНОГО
ПОДВЕШИВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Д-р техн. наук В.Г. Маслиев, магистрант С.А. Кравченко, бакалавр А.О. Маслиев

OUTLOOK CONSTRUCTION SPRING SUSPENSION VEHICLES

Doct. of techn. sciences V.Masliev, master student C. Kravtsenko, bachelor A. Masliev

Проведено дослідження перспективи розвитку конструкції ресорної підвіски транспортних засобів. Установлено, що на швидкісних поїздах, де вимоги до плавності руху значно вищі, ніж на пасажирських вагонах, застосовується двоступенева ресорна підвіска зі статичним прогином від 0,3 до 0,5 м, що досягається завдяки використанню пневматичних ресор, де пружним елементом є стиснене повітря.

Ключові слова: транспортний засіб, ресорна підвіска, плавність руху, статичний прогин, пневматична ресора, стиснене повітря.

Проведено исследование перспективы развития конструкции рессорной подвески транспортных средств. Установлено, что на скоростных поездах, где требования к плавности движения значительно выше, чем на пассажирских вагонах, применяется двухступенчатая рессорная подвеска со статическим прогибом от 0,3 до 0,5 м, что достигается благодаря использованию пневматических рессор, где упругим элементом является сжатый воздух.

Ключевые слова: транспортное средство, рессорная подвеска, плавность движения, статический прогиб, пневматическая рессора, сжатый воздух.

A study of the prospects for the development of construction spring suspension vehicles. It was found that high-speed trains, where the requirements for smoothness of motion is significantly higher than in passenger cars, used a two-stage spring suspension with static deflection of 0.3 to 0.5 m, which is achieved through the use of air springs, where an elastic member is compressed air.

Keywords: vehicle spring suspension, smoothness of motion, static deflection, air spring, compressed air.

Вступ. Залізничний транспорт забезпечує більш ніж 70 % загального обсягу вантажообігу, а отже, посідає вирішальне місце в транспортній системі України.

Проте залізнична галузь останнім часом демонструє негативну динаміку розвитку обсягів перевезень. У 2014 році без урахування території Автономної Республіки Крим і міста Севастополь, падіння обсягів перевезень вантажів становить 8 % порівняно з 2013 роком. Це значною мірою обумовлено бойовими діями на Сході країни. Через руйнування залізничної інфраструктури залишається відсутнім рух поїздів на основних напрямках Донецької залізниці, паралізовано роботу ряду залізничних вузлів, немає можливості відправляти вагони більш ніж з 50 основних вантажних станцій. Як наслідок, середнє щоденне навантаження залізниць суттєво зменшилося.

У результаті спостерігається зниження доходів Укрзалізниці, оскільки майже 90 % усіх доходів вона отримує саме від транспортування вантажів.

На доходах позначилось падіння транзитних перевезень, рентабельність яких у 2-2,5 рази вища порівняно з внутрішніми перевезеннями [1].

Це також значною мірою обумовлено зростанням конкуренції на транспортних перевезеннях, перш за все з боку автомобільного транспорту, який останнім часом зазнав суттєвої модернізації завдяки його переоснащенню сучасними великовантажними автомобілями, які зазвичай обладнано пневматичною рессорною підвіскою, та автобусами із такою ж підвіскою. При поїздках у таких комфортабельних автобусах пасажирів почувають себе значно краще, ніж у застарілих пасажирських вагонах, і до того ж швидкість їх вища за пасажирські поїзди.

Отже, для підвищення конкурентоспроможності залізничного

транспорту виникає негайна потреба у його модернізації та переоснащенні сучасним рухомим складом, який відповідає світовому рівню, зокрема за комфортом для пасажирів та швидкістю руху.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. У рамках реалізації Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки та Транспортної стратегії України до 2020 року Укрзалізницею проведена значна робота щодо реконструкції, капітального та інших видів ремонту залізничної техніки. Упродовж 2014-2015 років залізничний парк поповнено значною кількістю нових вагонів вітчизняного виробництва. Це свідчить про те, що покращення інфраструктури за рахунок оснащення її новітніми технічними засобами актуальне і відповідає вимогам сучасності.

Проведені дослідження в галузі динаміки рухомого складу залізниць та відомий досвід закордонних залізниць дають змогу на часі розробити пропозиції щодо підвищення рівня конкурентоспроможності вітчизняних залізниць за рахунок упровадження ефективних технічних рішень, спрямованих на підвищення привабливості поїздок у залізничних вагонах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На пасажирських вагонах застосовується двоступенева рессорна підвіска зі статичним прогином від 0,1 до 0,2 м, а на швидкісному транспорті, де вимоги до плавності руху значно вищі, застосовується також двоступенева рессорна підвіска, але зі статичним прогином від 0,3 до 0,5 м [2-4].

Це дає змогу суттєво поліпшити плавність руху вагонів та комфорт для пасажирів завдяки зменшенню основної гармонічної складової частоти коливань до 1 Гц, яка сприятлива для пасажирів,

зменшенню амплітуд коливань, шуму та вібрацій від взаємодії коліс із рейками.

Створення ресорної підвіски з таким великим статичним прогином потребує новітніх технічних рішень, оскільки відомі ресори, що створюють із використанням здебільшого металевих гвинтових пружин, мають значні габарити та металомісткість. Технологія виготовлення таких пружин складна, зокрема щодо забезпечення належної якості обробки їх поверхні з метою усунення концентраторів напружень. Невід'ємною складовою таких ресор є гідравлічні гасники коливань, які встановлюють паралельно до металевих ресор для розсіювання енергії коливань. Це ускладнює, здорожує та зменшує надійність транспортних засобів [5-7] та ін.

Характер коливань елементів вагонів при русі визначається будовою та станом рейкової колії, який суттєво змінюється під впливом навколишнього середовища та при русі поїздів, тобто змінює свої характеристики жорсткості та демпфірування – властивості, які забезпечують гасіння коливань на ній коліс. Крім того, рейки втрачають початкову геометрію: прямолінійну форму на прямих та кругову форму на кривих ділянках колії. На поверхні головок рейок та на їхніх бічних гранях спостерігаються так звані геометричні нерівності, які виникають унаслідок взаємодії із ними коліс локомотивів, а також силові нерівності, що обумовлені осіданням шпал на баластному шарі. На поверхнях кочення коліс також зустрічаються певні нерівності.

Усе це викликає «збурення» руху колісних пар, тобто перетворює їх прямолінійний рух на такий, що складається із сукупності близьких за формою до гармонічних складових коливань, які частково фільтруються ресорами, а частково передаються через них до кузова у вигляді силових поштовхів та вібрацій, що негативно впливають на стан пасажирів і погіршують їх комфорт [6].

Ресори – це пружно-дисипативні зв'язки кузова з колісними парами, що забезпечують плавний рух вагона за наявності нерівностей на рейках.

Можливості металевих ресор і гідравлічних гасників коливань на цей час можна вважати вичерпаними.

Як альтернатива їм використовуються пневматичні ресори, де пружним елементом є стиснене повітря.

Такими ресорами обладнано швидкісні електропоїзди ЕР200 з конструктивною швидкістю 200 км/год, тепловози 2ТЕ10Л, 2ТЕ116, ТЕМ2 та ін., вагони метро, багато серій локомотивів, пасажирських і навіть вантажних вагонів на залізницях у Японії та інших розвинених країнах.

Вітчизняний тепловоз ТЕ7, який першим було обладнано пневматичними ресорами, із поїздом розвивав швидкість руху 140 км/год, а плавність руху у нього оцінювалась приладами та бригадами машиністів як краща, ніж у обладнаних металевими ресорами пасажирських вагонів, які були у поїзді, що він тягнув [6, 8].

Високу ефективність пневматичної ресорної підвіски довели випробування та експлуатація електропоїздів ЕР 22 і ЕР 200. Було виявлено важливу перевагу пневматичної ресорної підвіски – здатність фільтрувати високочастотні вібрації та шум, що утворюються від контактів коліс з колійною структурою до кузова [6].

Дослідженнями у сферах теорії та практики використання пневматичних ресор займалися такі відомі вчені та фахівці: Акоюн Р.А., Куценко С.М., Закорецький В.А., Савушкін С.С., Лобачов М.А., Григорьев М.І., Євстратов А.С., Рубан А.М., Маслів В.Г., Єлбаєв Е.П., Кудрявцев М.М., Кузнецов А.В., Певзнер Я.М., Дмитрієв Є.М., Філіпов В.В. та багато інших. Останніми роками є відповідні напрацювання наукової школи проф. Мямліна С.В. та інших учених.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою роботи є дослідження перспектив розвитку конструкції ресорної підвіски транспортних засобів і розроблення пропозицій щодо доцільності широкого впровадження пневматичної ресорної підвіски на пасажирських вагонах на основі використання досягнень науковців, фахівців та виробників сучасного рухомого складу, який відповідає світовим стандартам.

Завдання дослідження полягають у проведенні аналізу динамічних якостей транспортних засобів, які обладнано пневматичними ресорами, що дасть змогу науково обґрунтувати широке використання їх на пасажирських вагонах з метою підвищення конкурентоспроможності залізничних перевезень.

Основна частина дослідження.

Незважаючи на позитивний досвід щодо застосування пневморесор на транспорті, все ще існує певне несприйняття їх окремими вітчизняними фахівцями та виробниками, яке виправдовується тезами: ускладнення конструкції та технології виробництва й експлуатації транспортного засобу, а також необхідність облаштування на транспортному засобі місць для установа додаткових повітряних резервуарів значного об'єму та габаритів, що сполучаються із пневморесорою, для забезпечення необхідної жорсткості та демпфірування ресорної підвіски.

Ці тези не мають достатнього підґрунтя, що доводить досвід закордонних фірм, які випускають у великій кількості транспортні засоби на пневморесорах, та значний досвід вітчизняних науковців та фахівців, які науково обґрунтували, дослідили та впровадили

пневматичну ресорну підвіску на тепловозах та вагонах [6, 8]. До речі, демпфірування коливань на згаданих тепловозах відтворювалося винятково системою пневматичні ресорні підвіски.

Розглянемо конструкцію ресорної підвіски візків сучасних швидкісних поїздів, які курсують зараз на закордонних залізницях [9].

Поїзди JR Central серій 300, 500 та 700 мають конструктивну швидкість до 285 км/год. Вони обладнані візками, які не мають шворневих балок (рис. 1). Дві пневматичні ресори встановлено у другому (центральному) ступені ресорної підвіски і їх висота регулюється комп'ютерною системою.

Для погашення коливань паралельно до пневморесор між кузовом та рамою візків встановлено гідравлічні гасники коливань. Пневморесори мають нелінійну характеристику.

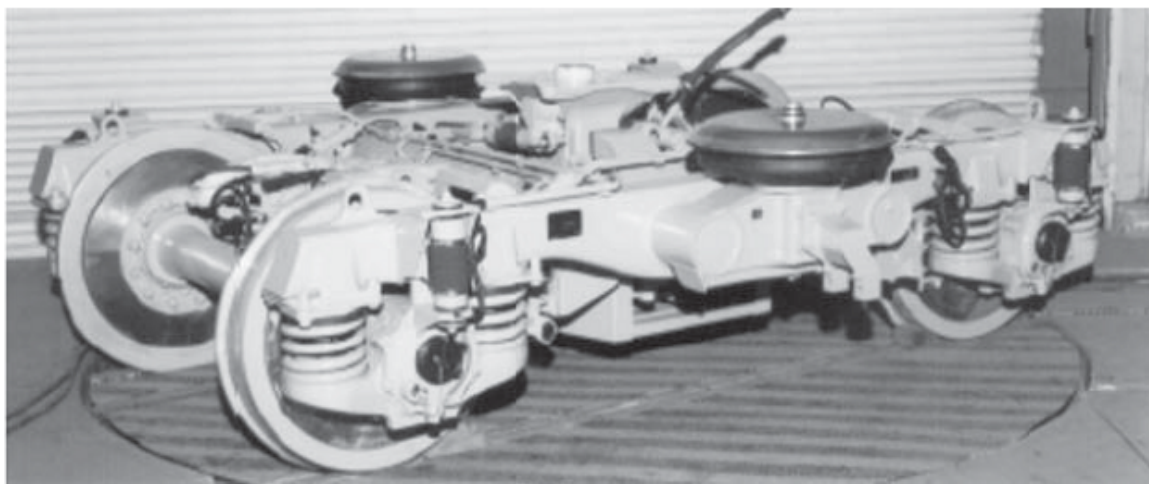


Рис. 1. Візок поїзда JR Central

Поїзди серії E2 призначені для умов експлуатації на ділянці, де наявні ухили до 30 %. Його швидкість сягає 315 км/год. Як і у попереднього візка, центральний ступінь ресорної підвіски виконаний із використанням пневморесор у сполученні із автоматичною та напівавтоматичною системами зменшення вібрацій.

Безшворневі візки вагонів поїзда Fastech 360 S обладнано ресорною підвіскою з пневматичними балонами та активною системою зменшення вібрацій та нахилу кузова у кривих ділянках на кут до двох градусів для

збереження необхідного рівня комфорту пасажирів.

У французьких поїздів TGV Sud – Est першого покоління у вторинному ступені ресорної підвіски використовувалися сталеві спіральні пружини великих розмірів, маса яких сягала 300 кг. Паралельно до пружин встановлено гідравлічні демпфери вертикальних та бічних коливань. При модернізації цих поїздів сталеві пружини було замінено пневморесорами SR-10 діафрагмового типу з додатковими резервуарами великої

емності, які були встановлені безпосередньо над пневморесорами (рис. 2).

Така система ресорної підвіски довела, що забезпечується оптимальне демпфірування

коливань при власній частоті коливань 0,7 Гц. Така м'яка ресорна підвіска змусила використовувати демпфери для запобігання надмірному нахилу кузова в кривих ділянках колії.

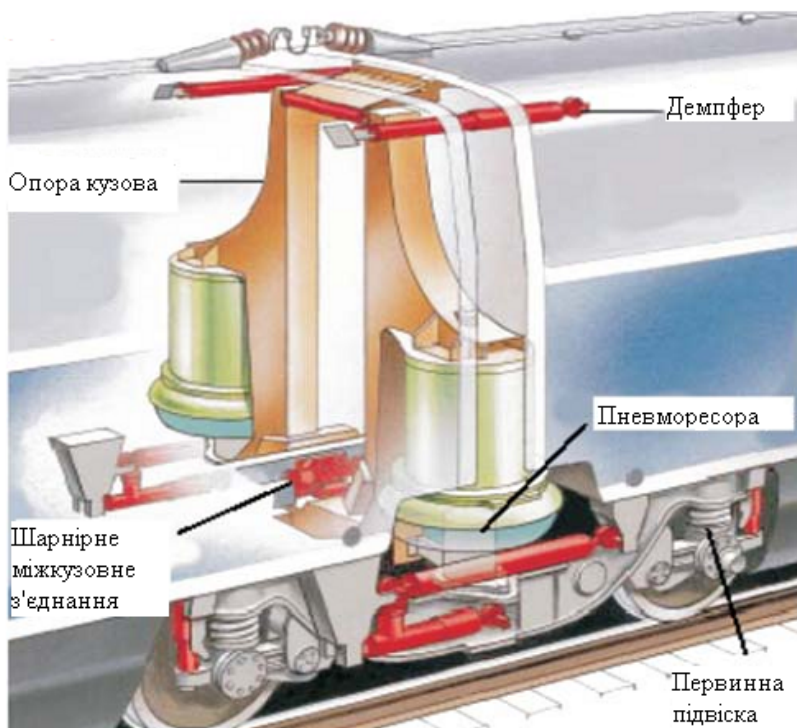


Рис. 2. Візок та міжвагонне з'єднання поїзда TGV Sud – Est

На залізницях Німеччини експлуатуються поїзди серії ICE2, у яких як первинна ресорна підвіска використано гвинтові пружини в комбінації з гумовими елементами. Рама візка складається із двох вигнутих долу балок і двох поперечних балок, які розташовано всередині візка. На бічних балках встановлено дві пневморесори вторинної підвіски та аварійні пружини й повітряний додатковий резервуар.

Поїзд ICE3 має два виконання – односистемний, призначений для використання усередині Німеччини, й чотирисистемний для

міжнародних перевезень між Німеччиною, Францією, Австрією, Нідерландами та Бельгією.

Моторний візок швидкісного поїзда серії ICE3 має раму Н-подібної форми (рис. 3). У першому ступені ресорної підвіски встановлено гвинтові пружини з центральними гумовими елементами. У другому ступені підвіски використано пневморесори. В обох ступенях встановлено гідравлічні гасники коливань та обмежувачі кутового повороту навколо вертикальної осі.

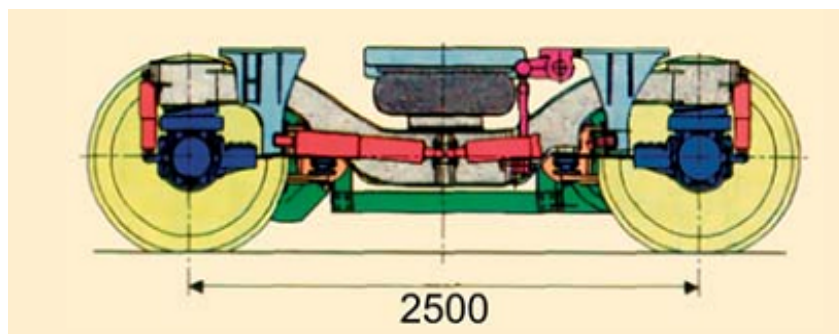


Рис. 3 Моторний візок швидкісного поїзда серії ICE3

В Іспанії на залізниці Мадрид-Барселона експлуатується високошвидкісний поїзд AVE S103 (Talgo 350), в одноосьових візках якого використана двоступенева ресорна підвіска. Пружини першого ступеня встановлено над буксами коліс.



Другий ступінь ресорної підвіски вмонтовано до механізму системи нахилу кузова вагона відносно візків. Тут кузов вагона спирається на дві пневматичні ресори, які розташовано під дахом вагона і спираються на візок через колони.

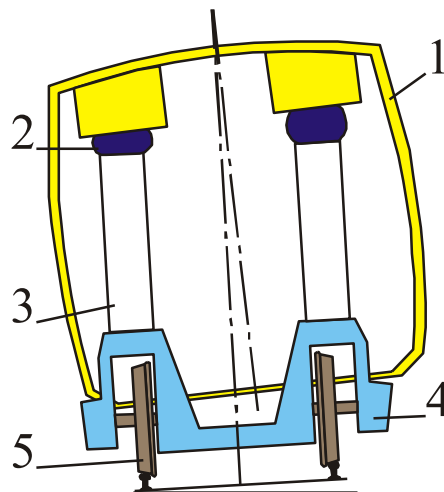


Рис. 4. AVE S103 (Talgo 350) візок з пасивною системою нахилу кузова вагона відносно візків:
1 – кузов; 2 – пневматичні балони; 3 – колони; 4 – рама візка; 5 – колісна пара

Ця система водночас відтворює пасивну систему нахилу кузова у кривих ділянках колії до п'яти градусів, що дає змогу компенсувати бічні прискорення й підвищити комфорт пасажирів.

Вітчизняна промисловість разом з науковцями [10-14] розробили та створили ряд

транспортних засобів із пневматичною ресорною підвіскою для залізниць України.

На рис. 5 наведено 3D модель візка 68-7041 для пасажирського вагона, який розроблено на Крюківському вагонобудівному заводі.

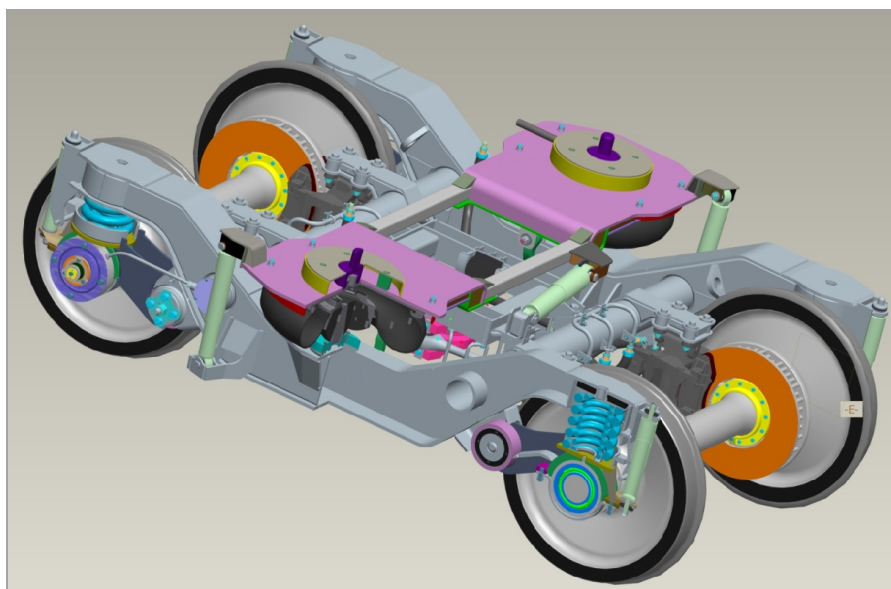


Рис. 5. Візок моделі 68-7041 для пасажирського вагона

У конструкції візка використано пневматичні ресори «діафрагмового» типу, які встановлені на бічні балки рами. Кузов спирається на них через проміжну балку. Паралельно до кожної пневматичної ресори встановлено гідравлічні гасники коливань, тому що такий тип пневморесор не забезпечує оптимального демпфірування коливань.

Випробування довели, що плавність руху вагона поліпшилась у порівнянні із вагоном на серійних візках, які обладнано металевою ресорною підвіскою [10].

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Проведене дослідження довело таке:

1. Пневматична ресорна підвіска широко використовується перш за все там, де прискіпливо ставляться до підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту.

2. Це обумовлено тим, що пневматична ресорна підвіска дає змогу радикально вирішити питання створення ресорної підвіски з великим (до 500 мм) статичним прогином і забезпечити високий комфорт пасажирам.

3. На більшості рухомого складу використовуються пневматичні ресори діафрагмового типу, які дають змогу в деякій мірі одночасно вирішити проблеми як вертикальних, так і поперечних коливань кузова відносно візків, але це потребує поряд із пневматичною ресорою встановлювати по два гідравлічних гасники коливань, що ускладнює та здорожує транспортний засіб.

4. Досвід створення та експлуатація вітчизняних транспортних засобів довів, що цільове використання балонних пневматичних ресор тільки для вертикальної підвіски кузова дає змогу позбутися додаткових гасників коливань і забезпечити оптимальне демпфірування вертикальних коливань шляхом науково обґрунтованого проектування системи пневматичної ресорної підвіски.

5. Подальше впровадження пневматичної ресорної підвіски на транспортних засобах Укрзалізниці буде сприяти поліпшенню їх плавності руху, зменшенню силового впливу на колію, а отже, її збереженню.

Список використаних джерел

1. Удосконалення механізмів реформування та розвитку залізничного транспорту в контексті реалізації структурних реформ в галузі. Аналітична записка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/articles/1662/>. – Загол. з екрану.

2. Sugahara Y., Takigami T., Kazato A. Suppressing vertical vibration in railway vehicles through air spring damping control [Text] // Journal of system design and dynamics Vol.1, No.2, 2007. pp. 212-223.

3. Toyofuku K., Yamada C., Kagawa T., and Fujita T. Study on dynamic characteristic analysis of airspring with auxiliary chamber [Text] // JSAE Review, 1999, 20(3), 349-355.

4. Lee J.-H. & Kim K.-J. Modeling of nonlinear complex stiffness of dual-chamber pneumatic spring for precision vibration isolations [Text] // Journal of Sound and Vibration, 2007, Vol 301, pp 909-926.

5. Вольперт, А.Г. Гасители колебаний подвижного состава: каким им быть? [Текст] / А.Г. Вольперт, В.А. Жолобов // Железнодорожный транспорт. – 1985. – № 3. – С. 54 – 57.

6. Пневматическое рессорное подвешивание тепловозов [Текст] / С.М. Куценко, Э.П. Елбаев, В.Г. Кирпичников [и др.] / под ред. С.М. Куценко. – Харьков: Вища шк., 1978. – 97 с.

7. Yoshie N. 500-Series Shinkansen for commercial operation at 300 km/h of JR West [Text] // Elektrische Bahnen – 1999. – №12. – P.421-427.

8. Конструкция и динамика пневматического рессорного подвешивания бесчелюстных тележек тепловоза 2ТЭ116 [Текст]: отчет о НИР: № гр 71018248 / ВНИТИ, ХПИ. – Коломна; Харьков, 1977. – 59 с.

9. Корниенко, В.В. Высокоскоростной электрический транспорт. Мировой опыт [Текст] / В.В. Корниенко, В.И. Омеляненко. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2007. – 159 с.

10. Отечественная пассажирская тележка на пневматическом подвешивании [Текст] / Б.А. Коробка, О.А. Шкабров, Ю.Н. Коваленко, В.Ф. Назаренко. – Вагонный парк. – 2010. – № 6. – С. 48-51.

11. Пристрій для керування рівнем підресореної частини транспортного засобу при пневматичному ресорному підвішуванні [Текст]: пат. на корисну модель № 68457. МПК В61F 5/00 /

Маслієв В.Г., Макаренко Ю.В., Балєв В.М., Маслієв А.О.; власник НТУ «ХПІ»; заявл. 09.09.2011, опубл. 26.03.2012, Бюл. № 6.

12. Макаренко, Ю.В. Результаты исследования системы пневматического рессорного подвешивания транспортного средства с микропроцессорным управлением [Текст] / Ю.В. Макаренко, В.Н. Балєв, В.Г. Маслиев // Вісник НТУ «ХПІ»: зб. наук. праць. Тематичний випуск: Транспортне машинобудування.– Харків: НТУ«ХПІ», 2011. – № 18. – С. 69-74.

13. Маслиев, В.Г. Параметры воздушного тракта пневматического рессорного подвешивания тепловозов [Текст] / В.Г. Маслиев, Н.О. Лобачев // Констр. и произв. трансп. машин. – Харьков: Вища шк., 1982. – № 14. – С. 3.

14. Макаренко, Ю.В. Результаты исследования транспортного средства на пневматических рессорах [Текст] / В.Г. Маслиев, Ю.В. Макаренко, А.О. Маслиев // Вестник Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения. – Новочеркасск, 2014. – №1 (67). – С. 101–107.

Маслієв Вячеслав Георгійович, д-р техн. наук, професор, кафедра вагонів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 707-65-30. E-mail: masliew@ukr.net

Кравченко Сергій Олександрович, магістрант, кафедра вагонів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 707-65-30.

Маслієв Антон Олегович, бакалавр, кафедра інформаційних технологій і систем колісних і гусеничних машин, національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут».

Maslijev Vyacheslav, doct. tehn. sciences, professor, department of vagoniv, Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (057) 707-65-30. E-mail: masliew@ukr.net.

Sergey Kravchenko, undergraduate of cars, Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (057) 707-65-30.

Masliyev Anton, bachelor of Information Technology and Systems wheeled and tracked vehicles National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute".

Наукова праця здана до друку 18.09.2015 р.