

Kovalchuk, V. V., Kuzyshyn, A. Ya., & Kravets, I. B. (2024). Study of the deformation characteristics of the pneumatic spring of the high-speed rolling stock of railways within the cross section of the turnout. *Actual Issues of Modern Science. European Scientific e-Journal*, 32, ___-___. Ostrava: Tuculart Edition, European Institute for Innovation Development. (In Ukrainian)

DOI: 10.47451/inn2024-07-02

The paper is published in Crossref, ICI Copernicus, BASE, Zenodo, OpenAIRE, LORY, Academic Resource Index ResearchBib, J-Gate, ISI International Scientific Indexing, ADL, JournalsPedia, Scilit, EBSCO, Mendeley, and WebArchive databases.



Vitalii V. Kovalchuk, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Railway Transport, Lviv Polytechnic National University. Lviv, Ukraine.

ORCID: 0000-0003-4350-1756, Scopus: 57192678464

Andrii Ya. Kuzyshyn, Ph.D. in Technical Sciences, Department of Railway Transport, Lviv Polytechnic National University. Lviv, Ukraine.

ORCID: 0000-0002-3012-5395, Scopus: 57204832821

Ivan B. Kravets, Ph.D. in Technical Sciences, Department of Railway Transport, Lviv Polytechnic National University. Lviv, Ukraine.

ORCID: 0000-0002-2239-849X, Scopus: 57221338019

Study of the deformation characteristics of the pneumatic spring of the high-speed rolling stock of railways within the cross section of the turnout

Abstract: Investigation of the features of deformation of the pneumatic spring of high-speed rolling stock of railways within the frog of the railroad switch. The study object is a pneumatic spring of high-speed rolling stock of the railway. The method of experimental testing of a pneumatic spring using the developed installation for running dynamic spring tests is presented. Experimental tests of the deformability of the pneumatic spring when the test unit moves along the frog of the railroad switch are carried out. It is established that the transition of the wheel from the wing rails to the frog and from the core to the moustache of the frog, as well as the rear joint of the frog, has a significant impact on the vertical and horizontal deformations of the pneumatic spring. It is determined that the maximum deformations in the vertical plane when the wheel moves from the wing rails to the frog are 2,75 mm, when the wheel moves from the frog to the wing rails, they are 3.7 mm, and when the installation passes through the rear joint of the frog, the value of vertical deformations of the pneumatic spring is 6,2 mm. At the same time, the horizontal deformations of the pneumatic spring are 1,0 mm, 1,2 mm and 0,58 mm, respectively. Establishing the features of deformation of the pneumatic spring of high-speed railway rolling stock when driving on a railroad switch is an urgent task of scientific research. Since this will make it possible to determine dynamic indicators and safety indicators of high-speed rolling stock in operational conditions.

Keywords: pneumatic spring; high-speed rolling stock; vertical spring deformations; horizontal spring deformations; railroad switch frog.



Віталій Володимирович Ковальчук, доктор технічних наук, професор, кафедра залізничного транспорту, Національний університет «Львівська політехніка». Львів, Україна.

ORCID: 0000-0003-4350-1756, Scopus: 57192678464

Андрій Ярославович Кузишнн, Ph.D. технічних наук, кафедра залізничного транспорту, Національний університет «Львівська політехніка». Львів, Україна.

ORCID: 0000-0002-3012-5395, Scopus: 57204832821

Іван Богданович Кравець, Ph.D. технічних наук, кафедра залізничного транспорту,
Національний університет «Львівська політехніка». Львів, Україна.
ORCID: 0000-0002-2239-849X, Scopus: 57221338019

Дослідження особливостей деформування пневматичної ресори швидкісного рухомого складу залізниць у межах хрестовини стрілочного перевалу

Анотація: Об'єктом досліджень є пневматична ресора швидкісного рухомого складу залізниці. Наведено методику експериментальних випробувань пневматичної ресори із використанням розробленої установки для ходових динамічних випробувань ресори. Проведено експериментальні випробування деформативності пневматичної ресори при русі випробувальної установки по хрестовині стрілочного перевалу. Встановлено, що значний вплив на вертикальні та горизонтальні деформації пневматичної ресори має перехід колеса із вусовика на сердечник та із сердечника на вусовик хрестовини, а також задній стик хрестовини. Визначено, що максимальні деформації у вертикальній площині при русі колеса із вусовика на сердечник становлять 2,75 мм, при русі колеса із сердечника на вусовик – 3,7 мм, а при проїзді установки по задньому стику хрестовини, величина вертикальних деформацій пневматичної ресори склала 6,2 мм. При цьому горизонтальні деформації пневматичної ресори відповідно склали: 1,0 мм, 1,2 мм та 0,58 мм. Встановлення особливостей деформування пневматичної ресори швидкісного рухомого складу залізниці при проїзді по стрілочному перевалу є актуальною задачею наукових досліджень. Оскільки це дасть змогу визначати динамічні показники та показники безпеки руху швидкісного рухомого складу в експлуатаційних умовах.

Ключові слова: пневматична ресора; швидкісний рухомий склад; вертикальні деформації ресори; горизонтальні деформації ресори; хрестовина стрілочного перевалу.



Вступ

У швидкісних поїздах ДПКр-2, ДПКр-3, ЕКр-1 «Тарпан» та НРС2 «Hyundai Rotem» для погашення вібраційної дії на рухомий склад використовується пневматична ресора, що наведена в Додатку (*Рисунок 1*) (*Kuzysbyn et al., 2023*). Крім цього вона дозволяє розсіяти енергію у процесі руху рухомого складу по нерівностях на залізничній колії (*Mendia-Garcia et al., 2022; Kovalchuk et al., 2018b; Kuzysbyn et al., 2024; Mendia-Garcia et al., 2024*).

При русі рухомого складу рейковою колією, пневматична ресора сприймає вертикальні та горизонтальні (повздожні та поперечні) навантаження. Які викликаються технічним станом та конструктивними особливостями рейкової колії та механічної частини рухомого складу. У результаті коливань пневматична ресора зазнає вертикальних та горизонтальних деформацій. Слід зазначити, що на етапі проектування пневматичної ресори важливим є підібрати оптимальні показники ресори. Одним із них є жорсткість пневматичної ресори, що залежить від навантаження яке припадає на ресору та величини деформування ресори. Тому дослідження особливостей деформування ресори в експлуатаційних умовах та визначення її максимальних вертикальних та горизонтальних деформацій є актуальною задачею наукових досліджень.

На сьогоднішній день є ряд досліджень динамічної поведінки пневматичної ресори швидкісного рухомого складу, що відображено у працях (*Reidemeister et al., 2016; Linfeng et al.,*

2020; Li & Li, 2013; Zhu et al., 2017). Однак у більшості робіт використовуються теоретичні методи дослідження пневматичної ресори. У роботі (Reidemeister et al., 2016) розглядається модель пневматичної ресори у вигляді динамічної системи з трьома фазовими координатами. На основі законів термодинаміки та гідродинаміки розроблено математичну модель для дослідження динамічних характеристик ресори у вертикальному напрямі (Liufeng et al., 2020; Li & Li, 2013). Праця (Zhu et al., 2017) присвячена дослідженням врахування термодинамічних процесів при розрахунку пневматичних ресор. Авторами у роботі (Kuzyshyn et al., 2023) проведені теоретичні дослідження динамічних параметрів пневматичної ресори із врахуванням геометричних параметрів з'єднувального трубопроводу. Дослідження впливу стану пневматичної системи ресорного підвішування на динамічну поведінку рухомого складу наведено у праці (Facchinetti et al., 2010). На основі яких зроблено висновок, що бокова деформація та деформація крену ресори не призводять до значних коливань тиску повітря в середині пневматичної ресори.

Із проведеного аналізу наукових робіт встановлено, що більшість робіт присвячено теоретичним дослідженням пневматичної ресори рухомого складу залізниці. Відсутні експериментальні ходові випробування пневматичної ресори. Тому проведення експериментальних динамічних випробувань пневматичної ресори є актуальною задачею наукових досліджень, що дозволить визначити максимальні вертикальні та горизонтальні деформації пневматичної ресори у реальних умовах експлуатації залізничної колії.

Матеріали і методи

Об'єктом досліджень є пневматична ресора швидкісного рухомого складу, яка зазнає деформацій при русі по хрестовині стрілочного перевалу. Визначення вертикальних та горизонтальних деформацій пневматичної ресори здійснюється запропонованою конструкцією установки для ходових динамічних випробувань, що наведена у Додатку (Рисунок 2).

При русі установки по хрестовині відбуваються коливання пневматичної ресори, які викликають вертикальні та горизонтальні деформації ресори. За допомогою потенціометричного датчика переміщень вимірюються величини вертикальних та горизонтальних деформацій ресори. Для вимірювання вертикальних деформацій ресори датчик переміщень встановлено вертикально під прямим кутом до верхньої металевої пластини ресори. А для вимірювання горизонтальних деформацій пневматичної ресори використовується датчик переміщень встановлений перпендикулярно до бокової сторони гумокордної оболонки пневматичної ресори. Схема розташування потенціометричних датчиків лінійних переміщень наведена в Додатку (Рисунок 3).

Виміряні значення вертикальних та горизонтальних деформацій пневматичної ресори зчитуються високочастотним аналогово-цифровим перетворювачем та зберігаються у пам'яті ноутбуку.

Результати

Результати записів вертикальних деформацій пневматичної ресори швидкісного рухомого складу при русі в напрямі від сердечника на вусовик хрестовини та у зворотну сторону наведено в Додатку (Рисунок 4). Результати записів вертикальних деформацій

пневматичної ресори показали, що максимальні деформації при русі випробувальної установки у напрямі від сердечника на вусовик хрестовини становлять 3,7 мм, а при русі від вусовика на сердечник – 2,75 мм.

Результати записів горизонтальних деформацій пневматичної ресори швидкісного рухомого складу при русі в напрямі від сердечника до вусовика хрестовини та у зворотному напрямі наведено в Додатку (*Рисунок 5*). Максимальна величина горизонтальних деформацій пневматичної ресори, при русі у напрямі від сердечника на вусовик становить 1,2 мм, а при русі від вусовика на сердечник – 1,0 мм. Крім цього при перекочуванні колеса по сердечнику у межах перетину 35 мм на лініях запису деформацій ресори спостерігаються пікові значення деформацій. Це пов'язано із особливостями перекочування колеса у цій зоні хрестовини стрілочного перевodu (*Kovalchuk et al., 2018c; Kovalchuk et al., 2017; Kovalchuk et al., 2018a*).

Результати записів вертикальних та горизонтальних деформацій пневматичної ресори швидкісного рухомого складу при русі випробувальної установки по задньому стику хрестовини наведено в Додатку (*Рисунок 6*). Із проведених записів деформацій ресори при русі по задньому стику хрестовини видно, що максимальна вертикальна деформація ресори склала 6,2 мм, а максимальна горизонтальна деформація – 0,58 мм. Різниця між вертикальними та горизонтальними деформаціями пневматичної ресори пояснюється значно вищим вертикальним навантаженням на ресору за рахунок короткої стикової нерівності. У результаті проїзду колесом зони стику виникає динамічна вертикальна добавка сил, яка викликає вертикальні деформації пневматичної ресори. При цьому із лінії запису вертикальних деформацій ресори спостерігаються гармонійні коливання ресори і поступове їх згасання за невеликий проміжок часу. І із лінії запису горизонтальних деформацій ресори видно, що ресора при наїзді на стик хрестовини зміщується у горизонтальній площині, і при виїзді – повертається у початкове положення.

Обговорення

Оцінка динамічних характеристик пневматичної ресори швидкісного рухомого складу є важливою науковою задачею досліджень. Це дозволить за встановленими показниками нової ресори виконувати моніторинг змін характеристик гумокордної оболонки ресори із часом, при її експлуатації на рухомому складі. Розроблена випробувальна установка, що наведена в Додатку (*Рисунок 2*), дозволяє проводити випробування ресори у будь-яких експлуатаційних умовах залізничної колії із врахуванням експлуатаційних та конструктивних особливостей залізничної колії.

У рамках нашої роботи, випробування пневматичної ресори швидкісного рухомого складу проведено у межах хрестовини стрілочного перевodu. Результати експериментальних досліджень пневматичної ресори показали, що величина вертикальних деформацій пневматичної ресори (*Рисунок 4*) є вищою за горизонтальні деформації ресори (*Рисунок 5*). При русі випробувальної установки в напрямі від сердечника на вусовик хрестовини максимальна величина вертикальних деформацій ресори склала 3,7 мм, а горизонтальних – 1,2 мм, а при русі від вусовика на сердечник – 2,75 мм та 1,0 мм відповідно.

Встановлено, що на величину деформацій пневматичної ресори має напрям руху випробувальної установки. Вищі значення вертикальних та горизонтальних деформацій ресори виникають при русі випробувальної установки у напрямі від сердечника на вусовик. При цьому напрямі руху величина вертикальних деформацій склала 3,7 мм, а горизонтальних 1,2 мм. У випадку руху від вусовика на сердечник величина вертикальних деформацій склала 2,75, а горизонтальних – 1,0 мм.

Різниця деформацій пневматичної ресори при русі у різних напрямках випробувальної установки по хрестовині стрілочного переводу пояснюється особливістю перекочування колеса рухомого складу із сердечника на вусовик та навпаки, що відображено у праці (Kovalchuk et al., 2018c). Колесо проходить нерівність у вертикальній площині (Kovalchuk et al., 2018a), яка викликає динамічне навантаження на рухомий склад, а відповідно і, викликає деформування ресори. При цьому нерівність у залежності від напрямку руху має різні кути нахилу, при русі колеса на спуск і виїзд із нерівності (Орловські та ін., 2011), що в результаті впливає на різницю величин деформацій ресори.

У випадку перекочування колеса через задній стик хрестовини виникає значна вертикальна деформація ресори, величиною 6,2 мм (Рисунок 6). У той же час величина горизонтальної деформації склала тільки 0,58 мм. Запис ліній вертикальних деформацій ресори у вертикальній площині (Рисунок 6) показує, що відбувається рух колеса вниз (викликає удар у стик), що спричиняє різке наростання вертикальних деформацій пневматичної ресори. Тобто колесо на такій короткій нерівності вдаряється в стик і цим викликає вертикальні деформації ресори. При цьому величина горизонтальних деформацій залишається незначною, оскільки не має бокового навантаження від стику на рухоме колесо випробувальної установки.

На відміну від особливостей деформування пневматичної ресори при проїзді рейкового стику, проїзд із сердечника на вусовик чи із вусовика на сердечник викликає більше бокове хитання випробувальної установки. Це і призводить до більших значень горизонтальних деформацій ресори у порівнянні із рухом по задньому стику хрестовини.

Висновки

Розроблена методологія експериментальних динамічних випробувань пневматичної ресори швидкісного рухомого складу дозволяє проводити випробування ресори в експлуатаційних умовах рейкової колії. Що дозволить встановлювати динамічні показники пневматичної ресори із врахуванням технічних та конструкційних параметрів рейкової колії та ходових частин рухомого складу.

Максимальні вертикальні деформації пневматичної ресори при русі установки у напрямі від сердечника на вусовик складають 3,7 мм, а при русі від вусовика на сердечник – 2,75 мм. При цьому максимальні горизонтальні деформації ресори склали 1,2 мм та 1,0 мм відповідно.

Найбільші за величиною вертикальні деформації виникають при русі випробувальної установки по задньому стику хрестовини стрілочного переводу. При цьому вертикальна деформація пневматичної ресори склала 6,2 мм проти 3,7 мм при русі у напрямі від сердечника на вусовик хрестовини. Однак, горизонтальні деформації, при русі по стику хрестовини є меншими за деформації при русі у напрямі від сердечника на

вусовик, чи від вусовика на сердечник. Горизонтальні деформації відповідно складають 0,58 мм, 1,2 мм та 1,0 мм.

Список джерел інформації:

- Орловскі, А. М., Каленик, К. А., Ковалчук В. В. (2011). Дослідження поздовжнього профілію жорстких крестовин на залізобетонних брусах // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаріана. – 2011. – № 41. – С. 130-135. [Orlovsky, A. M. et al. (2011). Study of the longitudinal profile of rigid crossbars on reinforced concrete bars. *Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazarovna*, 41, 130-135. (In Ukrainian)]
- Facchinetti, A. et al. (2010). Mathematical modelling of the secondary air spring suspension in railway vehicles and its effect on safety and ride comfort. *Vehicle Systems Dynamics*, 48(S1), 429-449. <https://doi.org/10.1080/00423114.2010.486036>
- Kovalchuk, V. et al. (2017). Evaluation of the stressed-strained state of crossings of the 1/11 type turnouts by the finite element method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(7 (88)), 10-16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.107024>
- Kovalchuk, V. et al. (2018a). Development of a promising system for diagnosing the frogs of railroad switches using the transverse profile measurement method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(1(92)), 33-42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.125699>
- Kovalchuk, V. et al. (2018b). Improving a methodology of theoretical determination of the frame and directing forces in modern diesel trains. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(7(96)), 19-25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.149838>
- Kovalchuk, V. et al. (2018c). Theoretical study into efficiency of the improved longitudinal profile of frogs at railroad switches. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(1(94)), 27-36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.139502>
- Kuzyshyn, A. et al. (2023). Determining patterns in the influence of the geometrical parameters of the connecting pipeline on the dynamic parameters of the pneumatic spring of railroad rolling stock. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(7(121)), 57-65. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.274180>
- Kuzyshyn, A. et al. (2024). Determining the effect of additional tank volume and air pressure in the spring on the dynamic indicators of a pneumatic system of spring suspension in high-speed railroad rolling stock. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(7(129)), 47-62. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304051>
- Li, X., & Li, T. (2013). Research on vertical stiffness of belted air springs. *Vehicle System Dynamics*, 51(11), 1655-1673. <https://doi.org/10.1080/00423114.2013.819984>
- Liufeng, Xu. (2020). Mathematical Modeling and Characteristic Analysis of the Vertical Stiffness for Railway Vehicle Air Spring System. *Mathematical Problems in Engineering*, 4, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2020/2036563>
- Mendia-Garcia, I. et al. (2022). A survey on the modelling of air springs – secondary suspension in railway vehicles. *Vehicle System Dynamics*, 60(3), 835-864. <https://doi.org/10.1080/00423114.2020.1838566>

- Mendia-Garcia, I. et al.(2024). Analysis of the axial and transversal stiffness of an air spring suspension of a railway vehicle: mathematical modelling and experiments. *International Journal of Rail Transportation*, 12(1), 56-75. <https://doi.org/10.1080/23248378.2022.2136276>
- Reidemeister, A. H., & Kyvysheva, A. V. (2016). Dependence of air spring parameters on throttle resistance. *Science and Progress of Transport. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of railway transport*, 2(62), 157-164. <https://doi.org/10.15802/stp2016/67339>
- Zhu, H. et al. (2017). A novel air spring dynamic model with pneumatic thermodynamics, effective friction and viscoelastic damping. *Journal of Sound and Vibration*, 408(1), 87-104. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2017.07.015>

Appendix



Рисунок 1. Пневматична ресора швидкісного рухомого складу

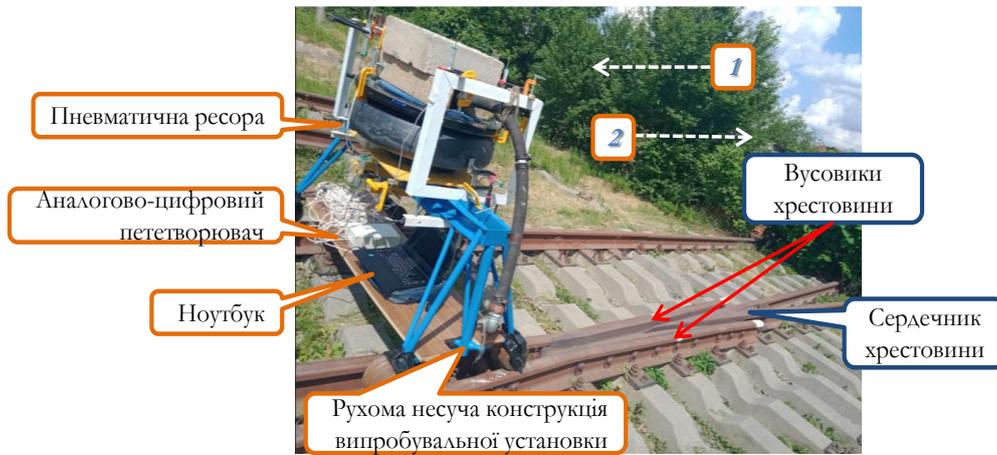


Рисунок 2. Установка для ходових динамічних випробувань пневматичної ресори: 1 – напрям руху від сердечника на вусовик хрестовини; 2 – напрям руху від вусовика на сердечник хрестовини



Рисунок 3. Схема розташування датчиків переміщень для вимірювання вертикальних та горизонтальних деформацій ресори

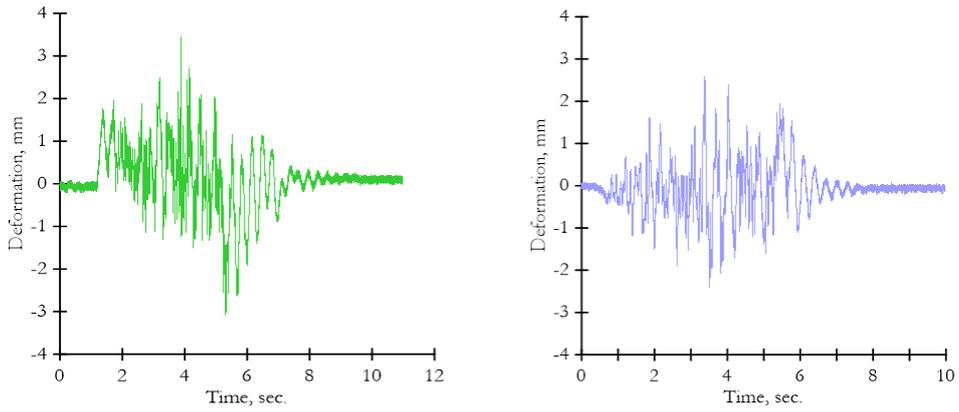


Рисунок 4. Записи вертикальних деформацій пневматичної ресори швидкісного рухомого складу: *a* – рух у напрямі від сердечника на вусовик хрестовини; *b* – рух у напрямі від вусовика на сердечник хрестовини

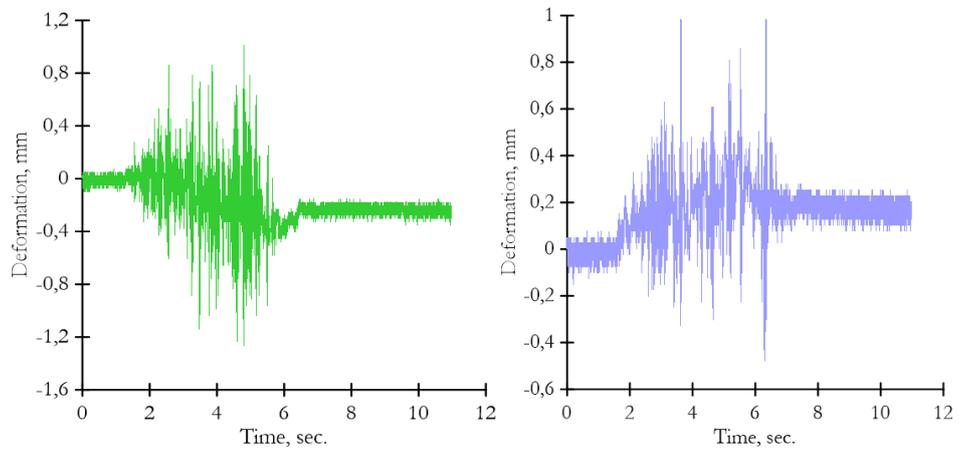


Рисунок 5. Записи горизонтальних деформацій пневматичної ресори швидкісного рухомого складу: *a* – рух у напрямі від сердечника на вусовик хрестовини; *b* – рух у напрямі від вусовика на сердечник хрестовини

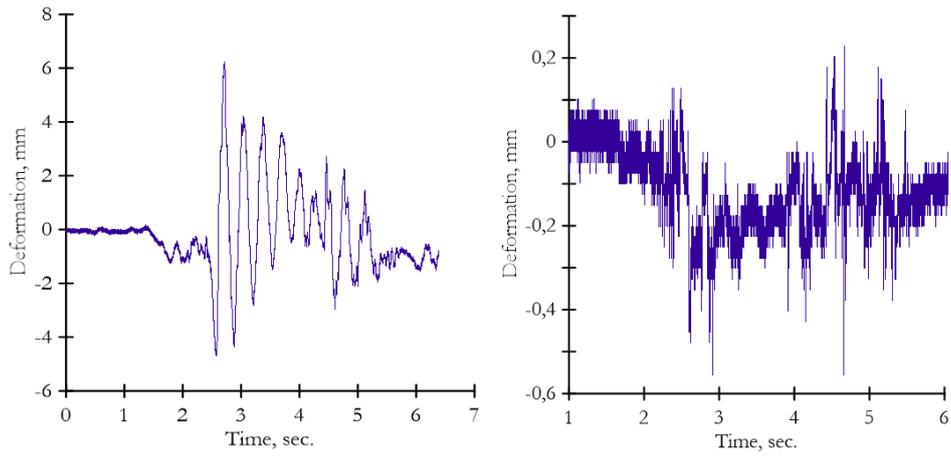


Figure 6. Записи вертикальних та горизонтальних деформацій пневматичної ресори швидкісного рухомого складу при русі по задньому стику хрестовини:
a – вертикальні деформації ресори; *b* – горизонтальні деформації ресори