

УДК 629.4.027.31-272.82

*Андрій Кузишин,
(науковий співробітник, лабораторія залізнично-транспортних
досліджень Львівського НДІСЕ),
Андрій Батіг,
(старший науковий співробітник, лабораторія залізнично-
транспортних досліджень Львівського НДІСЕ)*

КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ПНЕВМАТИЧНОГО ПІДВІШУВАННЯ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

В статті було обґрунтовано ефективність застосування пневматичних ресор на рухомому складі. Було систематизовано та впорядковано пневматичні ресори для залізничного транспорту за їх типом, характеристиками та іншими особливостями. Надано рекомендації щодо вибору пневматичної ресори залежно від поставлених задач.

Ключові слова: *пневматичні ресори, рухомий склад, коливання кузова, нерівності колії, жорсткість підвіски.*

Вступ. Викликане економічними причинами зростання швидкості руху поїздів, а також існуючий на залізницях України стан колії приводять до збільшення амплітуд коливань рухомого складу, що в свою чергу, зменшує безпеку та комфортність перевезення пасажирів. У зв'язку з цим виникає питання обмеження рівня амплітуд коливань шляхом введення в ресорному підвішуванні пружних зв'язків з великим статичним прогином і спеціальних гасників, що розсіюють енергію коливань і обмежують їх амплітуди. Історія розвитку механічної частини РС привела до того, що нині пасажирські вагони, як правило, мають візки з двома ступенями ресорного підвішування, кожна з яких містить пружні і дисипативні елементи.

Для забезпечення плавності ходу високошвидкісних електропоїздів також необхідно мати досить «м'яке» ресорне підвішування. З цією метою застосовуються пневматичні ресори, конструкція яких дозволяє забезпечити нормативну величину статичного прогину 200 мм для пасажирських вагонів та моторвагонного РС, розрахованого на швидкість руху 200 км/год. Крім того, такому підвішуванню притаманні як пружні, так і дисипативні властивості, тобто не виникає потреби у встановленні спеціального гасника.

Постановка проблеми. На даному етапі розвитку залізничного транспорту України не систематизовано типи, параметри та технічні характеристики

© Кузишин А.Я., Батіг А.В., 2018

пневматичних ресор, що призвело б до прискорення їх вибору залежно від поставлених задач.

Аналіз останніх досліджень. Незважаючи на недоліки, до яких належить і додаткова витрата повітря, пневматичні ресори мають значні переваги в порівнянні з іншими пружними елементами ресорного підвішування. По-перше, є можливість простими засобами забезпечити досить великі статичні прогини, а також необхідне демпфірування коливань. Випробування РС з пневматичним ресорним підвішуванням показали, що незважаючи на практично однакові можливості гвинтових циліндричних пружин і пневматичних ресор в збільшенні статичного прогину, останні володіють віброзахисними властивостями і комфортністю [1 – 3]. Можливість сприйняття високих горизонтальних та діагональних переміщень, а також опір скручуванню роблять системи пневматичного підвішування досить зручними при використанні на всіх візках [4-6]. Ще однією перевагою є віброзахист від ударної дії рейкових стиків, нерівностей колії і поверхонь кочення коліс колісної пари. Змінюючи тиск повітря в пневматичній ресорі, можна підтримувати постійну висоту підлоги кузова над головками рейок незалежно від числа пасажирів в вагоні, і примусово нахилиючи кузов підвищити комфортабельність пасажирів під час руху РС в кривих ділянках колії [4-5, 7]. Особливо це важливо для вагонів метрополітену, коли на зупинках рівень підлоги кузова вагона повинен відповідати рівню станційної платформи.

Основна частина дослідження. Вперше пневматичне підвішування було застосовано в 1955 р. З того часу фірма Continental почала розробку пневматичних систем для залізничного транспорту.

Передовою країною в сфері застосування пневматичного підвішування вважається Японія, де за останні роки відбувається масове впровадження вагонів з пневматичними ресорами. Саме в цій країні вперше були застосовані пневматичні ресори на серійному рухомому складі [8]. До першої групи належать поїзди серій 300, 500 і 700, які експлуатуються на залізницях Токайдо компаніями JR Central та JR West. Вони обладнані візками, які не мають шворневих балок. Дві пневматичні ресори встановлено у другому (центральному) ступені ресорного підвішування, і їх висота регулюється комп'ютерною системою (рис. 1).

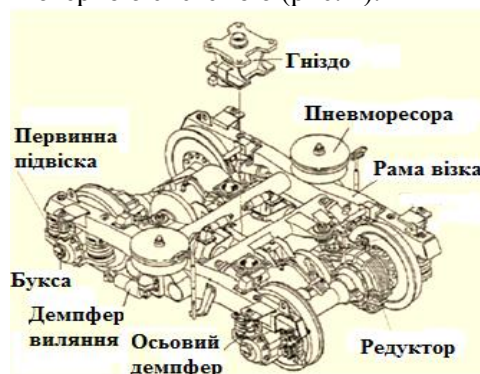


Рис. 1. Схема візка поїзда серії 300

До другої групи належать поїзди серій E1, E2, E3 і E4, які призначені для умов експлуатації на ділянці, де наявні ухили до 30 ‰. Центральне ресорне підвішування

складається з пневматичних ресор із автоматичною та напівавтоматичною системами зменшення вібрацій (рис. 2, 3).

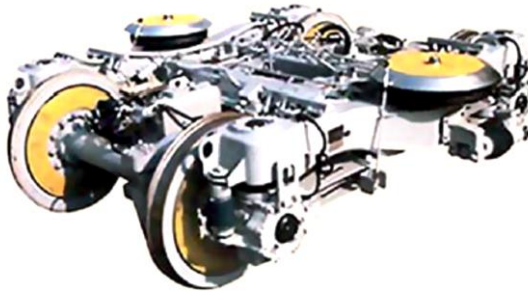


Рис. 2. Візок поїзда серії E1



Рис. 3. Візок поїзда серії E2

Компанії JR Central та JR West прийшли до спільного рішення про початок з 2007 р. масового виробництва і поступового введення в експлуатацію високошвидкісних електропоїздів нового покоління серії N700.

У той же час компанією JR East (Японія) у 2006 р. були проведені випробування високошвидкісних електропоїздів нового покоління Fastech 360S. Безшворневі візки вагонів даного поїзда обладнано ресорною підвіскою з пневматичними балонами та активною системою зменшення вібрацій, нахилу кузова у кривих ділянках на кут до двох градусів для збереження необхідного рівня комфорту пасажирів.

У французьких поїздах TGV Sud – Est першого покоління у другій ступені ресорного підвішування використовувалися сталеві спіральні пружини великих розмірів.

При модернізації цих поїздів сталеві пружини було замінено пневматичними ресорами SR-10 діафрагмового типу з додатковими резервуарами великої ємності, які були встановлені безпосередньо над пневматичними ресорами (рис. 4).

На залізницях Німеччини експлуатуються поїзди серії ICE2 та ICE3, у яких на бічних балках встановлено дві пневматичні ресори вторинної підвіски, а також аварійні пружини й повітряний додатковий резервуар (рис. 5).

В Іспанії на залізниці Мадрид-Барселона експлуатується високошвидкісний поїзд AVE S103 (Talgo 350), в одновісних візках якого використана двоступенева ресорна підвіска. Другий ступінь ресорної підвіски вмонтовано до механізму системи нахилу

кузова. При цьому кузов вагона спирається на дві пневматичні ресори, які розташовані під дахом вагона і спираються на візок через колони (рис. 6).

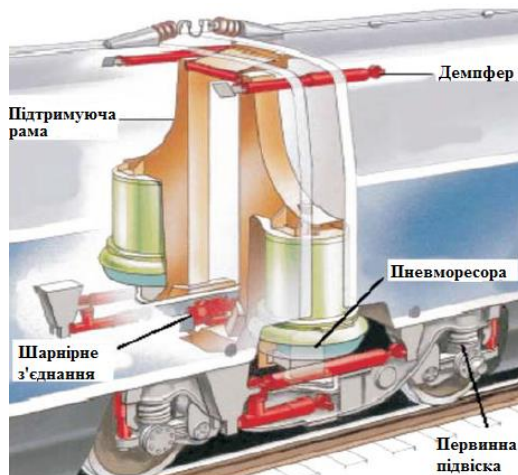


Рис. 4. Схема пневматичного підвішування вагонів TGV

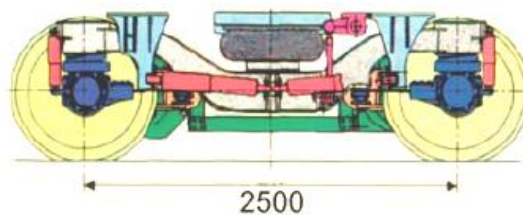


Рис. 5. Моторний візок поїзда серії ICE2

Наявний в Росії досвід по конструюванню і створенню РС з пневматичним ресорним підвішуванням (РВЗ7М, ЭР22П, ЭР200, рейкові автобуси РА1, РА2, вагони моделі 81-556/557/558 «Нева» та інші) свідчить, що демпфірувальна здатність пневматичної ресори з додатковим резервуаром практично достатня для забезпечення гасіння коливань надресорної будови без застосування спеціальних гасників коливань. В результаті виконаних експериментів було встановлено, що коефіцієнт гасіння пневматичної ресори зростає зі збільшенням амплітуди коливань, що є додатковою перевагою при використанні пневматичного підвішування.



Рис. 6. Система пневматичного підвішування високошвидкісного поїзда AVE S103

На сьогоднішній час в Казахстані проводяться випробування електровоза ВЛ60 із застосуванням між кузовом та візками пневматичних елементів типу 650-220-110 моделі НІ-14 (рис. 7, 8). Використання пневматичного елемента дозволяє гасити коливання виляння та виносу.

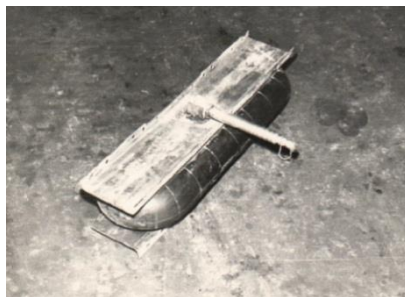


Рис. 7. Пневматичний елемент НІ-14 подушкового типу



Рис. 8. Пневматичний елемент НІ-14 на електровозі ВЛ60

З 2012 року на магістральних лініях Укрзалізниці почали експлуатуватись швидкісні електропоїзди «Hyundai Rothem». У візках даних електропоїздів застосовуються пневматичні ресори діафрагмового типу 1Ао90-1к (рис. 9, 10).

16 квітня 2014 Крюківським вагонобудівним заводом був представлений пасажирський дизель-поїзд ДПКр-2, в центральному ступені ресорного підвішування якого була встановлена пневматична ресора (рис. 11).

Як відомо пневматичні ресори складаються з пружної оболонки з армуючими деталями. Всередині пневматичних ресор знаходяться гумометалеві амортизатори, на які спирається кузов при відсутності повітря в пневматичній ресорі, а також в аварійних випадках при розриві пружної оболонки. Використання пружних і дисипативних елементів, де робочим тілом є повітря, яке заповнює гумовокордну оболонку, має велику історію.

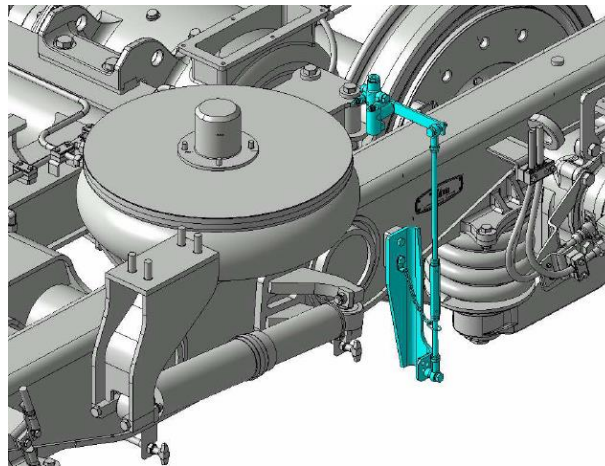


Рис. 9. Загальний вигляд візка «Hyundai Rothem»

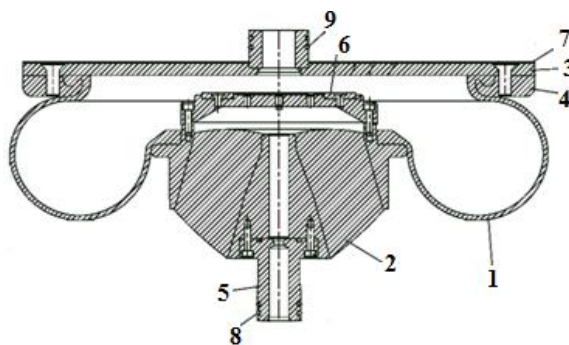


Рис. 10. Пневматична ресора 1Ао90-1к швидкісного електропоїзда «Hyundai Rothem»: 1 – пневматична ресора; 2 – конічний гумометалевий амортизатор; 3 – верхня пластина; 4 – кільце; 5 – штифт; 6 – пластина; 7 – гумова пластина; 8, 9 – ущільнююче кільце

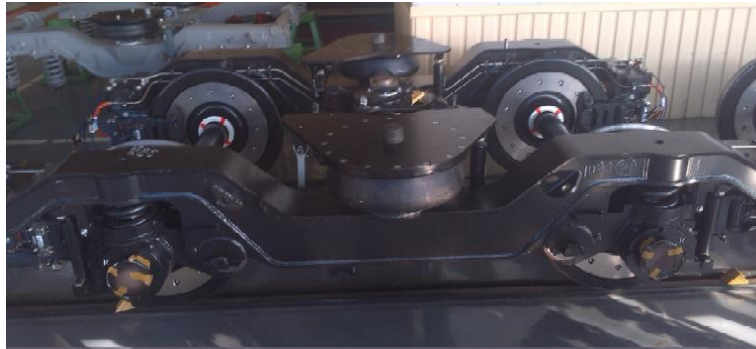


Рис. 11. Загальний вигляд візка моделі 68-7090 дизель-поїзда ДПКр-2

Відповідно до історичної класифікації можна виділити існування чотирьох видів пневматичних ресор:

1. Балонного типу – працює тільки у вертикальному напрямку (рис. 12);
2. Подушкового типу – працює в вертикальному і поздовжньому (вздовж осі колії) напрямках (рис. 7);
3. Діафрагмового типу – працює у вертикальному і горизонтальному (поперечному) напрямках (рис. 10);
4. Комбінованого типу – працює у вертикальному і горизонтальному напрямках і має більший статичний прогин в порівнянні з діафрагмовою пневматичною ресорою (рис. 12).

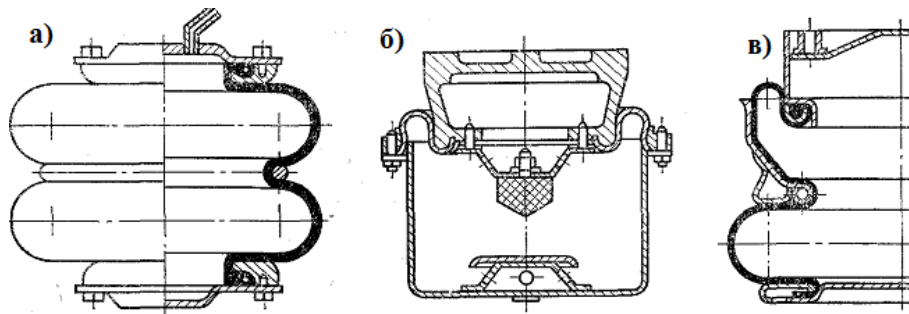


Рис. 12. Різновиди пневматичних ресор:

а – балонного типу; **б** – діафрагмового типу; **в** – комбінованого типу

Для зниження вертикальної жорсткості пневматичну ресору з'єднують з додатковим резервуаром, обсяг якого зазвичай більший основного обсягу пневматичної ресори [4-5, 9]. Як додатковий резервуар використовують внутрішні порожнини балок рами візка. Як правило, пневматичні ресори відокремлені від додаткових резервуарів і з'єднуються з ними сполучними трубопроводами. В трубопроводах встановлюють дроселі з каліброваним отвором для пропуску повітря, які забезпечують необхідний демпфірувальний ефект пневматичної ресори. Додаткові резервуари можуть бути розташовані в кузові вагона або в просторі під кузовом, що реалізовано на тепловозах.

На основі вищенаведеного представимо технічні дані та характеристики різноманітних пневматичних ресор, які використовуються для залізничного рухомого складу [10] (табл. 1 – 3).

Таблиця 1

Статичні дані пневматичних ресор

Модель пневматичної ресори	Навантаження, т	Об'єм, М ³	Висота, м
	Тиск 0,6894 МПа		
Пневматичні ресори балонного типу			
205	1 – 6	0.021 – 0.0064	0,32 – 0,089
201	2.5 – 8.5	0.03 – 0.008	0,32 – 0,089
203	4.29 – 11.8	0.047 – 0.014	0,34 – 0,1
218	3.9 – 11.71	0.045 – 0.012	0,33 – 0,089
29	6.63 – 14.91	0.059 – 0.016	0,34 – 0,089
207С	5.25 – 15.21	0.059 – 0.015	0,34 – 0,089
222	7.13 – 19.68	0.076 – 0.022	0,33 – 0,1
Пневматичні ресори діафрагмового типу			
1Т53В-5	5.48 – 7.44	0.031 – 0.0127	0,36 – 0,18
1Т60В-326	13.79 – 10.88	0.061 – 0.029	0,38 – 0,2
1Т57А-375	15.96 – 16.77	0.068 – 0.039	0,33 – 0,22
1Т60В-293	13.85 – 13.58	0.052 – 0.025	0,33 – 0,2
1Т52-420	16.59 – 15.73	0.066 – 0.0345	0,3 – 0,18
1Т60В-359	13.93 – 12.3	0.07 – 0.034	0,43 – 0,254

Таблиця 2

Характеристики пневматичних ресор при зміні їх об'єму

Модель пневматичної ресори	Жорсткість та власна частота із збільшенням об'єму при проектній висоті 0,2032 м і тиску 0,6894 МПа		
	Зміна об'єму, м ³	Вертикальна жорсткість, кН/м	Кількість циклів в секунду, Гц
Пневматичні ресори балонного типу			
205	0 – 0,082	486,86 – 219,72	1,64 – 1,10
201	0 – 0,11	721,35 – 286,76	1,63 – 1,03
203	0 – 0,164	884,1 – 373,28	1,53 – 0,99
218	0 – 0,164	922,98 – 371,32	1,57 – 1,00
29	0 – 0,213	1077,36 – 451,5	1,51 – 0,98
207C	0 – 0,082	1122,27 – 597	1,52 – 1,11
222	0 – 0,262	1677,83 – 591	1,57 – 0,94
Пневматичні ресори діафрагмового типу			
1T53B-5	0 – 0,09	585,03 – 32,25	1,44 – 0,34
1T60B-326	0 – 0,164	660,08 – 6,56	1,12 – 0,11
1T57A-375	0 – 0,21	1358,94 – 6,77	1,42 – 0,1
1T60B-293	0 – 0,164	1330,84 – 109,27	1,52 – 0,44
1T52-420	0 – 0,25	1308,67 – 109,68	1,39 – 0,4
1T60B-359	0 – 0,131	760,58 – 3,4	1,18 – 0,08

Таблиця 3

Характеристики пневматичних ресори при зміні їх тиску

Модель пневматичної ресори	Бокова жорсткість пневматичної ресори при частоті 0,1 Гц		
	Висота, м	Зміна тиску, МПа	Жорсткість, кН/м
Пневматичні ресори балонного типу			
205	0,2	0,14 – 0,69	38,84 – 71,73
201	0,2	0,14 – 0,69	65,6 – 153,1
203	0,23	0,14 – 0,69	63,86 – 102,7
218	0,216	0,14 – 0,69	64,73 – 139,97
29	0,23	0,14 – 0,69	87,48 – 157,46
207С	0,23	0,14 – 0,69	109,35 – 225,17
222	0,216	0,41 – 0,69	306,18 – 382,63
Пневматичні ресори діафрагмового типу			
1Т53В-5	0,23	0,276 – 0,69	69,98 – 65,6
1Т60В-326	0,3	0,14 – 0,55	115,82 – 58,96
1Т57А-375	0,23	0,14 – 0,55	198,23 – 251
1Т60В-293	0,24	0,276 – 0,69	196,83 – 282
1Т52-420	0,23	0,41 – 0,69	371,79 – 437,4
1Т60В-359	0,3	0,276 – 0,69	218,7 – 131,22

Використовуючи дані наведені в (табл. 1-3) побудуємо залежності між основними характеристиками пневматичної ресори діафрагмового типу № 1Т52-420 (рис. 13 – 15).

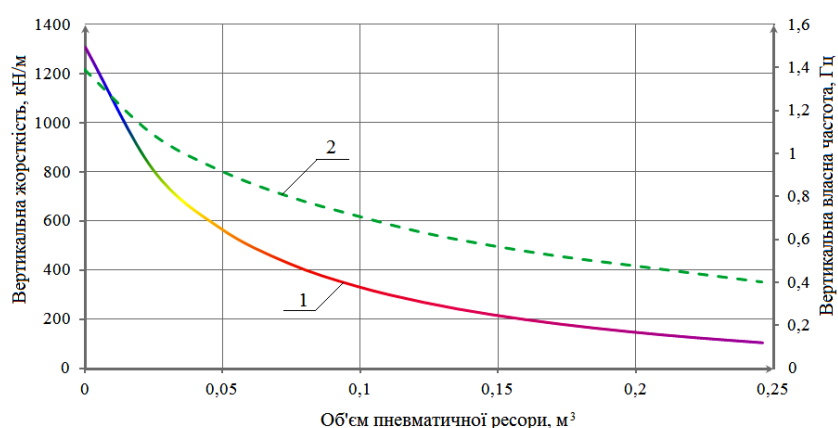


Рис. 13. Залежності вертикальної жорсткості (1) та частоти власних коливань (2) від об'єму пневматичної ресори

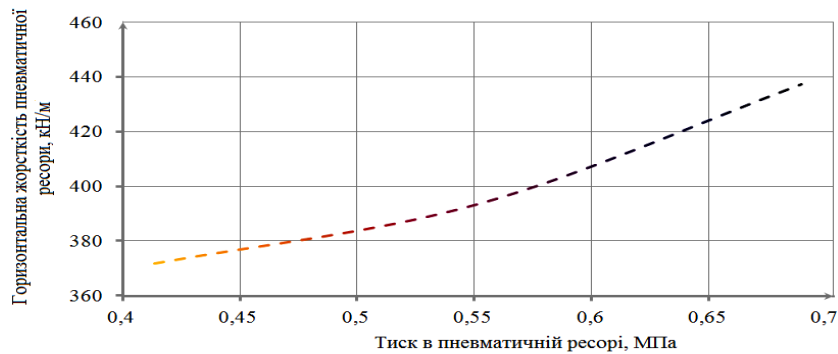


Рис. 14. Залежності навантаження на об'єму пневматичної ресори від її висоти

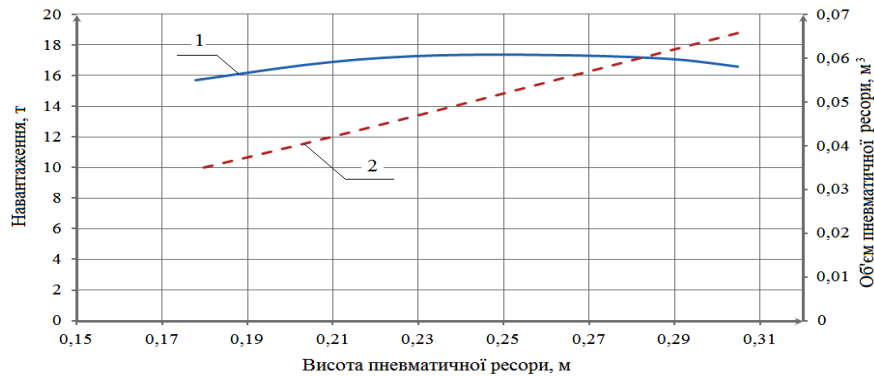


Рис. 15. Залежності навантаження (1) на об'єму (2) пневматичної ресори від її висоти

Вищенаведені залежності можуть бути використані для підбору пневматичних ресор відповідного типу рухомого складу при заданих експлуатаційних умовах.

Отримані результати. На основі проведених досліджень було систематизовано типи, параметри та технічні характеристики пневматичних ресор. Були наведені моделі пневматичних ресор, які застосовуються на залізничному рухомому складі. Для кожної конкретної моделі представлено їх статичні дані: висота, об'єм та навантаження, яке вона може сприймати.

Змінюючи тиск та об'єм пневматичної ресори були наведені основні характеристики пневматичних ресор, а саме: вертикальна та горизонтальна жорсткість пневматичної ресори, а також власна частота коливань.

ЛІТЕРАТУРА

1. Маслієв, В. Г., Макаренко, Ю. В., Маслієв, А. О. Дослідження залежності динамічних сил, що діють на путню структуру та транспортний засіб – від форми імпульсних збуджень. Харків: Вісник НТУ «ХПІ», №14(1057), 2014. С. 2–8.
2. Iwnicki, S. Handbook of Railway Vehicle Dynamics / S. Iwnicki. – New York : Taylor & Francis Group, 2006. – 527 p. doi: 10.1201/9781420004892.

3. Leichtbau bei Schienfahrzeugen -Bastandsaufnahme und Potenziale // Elek. Bahnen.-2013.- № 1. – С. 8–12.
4. Горобець, В. Л. Улучшение динамических характеристик тягового подвижного состава с использованием управления гашением энергии колебаний / В. Л. Горобець, Н. П. Снитко, А. Д. Лашко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. ак. В. Лазаряна. –Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 36. – С. 7 – 15.
5. Макаренко, Ю. В. Результаты исследования системы пневматического рессорного подвешивания транспортного средства с микропроцессорным направлением / Ю. В. Макаренко, В. Н. Балева, В. Г. Маслиев // Вестн. нац. техн. ун-та «ХПИ». – Харьков, 2001. – № 18. – С. 70–83
6. Басов, Г. Г. Теоретичні й експериментальні дослідження екіпажної частини тепловозів: навч. посібник / Г. Г. Басов, В. І. Нестеренко. – Луганськ: Ноулідж, 2011. – 247 с.
7. Марнітов, К. І. Дослідження динамічних якостей вагона з пневматичними ресорами / К. І. Марнітов. – Харків: Збірник наукових праць УкрДАЗТ, вип. №142, 2013. С. 111–118.
8. Высокоскоростной электрический транспорт. Мировой опыт / Корниенко В.В., Омеляненко В.И. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – 159 с.
9. 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.
10. Rail Applications Design Guide. Ladlow: No. 1, Published by the Firestone Industrial Products Company, 2005. – 52 p.

REFERENCES

1. Masliiev, V. H., Makarenko, Yu. V., Masliiev, A. O. (2014). *Doslidzhennia zalezhnosti dynamichnykh syl, shcho diiut na putniu strukturu ta transportnyi zasib – vid formy impulsnykh zbudzhen* [Investigation of the dependence of the dynamic forces acting on the pillar structure and the vehicle - on the form of impulse excitations]. Kharkiv: Visnyk NTU «KhPI», №14(1057), s. 2–8.
2. Iwnicki, S. (2006). Handbook of Railway Vehicle Dynamics. New York, Taylor & Francis Group, 527 s. doi: 10.1201/9781420004892.
3. Bahnen, E. (2013). Leichtbau bei Schienfahrzeugen – Bastandsaufnahme und Potenziale. № 1. s. 8–12.
4. Gorobec, V.L., Snitko, N.P., Lashko, A.D. (2011). *Uluchshenie dinamicheskikh harakteristik tjagovogo podvizhnogo sostava s ispol'zovaniem upravlenija gasheniem jenerгии kolebanij* [Improving the dynamic characteristics of traction rolling stock using oscillation energy damping control]. Visn. Dnipropetr. nac. un-tu zalizn. transp. im. akad. V. Lazarjana. Dnipropetrovs'k, Vip. 36. s. 7–15.
5. Makarenko, Ju.V., Balev, V.N., Masliiev, V.G. (2001) *Rezultaty issledovanija sistemy pnevmaticheskogo resornogo podveshivaniya transportnogo sredstva s mikroprocessornym napravleniem* [The results of the study of the pneumatic spring suspension of a vehicle with a microprocessor direction]. Vestn. nac. tehn. un-ta «HPI». Har'kov, № 18. s. 70–83.
6. Basov, G.G., Nesterenko, V.I. (2011). *Teoretichni j eksperimental'ni doslidzhennja ekipazhnoi chastini teplovoziv: navch. Posibnik* [Theoretical and experimental researches of crew part of locomotives: a teacher. manual]. Lugans'k: Noulidzh, 247 s
7. Marnytov, K. I. (2013). *Doslidzhennia dynamichnykh yakostei vahona z pnevmatichnymy resoramy* [Research of dynamic qualities of the wagon with air springs]. Kharkiv: Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT, vyp. №142, s.111–118.
8. Kornienko, V.V., Omel'janenko, V.I. (2007). *Vysokoskorostnoj jelektricheskij transport. Mirovoj opyt* [High-speed electric vehicles. World experience]. Harkov: NTU «HPI», 159 s.
9. Koshelev, K.B., Pyshnograï, G.V., Tolstykh, M.Yu. (2015). Modeling of the three-dimensional flow of polymer melt in a convergent channel of rectangular cross-section. Fluid Dynamics. Vol. 50. Iss. 3. P 315–321. doi: 10.1134/s0015462815030011.
10. (2005). Rail Applications Design Guide. Ladlow: No. 1, Published by the Firestone Industrial Products Company, 52p.

*Андрей Кузишин,
(научный сотрудник, лаборатория железнодорожно-транспортных
исследований Львовского НИИСЭ),
Андрей Батиг,
(старший научный сотрудник, лаборатория
железнодорожно-транспортных исследований Львовского НИИСЭ)*

КЛАССИФИКАЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПОДВЕШИВАНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

В статье было обосновано эффективность применения пневматических рессор на подвижном составе. Были систематизированы и упорядочены пневматические рессоры для железнодорожного транспорта по их типу, характеристиками и другими особенностями. Даны рекомендации по выбору пневматической рессоры в зависимости от поставленных задач.

***Ключевые слова:** пневматические рессоры, подвижной состав, колебания кузова, неровности пути, жесткость подвески.*

*Andriy Kuzyshyn,
(Research worker, Laboratory "Railway Transport Research", Lviv Research
Institute of Forensic Science),
Andriy Batig,
(Senior research worker, Laboratory "Railway Transport Research", Lviv Research
Institute of Forensic Science)*

CLASSIFICATION AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF PNEUMATIC SUSPENSION IN RAILWAY TRANSPORT

The article noted that at this stage of development of railway transport in Ukraine, systematization of types, parameters and technical characteristics of air springs was not performed. This in turn would lead to an acceleration of their choice, depending on the tasks.

In this paper, the author notes that despite the shortcomings, which include additional air flow, air springs have significant advantages compared with other elastic elements of the spring suspension. This is an opportunity to provide fairly large static deflections with simple means, and also it is necessary to damp the body oscillations. The tests of rolling stock with air spring suspension showed that despite the almost identical possibilities of helical coil springs and air springs in increasing the static deflection, the latter have vibration-proof properties and comfort. Another advantage of air springs is the possibility of perception of high horizontal and diagonal movements, vibration protection from impact of rail joints, unevenness of the track and rolling surfaces of the wheels of the wheelset, the ability to maintain a constant height of the body floor above the rail heads.

As a result of the research, the types, parameters and technical characteristics of air springs, reduced models of air springs that are used on railway rolling stock were systematized. For each specific model, their static data is presented: height, volume and permissible load; change in vertical, horizontal stiffness depending on the load, the natural frequency of oscillation.

***Keywords:** air springs, rolling stock, body oscillations, unevenness of the track, suspension stiffness.*