

В.Л. МОНДРУС¹, Д.К. СИЗОВ¹, И.В. АКИМОВА²¹НИУ МГСУ «Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия²ООО «ВИБРОСЕЙСМОЗАЩИТА», г. Москва, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ ПЕРФОРИРОВАННОГО РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ВИБРОИЗОЛЯТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ, РЕАЛИЗУЮЩИХ МЕТОД КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

Аннотация. Описываются особенности статического и динамического поведения резинометаллических виброизоляторов, планируемых к использованию для виброизоляции зданий в современном строительном комплексе. Приводятся результаты конечно-элементного моделирования виброизоляторов с целью определения статических и динамических характеристик. Рассмотрены как однослойные виброизоляторы, так и виброизоляторы, включающие в себя три резиновых слоя. Как показали результаты расчетов, наличие перфораций существенным образом сказывается на несущей способности виброизоляторов, значительно уменьшая её, однако, эффективность работы таких виброизоляторов также повышается по сравнению с полностью монолитными виброизоляторами без отверстий. Это объясняется целым рядом причин, одна из которых – это практическая несжимаемость резиновых слоев. Фактически, резиновые тела могут подвергаться сжатию только за счет деформирования боковой поверхности, таким образом, развивая боковую поверхность резиновых слоев можно добиться приемлемой жесткости виброизолятора как конструктивного элемента, что позволит снизить жесткость системы виброизоляции. Существенно важным является и пространственное расположение отверстий, так размещение отверстий вблизи от боковой поверхности резинового слоя дает существенно меньший эффект, по сравнению с размещением отверстий в центре. В процессе расчета выяснилось, что в сжатых резиновых слоях наблюдается эффект образования ярко выраженных зон всестороннего сжатия. Наличие центральных отверстий приводит к разрушению таких зон в большинстве образцов, что позволяет в большей степени понизить первую собственную частоту виброизолируемой системы, тем самым, способствуя повышению эффективности виброзащитных мероприятий. Выбор конфигурации отверстий представляет собой оптимизационную задачу, где, с одной стороны, необходимо обеспечить приемлемую с точки зрения практики виброизоляции несущую способность виброизоляторов при заданных размерах виброизолятора в плане, а, с другой стороны, максимально снизить жесткость системы, увеличивая, таким образом, эффективность виброзащитных мероприятий.

Ключевые слова: резинометаллические виброизоляторы, виброзащита, метод конечно-элементного анализа, многослойные виброизоляторы, техногенная вибрация

V.L. MONDRUS¹, D.K. SIZOV¹, I.V. AKIMOVA²¹NRU MGSU «Moscow State Construction University», Moscow, Russia²LLC «VIBROSEISMOZASCHITA», Moscow, Russia

DETERMINATION OF THE CHARACTERISTIC FEATURES OF THE OPERATION OF A PERFORATED RUBBER-METALLIC VIBRATOR INSULATOR WITH THE USE OF SOFTWARE PACKAGES IMPLEMENTING THE FINITE ELEMENT METHOD

Abstract. The features of the static and dynamic behavior of rubber-metal vibration isolators planned for use for vibration isolation of buildings in a modern building complex are considered.

© Мондрус В.Л., Сизов Д.К., Акимова И.В., 2023

The results of finite element modeling of vibration isolators are presented in order to determine the static and dynamic characteristics. Both single-layer vibration isolators and vibration isolators, including three rubber layers, are considered. As the calculation results showed, the presence of perforations significantly affects the bearing capacity of vibration isolators, significantly reducing it, however, the efficiency of such vibration isolators also increases compared to completely monolithic vibration isolators without holes. This is due to a number of reasons, one of which is the practical incompressibility of the rubber layers. In fact, rubber bodies can be subjected to compression only due to the deformation of the side surface, thus, by developing the side surface of the rubber layers, it is possible to achieve acceptable rigidity of the vibration isolator as a structural element, which will reduce the rigidity of the vibration isolation system. The spatial arrangement of the holes is also essential, since the placement of the holes close to the side surface of the rubber layer gives a significantly smaller effect compared to the placement of the holes in the center. In the process of calculation, it turned out that in the compressed rubber layers, the effect of the formation of pronounced zones of all-round compression is observed. The presence of central holes leads to the destruction of such zones in most samples, which makes it possible to reduce the first natural frequency of the vibration-isolated system to a greater extent, thereby contributing to an increase in the effectiveness of vibration protection measures. The choice of the hole configuration is an optimization problem, where, on the one hand, it is necessary to ensure the bearing capacity of vibration isolators acceptable from the point of view of vibration isolation for given dimensions of the vibration isolator in the plan, and, on the other hand, to minimize the rigidity of the system, thus increasing the effectiveness of vibration protection measures.

Keywords: rubber-metal vibration isolators, vibration protection, finite element method, multilayer vibration isolators, industrial vibration.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дашевский М.А., Ковальчук О.А., Мондрус В.Л. Влияние поездного состава метрополитена на поведение крупнопанельных зданий повышенной этажности // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений (ССБС). 2004. № 3. С. 40-43.
2. Дашевский М.А., Моторин В.В., Акимова И.В. Формирование напряжённого состояния виброизолируемого здания в процессе монтажа резинометаллических виброизоляторов // Москва. Вестник МГСУ. 2015. № 12. С. 25-33.
3. Liu W.N., M.Ma, Metro Train Induced Environmental Vibrations: Prediction, Evaluation and Control // Science Press, Beijing, China. 2013. Pp. 615-626. doi:10.1007/978-981-15-2349-6_38
4. Fang L., Yao J., Xia H. Prediction on soil-ground vibration induced by high-speed moving train based on artificial neural network model // Advances in Mechanical Engineering. 2019. Vol. 11. No. 5. doi:10.1177/1687814019847290 journals.sagepub.com/home/ade
5. Tao Sheng, Gan-bin Liu, XuechengBian, Wei-xing Shi, Yue Chen, Development of a three-directional vibration isolator for buildings subject to metro- and earthquake-induced vibrations // Engineering Structures. 2022. Vol. 252. 113576, ISSN 0141-0296
6. Yang, Jianjin , Shengyang Zhu, Wanming Zhai, Georges Kouroussis, Yue Wang, Kaiyun Wang, Kai Lan, Fangzheng Xu, Prediction and mitigation of train-induced vibrations of large-scale building constructed on subway tunnel // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 668. Pp. 485-499.
7. Sheng X., Jones C.J.C., Thompson D.J. Prediction of ground vibration from trains using the wavenumber finite and boundary element methods // Journal of Sound and Vibration. 2006. Vol. 293. No. 3-5. Pp. 575-586.
8. Мондрус В.Л., Хуэн Л.Т.Т., Сизов Д.К. Распределение амплитуд виброускорений в многоэтажном административном здании от источников техногенного происхождения // Вестник МГСУ. 2010. № 1. С. 113-116.
9. Волков А.В., Калашникова Н.К., Курнавин С.А., Веретина И.А. Виброзащита зданий, расположенных вблизи линий метрополитена. [Электронный ресурс]. <http://www.mukhin.ru/stroysovet/funds/35.html> (дата обращения: 24.07.2023).
10. Дашевский М.А., Моторин В.В., Мамажанов М.А. Виброзащита крупнопанельных зданий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004. № 10. [Электронный ресурс]. <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-vibrozaschity-zdaniy-i-sooruzheniy-v-pole-stroitelnyh-normativov-rf/viewer> (дата обращения: 24.07.2023).
11. Trifunac M.D., Ivanovic S.S., Todorovska M.I. Wave propagation in a seven-story reinforced concrete building: III Damage detection via changes in wavenumbers // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2003. Vol. 23. Iss. 1. Pp. 65-75.
12. Mickaitis M., Stauskis V.J. Vibration transmission through joints of walls and columns in frame buildings // Journal of civil engineering and management. 2005. Vol. XI. No. 3. Pp. 185-191.

13. Алявдин П.В., Музычкин Ю.А. Вибрация конструкций каркасного здания, вызванная движением поездов метрополитена // Вестник Белорусского национального технического университета: научно-технический журнал. 2011. № 2. С. 5-9.
14. Дашевский М.А., Мондрус В.В., Моторин В.В., Сизов Д.К. Виброзащита зданий Москва: Из-во ООО «Сам Полиграфист», 2021. 252 с.
15. Мондрус В.Л., Сизов Д.К., Хуэн Л.Т.Т. Снижение уровня сейсмического воздействия при движении грунта основания с использованием сейсмоизоляторов // Строительные материалы, оборудование, технологии XIX века. 2011. № 1(144). С. 48-49.
16. Балакин П.Д., Красотина Л.В., Кривцов А.В. Моделирование работы резинометаллического виброизолятора // Омск: Омский научный вестник. 2016. № 3 (147). С. 5-9.
17. Федорова А.С. Расчет систем виброизоляции в том числе с нелинейными характеристиками // Дни студенческой науки Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института строительства и архитектуры НИУ МГСУ (13-17 марта 2017). 2017. С. 871-874. ISBN 978-5-7264-1604-5.
18. Zhixing Li, Jingjun Lou, Shijian Zhu and Simi Tang, Simulation on performance of rubber isolator based on ANSYS, 2011 // Second International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, Inner Mongolia, China, 2011. Pp. 1608-1611. doi:10.1109/MACE.2011.5987260
19. Дашевский М.А. Инженерный метод нелинейного расчета резинометаллических виброизоляторов для зданий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2006. № 6. С. 37-41.
20. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/Nastran for Windows. Москва: ДМК Пресс, 2003. 448 с.
21. Басов К.А. ANSYS Справочник пользователя. Москва: ДМК Пресс, 2014. 640 с.
22. Басов К.А. ANSYS В примерах и задачах. Москва: КомпьютерПресс, 2002. 224 с.

REFERENCES

1. Dashevskyy M.A., Koval'chuk O.A., Mondrus V.L Vliyaniye poyezdnogo sostava metropolitena na povedeniye krupnopanel'nykh zdaniy povyshennoy etazhnosti [The Influence of the Subway Train Composition on the Behavior of Large-Panel High-Rise Buildings] // Seysmostoykoye stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy (SSBS). 2004. No. 3. Pp. 40-43. (rus).
2. Dashevskiy M.A., Motorin V.V., Akimova I.V. Formirovaniye napryazhonogo sostoyaniya vibroizoliruyemogo zdaniya v protsesse montazha rezinometallicheskiykh vibroizolyatorov [Formation of a stressed state of a vibration-insulated building during the installation of rubber-metal vibration isolators] Vestnik MGSU. 2015. No. 12. Pp.25-33. (rus).
3. Liu W.N., M. Ma, Metro Train Induced Environmental Vibrations: Prediction, Evaluation and Control // Science Press, Beijing, China. 2013. Pp. 615-626. doi:10.1007/978-981-15-2349-6_38
4. Fang L., Yao J., Xia H. Prediction on soil-ground vibration induced by high-speed moving train based on artificial neural network model // Advances in Mechanical Engineering, 2019. Vol. 11. No. 5. doi:10.1177/1687814019847290 journals.sagepub.com/home/ade
5. Tao Sheng, Gan-bin Liu, XuechengBian, Wei-xing Shi, Yue Chen, Development of a three-directional vibration isolator for buildings subject to metro- and earthquake-induced vibrations // Engineering Structures. 2022. Vol. 252. 113576, ISSN 0141-0296
6. Yang, Jianjin , Shengyang Zhu, Wanming Zhai, Georges Kouroussis, Yue Wang, Kaiyun Wang, Kai Lan, Fangzheng Xu, Prediction and mitigation of train-induced vibrations of large-scale building constructed on subway tunnel // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 668. Pp. 485-499.
7. Sheng X., Jones C.J.C., Thompson D.J. Prediction of ground vibration from trains using the wavenumber finite and boundary element methods // Journal of Sound and Vibration. 2006. Vol. 293. No. 3-5. Pp. 575-586.
8. Mondrus V.L., Khuen L.T.T., Sizov D.K. Raspredeleniye amplitud vibrouskoreniy v mnogoetazhnom administrativnom zdanii ot istochnikov tekhnogennogo proiskhozhdeniya [Distribution of amplitudes of vibration accelerations in a multi-storey administrative building from sources of technogenic origin] Vestnik MGSU. 2010. No. 1. Pp. 113-116. (rus).
9. Volkov A.V., Kalashnikova N.K., Kurnavin S.A., Veretina I.A. Vibrozashchita zdaniy, raspolozhennykh vblizi liniy metropolitena [Vibration protection of buildings located near metro lines]. [Online]. <http://www.mukhin.ru/stroysovet/funds/35.html> (date of application: 24.07.2023). (rus).
10. Dashevskiy M.A., Motorin V.V., Mamazhanov M.A. Vibrozashchita krupnopanel'nykh zdaniy. [Vibration protection of large-panel buildings] // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004. No. 10. [Online]. <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-vibrozaschity-zdaniy-i-sooruzheniy-v-pole-stroitelnyh-normativov-rf/viewer> (date of application: 24.07.2023). (rus).
11. Trifunac M.D., Ivanovic S.S., Todorovska M.I. Wave propagation in a seven-story reinforced concrete building: III Damage detection via changes in wavenumbers // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2003. Vol.23. Iss. 1. Pp. 65-75.
12. Mickaitis M., Stauskis V.J. Vibration transmission through joints of walls and columns in frame buildings // Journal of civil engineering and management. 2005. Vol. XI. No. 3. Pp. 185-191.

13. Alyavdin P.V., Muzychkin YU.A. Vibratsiya konstruktivnykh karkasnykh zdaniy, vyzvannaya dvizheniyem poyezdov metropolitena [Vibration of frame building structures caused by the movement of subway trains] Vestnik Belorusskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta : nauchno-tekhnicheskii zhurnal. 2011. No. 2. Pp. 5-9. (rus).
14. Dashevskiy M.A., Mondrus V.V., Motorin V.V., Sizov D.K.. Vibrozashchita zdaniy [Vibration protection of buildings]. Moscow: Iz-vo LLC «Sam Poligrafist», 2021. 252 p.
15. Mondrus V.L., Sizov D.K., Khuen L.T.T. Snizheniye urovnya seysmicheskogo vozdeystviya pri dvizhenii grunta osnovaniya s ispol'zovaniyem seysmoizolyatorov [Reducing the level of seismic impact during the movement of the foundation soil using seismic isolators] Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XIX veka. 2011. No. 1(144). Pp. 48-49. (rus).
16. Balakin P.D., Krasotina L.V., Krivtsov A.V. Modelirovaniye raboty rezinometallicheskogo vibroizolyatora [Modeling the operation of a rubber-metal vibration isolator] Omskiy nauchnyy vestnik. 2016. No. 3 (147). Pp. 5-9.
17. Fedorova A.S. Raschet sistem vibroizolyatsii v tom chisle s nelineynymi kharakteristikami [Calculation of vibration isolation systems, including those with non-linear characteristics] // Dni studencheskoy nauki Sbornik dokladov nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po itogam nauchno-issledovatel'skikh rabot studentov instituta stroitel'stva i arkhitektury NIU MGSU (13-17 marta 2017). 2017. Pp. 871-874. ISBN 978-5-7264-1604-5. (rus).
18. Zhixing Li, Jingjun Lou, Shijian Zhu and Simi Tang, Simulation on performance of rubber isolator based on ANSYS, 2011 // Second International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, Inner Mongolia, China. 2011. Pp. 1608-1611. doi:10.1109/MACE.2011.5987260
19. Dashevskiy M.A. Inzhenernyy metod nelineynogo rascheta rezinometallicheskh vibroizolyatorov dlya zdaniy [Engineering method for non-linear calculation of rubber-metal vibration isolators for buildings] Seysmostoykoye stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy. 2006. No. 6. Pp. 37-41. (rus).
20. Shimkovich D.G. Raschet konstruktivnykh v MSC/Nastran for Windows. [Structural Analysis in MSC/Nastran for Windows] Moscow: DMK Press, 2003. 448 p. (rus).
21. Basov K.A. ANSYS Spravochnik pol'zovatelya [ANSYS User Manual]. Moscow: DMK Press. 2014. 640 p. (rus).
22. Basov K.A. ANSYS V primerakh i zadachakh. [ANSYS In examples and tasks] Moscow: ComputerPress. 2002. 224 p. (rus).

Информация об авторах:

Мондрус Владимир Львович

НИУ МГСУ «Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия,
доктор технических наук, член-корр. РААСН, заведующий кафедрой «Строительная и теоретическая механика», и.о. президента Eurasian SEISMO Association (EASA).
E-mail: mondrus@mail.ru

Сизов Дмитрий Константинович

НИУ МГСУ «Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительная и теоретическая механика».
E-mail: newfff@mail.ru

Акимова Ирина Валерьевна

ООО «ВИБРОСЕЙСМОЗАЩИТА», г. Москва, Россия,
ведущий инженер.
E-mail: vibroprotect@mail.ru

Information about authors:

Mondrus Vladimir L.

NRU MGSU «Moscow State Construction University», Moscow, Russia,
Professor, Corresponding Member RAASN, Head of the Department of Construction and Theoretical Mechanics, NRU MGSU, acting President of the Eurasian SEISMO Association (EASA).
E-mail: mondrus@mail.ru

Sizov Dmitry K.

NRU MGSU «Moscow State Construction University», Moscow, Russia,
candidate of technical science, associate professor of the department of Construction and Theoretical Mechanics.
E-mail: newfff@mail.ru

Akimova Irina V.

LLC "VIBROSEISMOZASCHITA", Moscow, Russia,
leading engineer.
E-mail: vibroprotect@mail.ru