

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛАСТОМЕРНОГО ВИБРОИЗОЛЯТОРА

Васько В. М., Гребенюк С. Н., Решевская Е. С.

*Запорожский национальный университет,
ул. Жуковского, 66, г. Запорожье, Украина*

kusya81@mail.ru, gsm1212@ukr.net, res82@mail.ru

В статье приведен краткий обзор вычислительных комплексов для определения напряженно-деформированного состояния элементов различной природы. Проведен численный расчет полей напряжений, деформаций и перемещений в трехмерной постановке с учетом контакта эластомерного виброизолятора ВН-200 и железной плиты. В результате расчета получены величины осадки виброизолятора, зоны контакта в зависимости от приложенной нагрузки.

Ключевые слова: эластомер, виброизолятор, моментная схема метода конечных элементов, контактная задача.

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЕЛАСТОМЕРНОГО ВІБРОПОГЛИНАЧА

Васько В. М., Гребенюк С. М., Решевська К. С.

*Запорізький національний університет,
вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, Україна*

kusya81@mail.ru, gsm1212@ukr.net, res82@mail.ru

У статті наведений стислий огляд обчислювальних комплексів для визначення напружено-деформованого стану елементів різної природи. Проведений чисельний розрахунок поля напружень, деформацій та переміщень у тривимірній постановці задачі з урахуванням контакту еластомерного вібропоглинача ВН-200 та залізної плити. За результатами розрахунку отримані значення просідання вібропоглинача, зони контакту відповідно до заданого навантаження.

Ключові слова: еластомер, вібропоглинач, моментна схема методу скінченних елементів, контактна задача.

A DETERMINATION OF STRESS-STRAIN STATE OF ELASTOMERIC ISOLATOR

Vasko V. M., Grebenyuk S. M., Reshevskaya E. S.

*Zaporizhzhya national university,
Zhukovsky str., 66, Zaporizhzhya, Ukraine*

kusya81@mail.ru, gsm1212@ukr.net, res82@mail.ru

The use of the finite element method allows to calculate structures with complex geometry on the strength and stiffness, with using of various schemes of loading, as well as taking into account the specific properties of materials components. The software package "MIPEJA+" is a mechanism for calculating the elastomeric structures, based on the finite element method taking into account the characteristics of elastomers. The process of calculation is divided into three interconnected stages: the first stage of implementing – preprocessing; the second stage of implementing – the realization of processor performance with calculation of the stiffness matrix of finite elements, the construction of equations resolving system and its solution; the third phase of implementing – the work of the postprocessor, which allows to find the vector of nodal displacements, which on the basis are determined field strains and stresses and their values are filing.

Computing complex "MIPEJA+" consists of several subsystems. It implements methods for solving linear and nonlinear elasticity, viscoelasticity and heat conduction problems in nonlinear fracture mechanics, determining the temperature of dissipative heating, linear fracture mechanics, structural analysis of composites, dynamics, durability and contact mechanics problems.

It is conducted a research of stress-strain state of the rubber isolator ВН-200. The isolators ВН-200 have a step on its side surface, which allows to obtain a complex stiffness characteristics under axial compression.

For a numerical calculation, which have been conducted in the "MIPEJA+", it viewed the fourth part of the isolator. The action of the plate has been modeled based application of distributed load p.

It is obtained linear dependence in the contact zone, because it have been considered a problem of linear elasticity under a load not exceeding the allowable value.

In "MIPEJA+" it is presented the visualization of input data and the calculation results in the form of three-dimensional images.

Key words: an elastomer, an isolator, the moment scheme of a method of final elements, a contact problem.

ВВЕДЕНИЕ

Применение метода конечных элементов позволяет проводить расчет конструкций со сложной геометрией на прочность и жёсткость, с использованием различных схем нагружения, а также с учётом специфических свойств материалов деталей.

В связи с развитием численных методов, которые могут быть использованы для решения различных классов задач теории упругости, появилась потребность в универсальных программных комплексах, реализующих данные методы эффективным уровне. Такие вычислительные комплексы должны обладать гибкостью, позволять пользователю вносить изменения в расчет и визуализировать результаты расчета. Среди программных комплексов, разработанных для исследования различных конструкций можно выделить: Мономах [1, с.10], ЛИРА [2, с.8], SolidWorks [3, с.1], RFEM [4, с.1], SCAD [5, с.5], ПК Robot Millennium [6, с.2] и др. Краткие обзоры современных САПР представлены в [7, с.1; 8, с.1]. Вычислительных систем, предназначенных для определения напряжения и деформаций эластомерных конструкций, сравнительно немного, например: Code_Aster [9, с.1], ANSYS [10, с.1; 11, с.1], МІРЕЛА+ [12, с.62].

В программном комплексе «МІРЕЛА+» реализован расчет эластомерных конструкций на основе метода конечных элементов, учитывающего особенности эластомеров.

Процесс расчета разделяется на три взаимосвязанных этапа: первый этап реализует работу препроцессора, т.е. задается конечно-элементная дискретизация расчетной схемы, топология и граничные условия исследуемого объекта, физические характеристики материала; второй этап реализует работу процессора и включает в себя расчет матрицы жесткости конечных элементов, построение разрешающей системы уравнений и ее решение; третий этап реализует работу постпроцессора, т.е. находится вектор узловых перемещений, на основе которого определяются поля деформаций и напряжений и их значения заносятся в файл.

Вычислительный комплекс «МІРЕЛА+» состоит из нескольких подсистем, определяющих решение задач теории упругости различных классов и визуализацию результатов. В нем реализованы способы решения задач линейной и нелинейной теории упругости, вязкоупругости и теплопроводности, задач нелинейной механики разрушения, определения температуры диссипативного разогрева, линейной механики разрушения, расчета конструкций из композитов, динамики, долговечности и задач контактной механики.

РЕАЛИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ ЭЛАСТОМЕРОВ В СИСТЕМЕ «МІРЕЛА+»

В условиях развития машиностроения, автомобилестроения и других отраслей промышленности актуальной на сегодняшний день остается концепция введения в структурную схему машин полимерных и эластомерных звеньев, как-то виброизоляторы, износостойкие покрытия, упругие прокладки, демпферы и т.д. [13, с.99]. Практически считается, что резина – несжимаемый материал и ее коэффициент Пуассона $\nu = 0,5$. Для учета особенностей эластомеров в системе «МІРЕЛА+» используется моментная схема конечного элемента.

Используемый вариант МКЭ приводит к матрицам жесткости КЭ, которые учитывают жесткие смещения, эффект ложного сдвига, слабую сжимаемость эластомеров. Это достигается путем сопоставления разложений полей перемещений, деформаций и функции изменения объема (функции объемной деформации). Так, к примеру, коэффициенты разложения линейных деформаций в выражении для разложения функции изменения объема вносят существенные погрешности в решения. Отбрасывая или минимизируя данные члены разложения, тем самым обходим эффекты, связанные с вырождением задачи и замедлением сходимости МКЭ. Порядок разложения деформаций и функций изменения объема находится в строгом соответствии с порядком аппроксимации функции перемещений и выбирается с таким расчетом, чтобы исключить все компоненты деформаций, реагирующие на жесткие смещения и эффект ложного сдвига, и все компоненты функции изменения объема, реагирующие на слабую сжимаемость эластомера [12, с.52].

Было проведено исследование напряженно-деформированного состояния резинового виброизолятора ВН-200, который используется с целью снижения уровня колебаний рабочих элементов вибрационных машин. Проектное отличие виброизоляторов типа ВН-200 от остальных виброизоляторов типа ВН заключается в наличии ступеньки на боковой поверхности, что позволяет получать сложную жесткостную характеристику при осевом сжатии с сохранением сдвиговых характеристик.

Модель контактного взаимодействия описывалась при помощи условия непроникновения [14, с. 43]. Алгоритм решения контактной задачи приведен в [15, с.56].

Исследуемый образец имеет следующие расчетные характеристики (рис. 1, а): $H = 115$ мм, $D = 285$ мм, $R_1 = 40$ мм, $R_2 = 45$ мм, $R_3 = 18$ мм. Марка резины – 2959. Модуль сдвига – $G = 1,76$ МПа. Для численного расчета, проводившегося в системе МІРЕЛА+, рассматривалась, без ограничения общности, четвертая часть виброизолятора (рис. 1, б). Действие нагружающей плиты моделировалось в расчете приложением распределенной нагрузки p .

Расчетная схема и условия нагружения приведены на рис. 1.

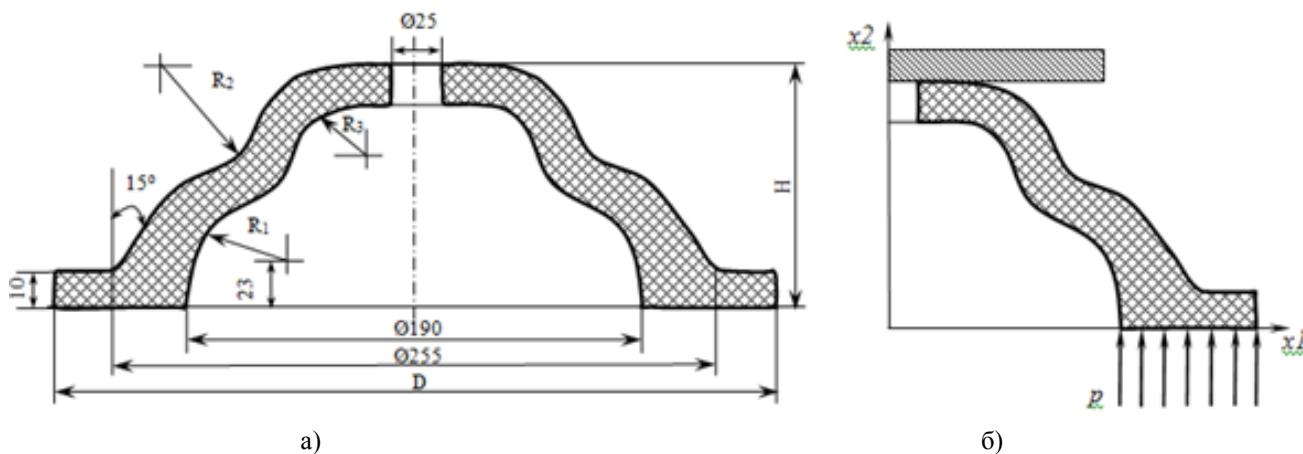


Рис. 1. Виброизолятор ВН-200: а) поперечное сечение, б) расчетная схема

По проведенному расчету исследуемой пространственной эластомерной конструкции были получены следующие результаты.

Результаты исследований контактного взаимодействия эластомерного виброизолятора с плитами различной массы представлены в таблице 1 и рис. 2 и 3.

Таблица 1 – Расчетные данные величин осадки и размера зоны контакта виброизолятора ВН-200 в зависимости от приложенной нагрузки

Вес плиты, кг	Осадка виброизолятора, 10^{-2} м	Величина зоны контакта, 10^{-2} м
10	0,17248	3,394593189
15	0,34496	3,38585138
20	0,34496	3,37710957
25	0,4312	4,023384066
30	0,51744	4,01638818
35	0,5946	4,68920068
40	0,68992	4,634308415
45	0,77616	4,62941615
50	0,8624	4,624523884
55	0,94864	5,215318164
60	1,0349	5,212832854
65	1,1211	5,210347543

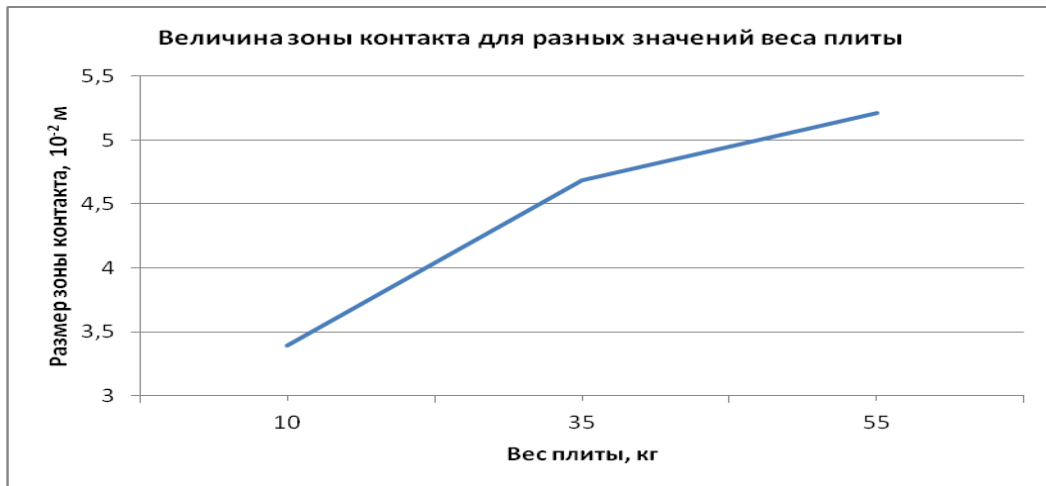


Рис. 2. Зависимость размера зоны контакта эластомерного элемента от массы давящей плиты

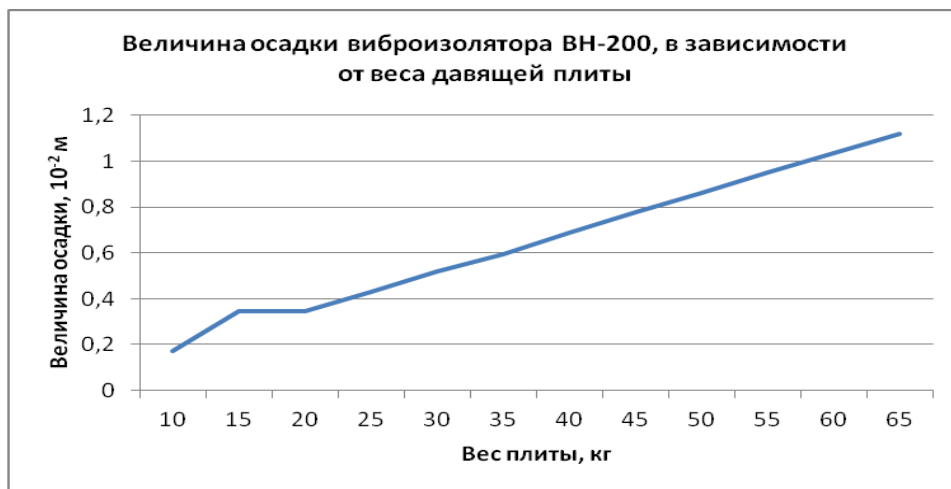


Рис. 3. Зависимость величины осадки виброизолятора ВН-200 от веса плиты

Как видно из рисунков 2 и 3, получены линейные зависимости величины зоны контакта от действующих нагрузок, что подтверждает предположение о том, что рассматриваемые задачи являются задачами линейной теории упругости при взаимодействии с плитами, которые имеют вес не превышающий допустимый.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ ЭЛАСТОМЕРОВ В СИСТЕМЕ «МИРЕЛА+»

В системе «МИРЕЛА+» имеется возможность наглядного представления, как исходных данных, так и результатов расчета, в виде трехмерных изображений рис. 4-5.

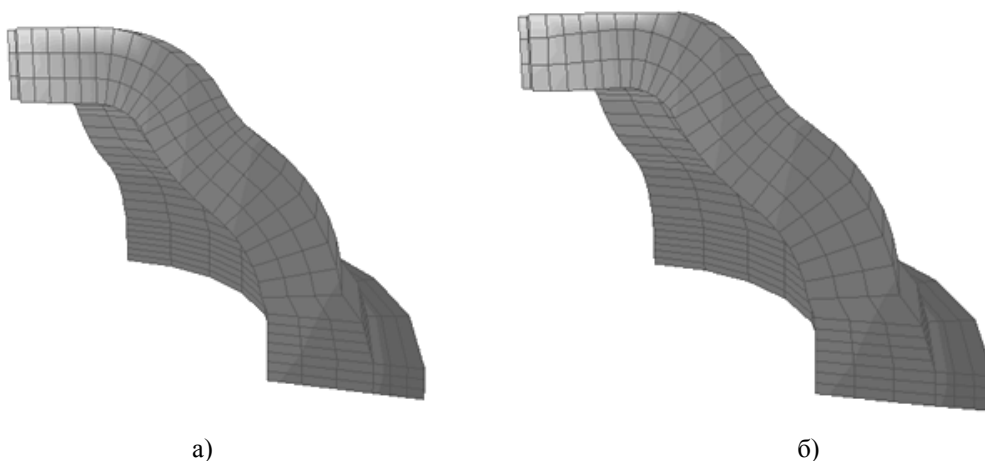


Рис. 4. Виброизолятор ВН-200: а) ненагруженное состояние, б) в случае контактного взаимодействия

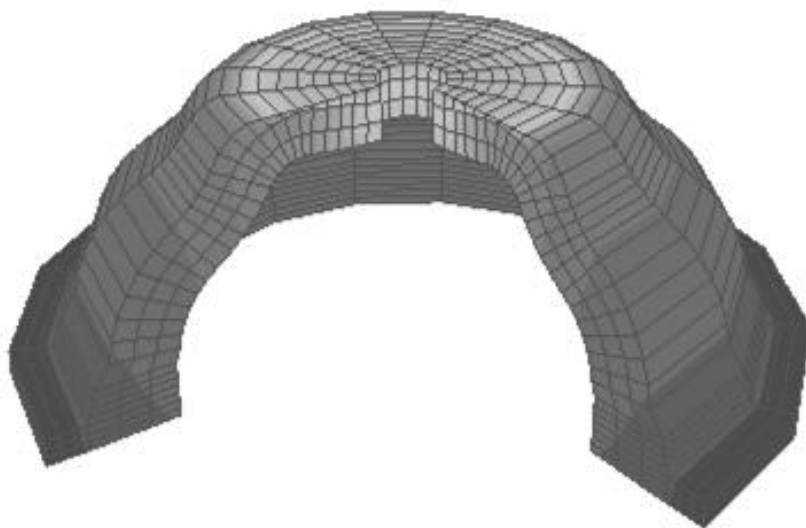


Рис. 5. Дискретная модель 3/4 виброизолятора ВН-200 в нагруженном состоянии

ЛІТЕРАТУРА

1. МОНОМАХ-САПР 2013. Примеры расчета и проектирования : Учебное пособие / [Д.А. Городецкий, С.В. Юсипенко, Л.Г. Батрак и др.]. – К. : Электронное издание, 2013. – 368 с.
2. Титаев В. А. Автоматизация расчета строительных конструкций на примере ЛИРА-подобных программных комплексов / В.А. Титаев. – Хабаровск : ДВГУПС, 2001. – 161 с.
3. Solidworks – программа для твёрдотельного моделирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу : <http://www.2d-3d.ru/opisanie-programm/9-solidworks-programma-dlja.html>.
4. RFEM 5.xx. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. – Режим доступа к ресурсу : <https://www.dlubal.com/ru/rfem-5xx.aspx>.
5. Програмно-вычислительный комплекс SCAD для расчета железобетонных конструкций : Учебное пособие / Л.И. Труш. – Н.Новгород : Нижегород. гос. архит.-строит.ун-т, 2004. – 101 с.
6. Егупов К. Robot Millennium – многоцелевое программное обеспечение для инженерных расчетов и проектирования / К. Егупов // Периодическое издание. САПР и графика. – 08/2002. – № 8. – С. 190-203.
7. Краткий обзор современных программных комплексов [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу : <http://www.bourabai.kz/graphics/dir.htm>.
8. Обзор и описание Программных комплексов [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу : <http://stroyforum.pro/forum/showthread.php?t=3539>.
9. Code_Aster [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу : http://en.wikipedia.org/wiki/Code_Aster.
10. ANSYS [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу : [www.ansys.com/About+ ANSYS](http://www.ansys.com/About+ANSYS).
11. Системы автоматизации инженерных расчетов [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу : <http://www.cadfem-cis.ru/products/ansys/>.
12. Киричевский В. В. Метод конечных элементов в вычислительном комплексе «МИРЕЛА+» / [В.В. Киричевский., Б.М. Дохняк., Ю.Г. Козуб и др.]. – К. : Наук. думка, 2005. – 403 с.
13. Дырда В. И. Аналитические и численные методы расчета резиновых деталей / В.И. Дырда, С.Н. Гребенюк, С.И. Гоменюк. – Днепропетровск-Запорожье : ЗНУ, 2012. – 370 с.

14. Бинкевич Е. В. Применение метода конечных элементов в задачах о контактном взаимодействии элементов конструкций / Е.В. Бинкевич, С.А. Летучая. – Днепропетровск : Издательство ДГУ, 1988. – 88 с.
15. Киричевский Р. В. Исследование задач механики деформируемого твердого тела в вычислительном комплексе «МИРЕЛА+» / [Р.В. Киричевский, Е.С. Решевская, В.М. Тархова и др.] // Радиоэлектроника. Информатика. Управление. – 2006. – № 2/ 16. – С. 54-60.

REFERENCES

1. Gorodetskii, D.A., Yusipenko, S.V., Batrak, L.G., Lazarev, A.A. and Rasskazov, A.A. (2013), *MONOMAKH-SAPR 2013. Primery rascheta i proektirovaniya: Uchebnoe posobie* [MONOMAKH-CAD 2013. Examples of calculation and design: Textbook], Elektronnoe izdanie, Kyiv, Ukraine.
2. Titaev, V.A. (2001), *Avtomatizatsiya rascheta stroitel'nykh konstruksii na primere LIRA-podobnykh programmnykh kompleksov* [Automation design of structures on the example of ЛИРА-like software systems], DVGUPS, Khabarovsk, Russia.
3. 2d-3d.ru (2007), “Solidworks – the program for solid modeling”, available at: www.2d-3d.ru/opisanie-programm/9-solidworks-programma-dlja.html (access April 20, 2015).
4. RFEM 5.xx. – Dlubal Software. (2015), “The program complex for calculation and design of structures”, available at: www.dlubal.com/ru/rfem-5xx.aspx(access April 20, 2015).
5. Trush, L.I. (2004), *Programno-vychislitel'nyi kompleks SCAD dlya rascheta zhelezobetonnykh konstruksii: Uchebnoe posobie* [The software-computer complex SCAD for the calculation of reinforced concrete structures: Textbook], Nizhegorod. gos. arkhitekt.-stroitel'n. univ., Nizhny Novgorod, Russia.
6. Egupov, K. (2002), “Robot Millennium is a multipurpose software for engineering calculations and design”, *Periodicheskoe izdanie. SAPR i grafika*, no. 8, pp. 190-203.
7. Khaidarov, K.A. (2015), “A brief overview of modern software systems”, available at: www.bourabai.kz/graphics/dir.htm (access April 21, 2015).
8. SrtoyForum.pro (2010), “Overview and description of the software complex”, available at: <http://stroyforum.pro/forum/showthread.php?t=3539> (access April 21, 2015).
9. Wikipedia (2014), “Code_Aster”, available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Code_Aster (access April 21, 2015).
10. ANSYS (2015), “About ANSYS, Inc.”, available at: www.ansys.com/About+ANSYS (access April 24, 2015).
11. CADFEM (2015), “Automation of engineering calculations”, available at: www.cadfem-cis.ru/products/ansys (access April 24, 2015).
12. Kirichevskii, V.V., Dokhnyak, B.M., Kozub, Yu.G., Gomenyuk, S.I., Kirichevskii, R.V. and Grebenyuk, S.N. (2005), *Metod konechnykh elementov v vychislitel'nom komplekse “MIRELA+”* [The finite element method is in the computationally complex “MIRELA +”], Nauk. dumka, Kyiv, Ukraine.
13. Dyrda, V.I., Grebenyuk, C.N. and Gomenyuk, S.I. (2012), *Analiticheskie i chislennye metody rascheta rezinovykh detalei* [Analytical and numerical methods for calculating the rubber parts], ZNU, Dnepropetrovsk-Zaporozhye, Ukraine.
14. Binkevich, E.V. and Letuchaya, S.A. (1988), *Primenenie metoda konechnykh elementov v zadachakh o kontaktnom vzaimodeistvii elementov konstruksii* [An Application of the finite element method in problems of contact interaction of structural elements], Izdatel'stvo DGU, Dnepropetrovsk, Ukraine.
15. Kirichevskii, R.V., Reshevskaya, E.S., Tarkhova, V.M., Prokopenko, E.V. and Kirichevskii, V.V. (2006), “The Research of problems of solid mechanics in the computational complex “MIRELA +”, *Radioelektronika. Informatika. Upravlenie*, no. 2/16, pp. 54-60.