

3. Tkachenko V. N. Vliyanie sil zatsepleniya I geometricheskoy nelineynosti na napriazheniya v zubchatom ventce gibkogo kola volnovoy zubchatoy peredachi [The effect of the engagement forces and geometric nonlinearity on the tension in supple wheels harmonic drive]. *Vestn. Khar'k. Politekhn. In-ta. Ser.: Transport mashinostroeniye* [Bulletin of the Karkov Polytechnic Institute. Series: Transportation engineering]. Kharkov, 2009, no. 47, pp.193–196.
4. Tkachenko V. N. Opredelenie optimalnoy tolshiny zubchatogo ventca gibkogo kola volnovoy peredachi [The definition of a optimal thickness of the flexible ring gear wheel harmonic drive] *Sbornik nauchnykh trudov "Visokie technologiy v mashinostroeni"* [High technologies of machine-bulding]. Kharkov, 2006, pp.477–480.

Поступила (received) 12.04.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Випробування хвильової зубчастої передачі з дисковим генератором хвиль на витривалість / В. М. Ткаченко // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х. : НТУ "ХПІ", 2016. – № 23 (1195). – С. 146–149. – Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2079-0791.

Испытания волновой зубчатой передачи с дисковым генератором волн на выносливость/ В. Н. Ткаченко // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х. : НТУ "ХПІ", 2016. – № 23 (1195). – С. 146–149. – Библиогр.: 4 назв. – ISSN 2079-0791.

Testing the harmonic drive with disk generator wave on endurance / V. N. Tkachenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problem of mechanical drive. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2016. – No. 23 (1195). – P. 146–149. – Bibliogr.: 4. – ISSN 2079-0791.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ткаченко Віталій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри "Деталі машин та прикладна механіка"; тел.: (057) 707-64-55.

Ткаченко Віталій Николаевич – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", доцент кафедры "Детали машин и прикладная механика"; тел.: (057) 707-64-55.

Tkachenko Vitaliy Nikolaevich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of "Machine elements and applied mechanics"; tel.: (057) 707-64-55.

УДК 539.3

М. А. ЧУБАНЬ, Р. И. ШЕЙЧЕНКО, Р. В. ГРАБОРОВ, А. В. ГРАБОВСКИЙ, А. Ю. ТАНЧЕНКО, Н. А. ТКАЧУК

ВЛИЯНИЕ ВАРЬИРОВАНИЯ ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ И ЖЕСТКОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРПУСОВ ЛЕГКОБРОНИРОВАННЫХ МАШИН

У статті на тестовому прикладі бронетранспортера БТР-80 поставлена і вирішена задача структурної та параметричної оптимізації тонкостінної машинобудівної конструкції. Для вирішення даного завдання задіяний метод дослідження поверхонь відгуку із застосуванням методів лінеаризації, білінеаризації, і кусочно-поліноміальної апроксимації базисними функціями Ерміта в ході побудови математичних моделей. В результаті досліджень знайшли підтвердження тенденції зміни оцінюваних характеристик конструкції у відповідь на варіювання параметрів її елементів, а також на введення нових конструктивних елементів. Визначено, що більш точні апроксимації виходять при застосуванні методу апроксимації функціями Ерміта. Методи лінійної і білінійної апроксимації дають велику похибку в зонах різкої зміни функцій відгуку.

Ключові слова: структурна оптимізація, параметрична оптимізація, бронетранспортер, лінійна апроксимація, білінійна апроксимація, кусочно-поліноміальна апроксимація, метод скінченних елементів, тонкостінна конструкція.

В статье на тестовом примере бронетранспортера БТР-80 поставлена и решена задача структурной и параметрической оптимизации тонкостенной машиностроительной конструкции. Для решения данной задачи задействован метод исследования поверхностей отклика с применением методов линеаризации, билинеаризации, и кусочно-полиномиальной аппроксимации базисными функциями Эрмита в ходе построения математических моделей. В результате исследований нашли подтверждения тенденции изменения оцениваемых характеристик конструкции в ответ на варьирование параметров ее элементов, а также на введение новых конструктивных элементов. Определено, что более точные аппроксимации получаются при применении метода аппроксимации функциями Эрмита. Методы линейной и билинейной аппроксимации дают большую погрешность в зонах резкого изменения функций отклика.

Ключевые слова: структурная оптимизация, параметрическая оптимизация, бронетранспортер, линейная аппроксимация, билинейная аппроксимация, кусочно-полиномиальная аппроксимация, метод конечных элементов, тонкостенная конструкция

In the article the problem of structural and parametric optimization of thin-walled engineering design is formulated and solved on the test example of the BTR-80. The stress-strain state of the BTR-80 hull with the base panel thickness 6 mm with the introduction of reinforcing channel bars and uprights in the area of tower module attachment and varying their thickness is analysed. The area of construction requiring reinforcement was determined based on the results of its stress state preliminary analysis by means of the finite element method. As a test load was applied force of 1 kN acting along the vertical axis down. The influence of the other forces and moments components can be taken into account due to the fact that the stress-strain state of the hull is studied in an elastic formulation and superposition principle is valid in this case. The method of response surface studying using linearization, bilinearization and piecewise polynomial approximation by Hermit's basis functions methods in the process of the building of mathematical models is applied for solve this problem. The research confirmed the trends of changing of the evaluated design characteristics in response to variation of the

© М. А. Чубань, Р. И. Шейченко, Р. В. Граборов, А. В. Грабовский, А. Ю. Танченко, Н. А. Ткачук, 2016

parameters of its elements, as well as the introduction of new components. In the area of small thicknesses of channel bars and reinforcing uprights the evaluated design characteristics are changing very rapidly, and in the area of large thicknesses they are practically unchanged. It was determined that a more accurate approximations are obtained by the using of the method of approximation by Hermit's functions. Methods of linear and bilinear approximation give a large error in the areas of abrupt change of the response functions.

Keywords: structural optimization, parameter optimization, armored personnel carrier, the linear approximation, bilinear approximation, piecewise-polynomial approximation, finite element method, thin-walled structure.

Введение. Благодаря способности пластин и оболочек обладать высокими прочностью и жесткостью при относительно малом весе они нашли широкое применение в большинстве отраслей машиностроения. Для обеспечения этих свойств в инженерной практике используют элементы усиления, которые располагают в так называемых уязвимых местах конструкции.

Для принятия решений проводят многовариантные исследования. При этом получаемая задача является задачей не только параметрической оптимизации, но и структурной.

С целью решения данной задачи предлагается использовать метод исследования поверхности отклика с применением линейной и билинейной моделей их аппроксимации. При этом особенность задач рассматриваемого типа состоит в том, что, если варьировать параметры конструкции, оцениваемые характеристики изменяются плавно, но, когда вводятся новые элементы конструкции, наблюдается их резкое изменение. Данная закономерность, в свою очередь, отражается на форме функции отклика оцениваемого показателя.

С целью оценки погрешности, допускаемой в процессе оптимизации при задействовании методов линейной и билинейной аппроксимации для построения модели поверхности отклика, была решена тестовая задача, результаты которой рассмотрены в данной статье.

Постановка задачи. Исследовалось напряженно-деформированное состояние (НДС) тонкостенной конструкции на примере бронетранспортера БТР-80 с базовой толщиной панелей 6 мм при введении усилительных швеллеров и стоек в зоне погонного кольца и варьировании их толщин.

Зона конструкции, требующая усиления, была определена исходя из результатов анализа НДС при помощи метода конечных элементов (МКЭ) [1, 2]. Перемещения и напряжения в корпусе бронетранспортера от действия вертикальной нагрузки, приложенной к кромке погонного кольца, приведены на рисунках 1, 2. Относительно реальных нагрузок, действующих на бронекорпус, можно отметить, что они порождаются весом, инерционными усилиями при движении бронетранспортера по пересеченной местности, а также реактивными силами отдачи при осуществлении стрельбы из пушек, которыми оснащены боевые модели современных бронетранспортеров.

Учитывая, что напряженно-деформированное состояние бронекорпуса исследуется в упругой постановке, то справедлив принцип суперпозиции. В связи с этим в качестве пробной нагрузки было приложено усилие 1 кН, действующее вдоль вертикальной оси вниз. Для учета влияния остальных компонент усилий и моментов процедура является аналогичной.



Рис. 1 – Перемещения в корпусе бронетранспортера, м

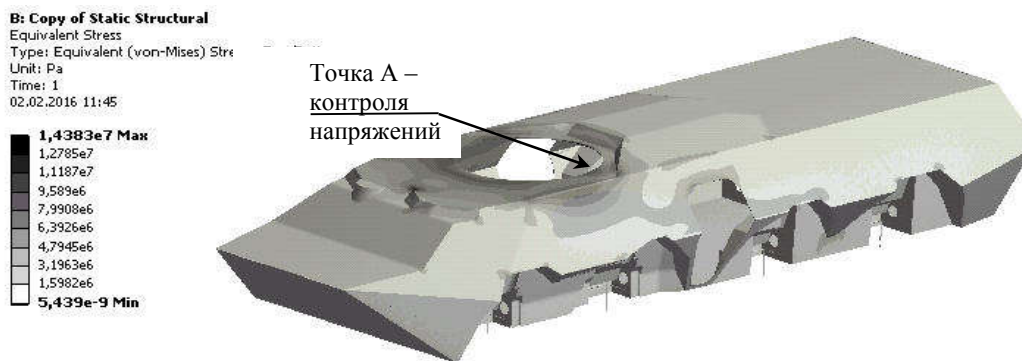


Рис. 2 – Напряжения в корпусе бронетранспортера, Па

Таким образом, из опыта решения подобных задач [3–7] сделан вывод о том, что в модель целесообразно добавить следующие элементы усиления, рис. 3:

- два поперечных швеллера с разных сторон погонного кольца;
- две вертикальные стойки;
- косынки – для связи швеллера и крыши корпуса.

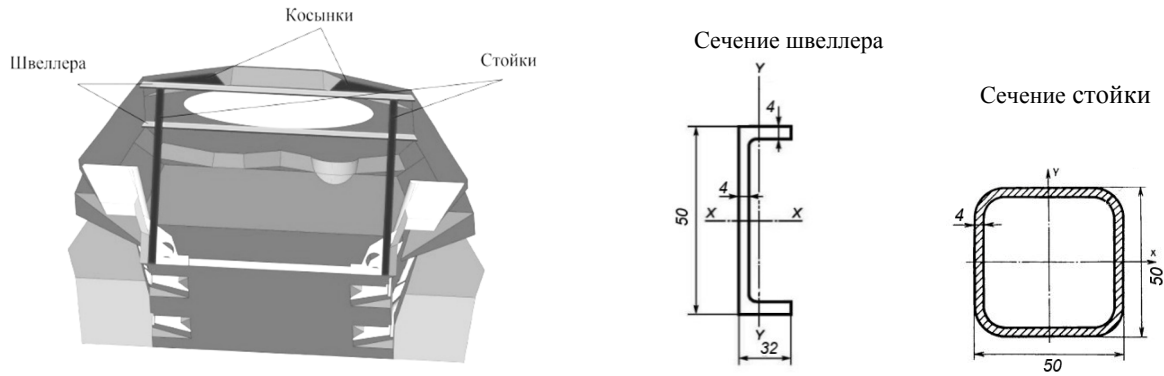


Рис. 3 – Конструкция с элементами усиления

Номинальные толщины усилительных элементов 4 мм. Толщина косынок устанавливалась равной толщине полки швеллера.

Для построения действительной поверхности отклика было проведено серию расчетов НДС конструкции с разными комбинациями толщин швеллеров и стоек, варьируемых в пределах от 0 до 15 мм с шагом 0,5, рис. 4, 5.

Далее согласно подходу, описанному в статье [8], для действительных поверхностей отклика были получены кусочно-линейные и кусочно-билинейные аппроксимирующие функции [9, 10] при размерности сетки, наброшенной на область варьирования параметров элементов конструкции – 7×7 .

Действительные и аппроксимирующие (темным цветом) поверхности отклика в одной системе координат изображены на рис. 6–9.

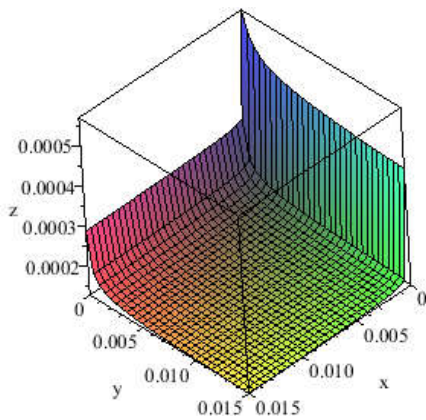


Рис. 4 – Действительная поверхность отклика перемещений в точке А

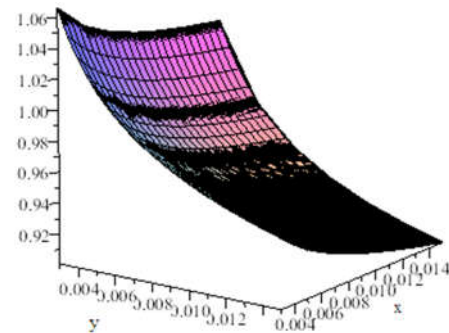


Рис. 6 – Действительная и аппроксимирующая кусочно-линейная поверхности отклика (относительные перемещения)

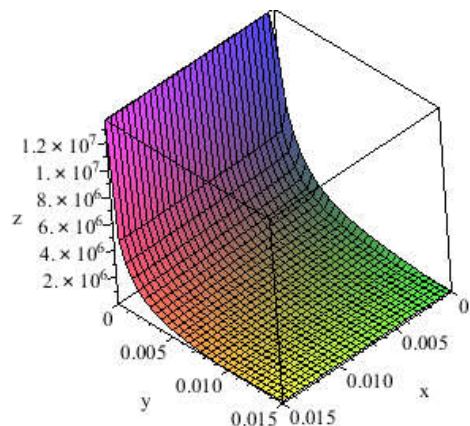


Рис. 5 – Действительная поверхность отклика напряжений в точке А

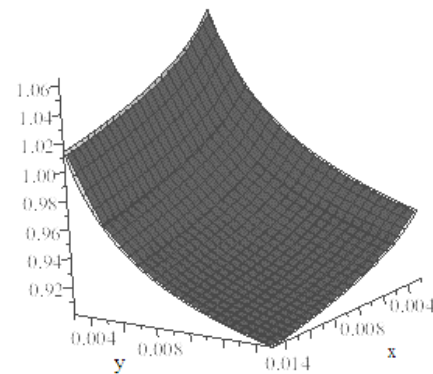


Рис. 7 – Действительная и аппроксимирующая кусочно-билинейная поверхности отклика (относительные перемещения)

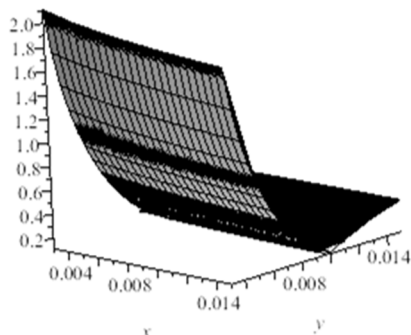


Рис. 8 – Действительная и аппроксимирующая кусочно-линейная поверхности отклика напряжений (относительные напряжения)

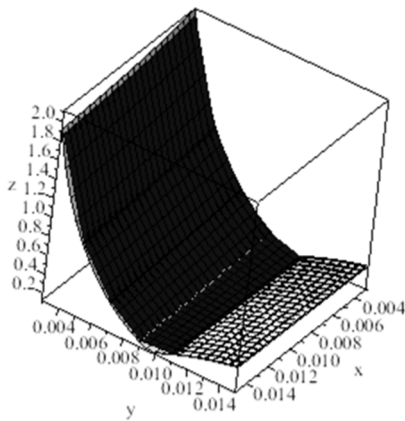


Рис. 9 – Действительная и аппроксимирующая кусочно-билинейная поверхности отклика напряжений (относительные напряжения)

Погрешность при построении модели составила:
 – для перемещений – не больше 0,6 % в случае линейной аппроксимации, до 0,6 % – в случае билинейной аппроксимации, рис. 10, 11. На приведенных графиках видно, что, хотя максимальные погрешности линейризованной и билинейризованной поверхностей равны, в некоторых узлах билинейная модель оказывается более точной;

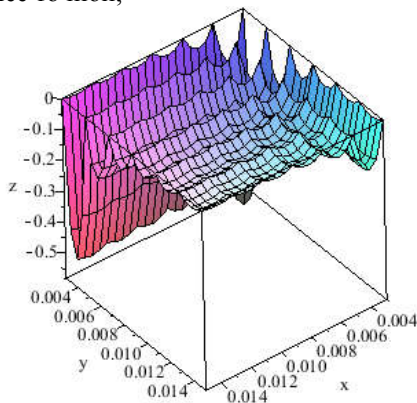


Рис. 10 – Разность действительной и линейризованной функций отклика перемещений, %

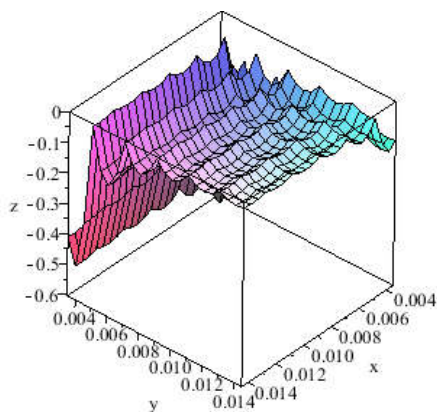


Рис. 11 – Разность действительной и билинейризованной функций отклика перемещений, %

– для напряжений – максимум 9 % в случае линейной аппроксимации, и также до 9 % – в случае билинейной аппроксимации, рис. 12, 13.

Таким образом, результаты исследований показали, что при приближении к зонам резкого изменения функций отклика применение данных методов аппроксимации приводит к большим погрешностям.

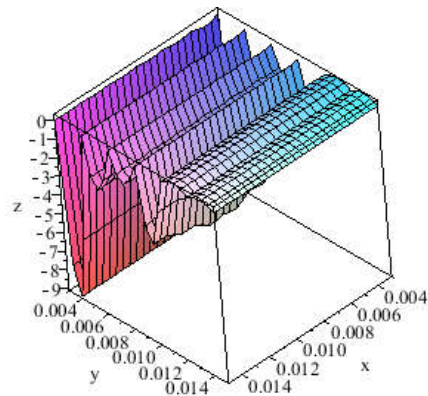


Рис. 12 – Разность действительной и линейризованной функций отклика напряжений, %

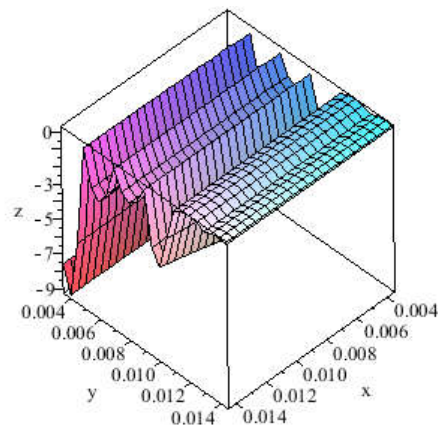


Рис. 13 – Разность действительной и билинейризованной функций отклика напряжений, %

Предполагается, что кусочно-полиномиальная аппроксимация с использованием базисных функций Эрмита [11–13], рассмотренная в статье [14], в данном случае должна показать более приемлемый результат. Конечно, следует отметить, что количество требуемых для построения модели "реперных" решений при задействовании данного метода повышается.

Интервалы переменных x и y были разбиты на 6 подынтервалов (по 7 узловых точек). Также для нахождения производных в узловых точках были введены промежуточные узлы. Соответственно, для построения аппроксимации потребовалось найти 113 решений задачи анализа НДС корпуса бронетранспортера.

Далее по этим данным были построены непосредственно аппроксимации поверхностей отклика, рис. 14, 15.

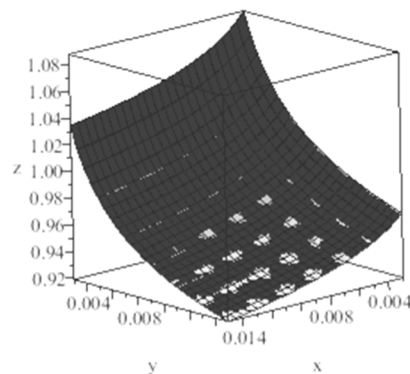


Рис. 14 – Действительная и аппроксимирующая поверхности отклика перемещений (относительные перемещения) в одной системе координат

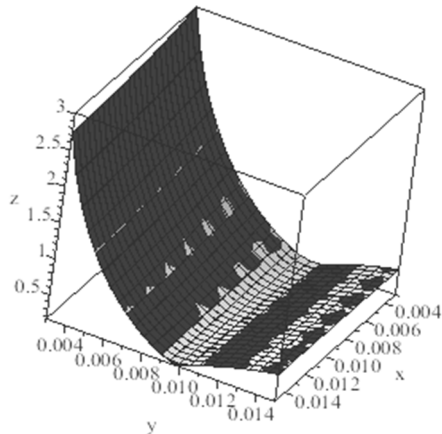


Рис. 15 – Действительная и аппроксимирующая поверхности отклика напряжений (относительные напряжения) в одной системе координат

Погрешность данного метода также была вычислена, и составила 0,15 % – для поверхности отклика перемещений, 2 % – для поверхности отклика напряжений, рис. 16, 17.

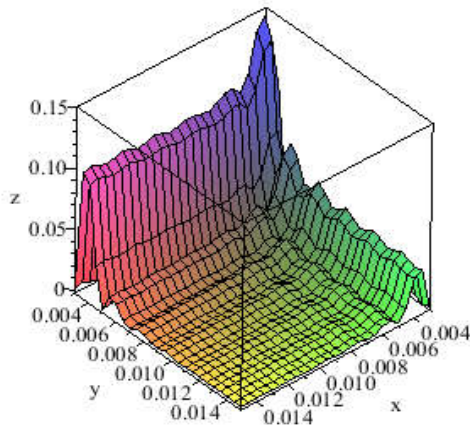


Рис. 16 – Погрешность при аппроксимации действительной функции отклика перемещений функциями Эрмита, %

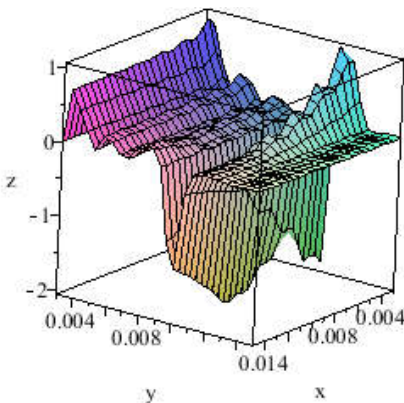


Рис. 17 – Погрешность при аппроксимации действительной функции отклика напряжений функциями Эрмита, %

Выводы. Таким образом, нашли подтверждения тенденции изменения поверхности отклика: в зоне малых толщин швеллеров и стоек усиления они изменяются очень резко, при больших толщинах – практически не изменяются. Также в качестве заключения можно отметить, что для данной тестовой задачи параметрической и структурной оптимизации корпуса бронетранспортера наибо-

лее точные аппроксимации функций отклика были получены при применении метода аппроксимации локальными функциями Эрмита. Допустимость же применения методов линеаризации и билинеаризации является вопросом дискуссионным, т. к. оба они дают большую погрешность в зонах резкого изменения функций отклика.

Список литературы

1. *Zienkiewicz, O. S.* The Finite Element Method. Vol. 1: Basic Formulation and Linear Problems / *O. S. Zienkiewicz, R. L. Taylor* – London : Mc Graw-Hill, 1989. – 648 p.
2. *Flaherty, J. E.* Finite Element Analysis / *J. E. Flaherty* – New York: Spring, 2000. – 323 p.
3. *Ткачук М. А.* Проблема забезпечення тактико-технічних характеристик бойових броньованих машин: підходи, моделі та методи / *М. А. Ткачук, О. В. Литвиненко, А. В. Грабовський, І. В. Цебрюк* // Вісник НТУ "ХПІ". Зб. наук. праць. Серія: Транспортне машинобудування. – Х. : НТУ "ХПІ". – 2015. – № 43 (1152). – С. 123–131.
4. *Васильєв А. Ю.* Методи забезпечення тактико-технічних характеристик військових гусеничних і колісних машин на етапі проектних досліджень / *А. Ю. Васильєв, М. М. Ткачук, А. Ю. Танченко, О. В. Мартиненко* // Вісник НТУ "ХПІ". Зб. наук. праць. Серія: Транспортне машинобудування. – Х. : НТУ "ХПІ". – 2015. – № 43 (1152). – С. 12–16.
5. *Литвиненко А. В.* Проектно-технологическое обеспечение тактико-технических характеристик легкобронированных машин на основе исследования прочностных характеристик корпусов / *А. В. Литвиненко* // Вісник НТУ "ХПІ". Зб. наук. праць. Серія: Транспортне машинобудування. – Х. : НТУ "ХПІ", 2014. – № 14 (1057). – С. 50–56.
6. *Литвиненко А. В.* Общий подход к проектно-технологическому обеспечению тактико-технических характеристик военных колесных и гусеничных машин путем обоснования параметров бронекорпусов по критериям прочности и защищенности / *А. В. Литвиненко* // Вісник НТУ "ХПІ". Зб. наук. праць. Серія: Машинознавство та САПР. – Х. : НТУ "ХПІ", 2014. – № 29 (1072). – С. 68–77.
7. *Литвиненко А. В.* Оценка чувствительности прочностных, жесткостных и динамических характеристик бронекорпусов на варьирование проектно-технологических параметров / *А. В. Литвиненко, В. В. Вакуленко, Н. А. Ткачук, С. Т. Бруль, Л. К.-А. Магералов* // Інтегровані технології та енергозбереження. Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків : НТУ "ХПІ", 2014. – № 3. – С. 145–153.
8. *Чубань М. А.* Модели аппроксимации поверхности отклика в оптимизационных исследованиях машиностроительных конструкций / *М. А. Чубань, П. И. Шейченко, Р. В. Граборов* // Вісник НТУ "ХПІ". Зб. наук. праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ "ХПІ". – 2015. – № 62 (1171). – С. 46–51.
9. *Myers, R.* Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. – 3rd ed. / *R. Myers, D. Montgomery, C. Anderson-Cook*. – New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2009. – 1247 p.
10. *Zhang, H.* Linearly constrained global optimization via piecewise-linear approximation / *H. Zhang, Sh. Wang* // Journal of Computational and Applied Mathematics, 2008. – 214. – pp 111–120.
11. *Jung, Soon-Mo* Approximation of analytic functions by Hermite functions / *Soon-Mo Jung* // Bulletin des Sciences Mathematiques, 2009. – Volume 133, Issue 7. – P. 756–764.
12. *Lorentz, R.* Multivariate hermite interpolation by algebraic polynomials: / *R. Lorentz* // A survey. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2000. – 122. – P. 167–201.
13. *Beliczynski, B.* Approximation of Functions by Multivariable Hermite Basis: A Hybrid Method / *B. Beliczynski* // Adaptive and Natural Computing Algorithms. Series Lecture Notes in Computer Science. – Springer Berlin Heidelberg. – 2011. – Volume 6593. – pp 130–139.
14. *Чубань М. А.* Аппроксимация поверхности отклика для использования в процессе параметрического синтеза машиностроительных конструкций / *М. А. Чубань* // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Транспортне машинобудування. – 2015. – № 43 (1152). – С. 161–164.

References (transliterated)

1. *Zienkiewicz, O. S.* The Finite Element Method. Vol. 1: Basic Formulation and Linear Problems / *O. S. Zienkiewicz, R. L. Taylor* – London: Mc Graw-Hill, 1989. – 648 p.

2. *Flaherty, J. E.* Finite Element Analysis / *J. E. Flaherty* – New York: Spring, 2000. – 323 p.
3. *Tkachuk M. A.* Problema zabezpechennya taktiko-tehnichnih karakteristik boyovih bronovanih mashin: pldhodi, modeli ta metodi / *M. A. Tkachuk, O. V. Litvinenko, A. V. Grabovskiy, I. V. Tsebryuk* // *Visnik NTU "HPH"*. Zb. nauk. prats. Seriya: Transportne mashinobuduvannya. – Kharkiv : NTU "KhPI". – 2015. – No 43 (1152). – P. 123–131.
4. *Vasilev A. Yu.* Metodi zabezpechennya taktiko-tehnichnih karakteristik viyskovih gusenichnih i kolisnih mashin na etapi proektnih doslidzhen / *A. Yu. Vasilev, M. M. Tkachuk, A. Yu. Tanchenko, O. V. Martinenko* // *Visnik NTU "KhPI"*. Zb. nauk. prats. Seriya: Transportne mashinobuduvannya. – Kharkiv : NTU "KhPI". – 2015. – No 43 (1152). – P. 12–16.
5. *Litvinenko A. V.* Proektno-tehnologicheskoe obespechenie taktiko-tehnicheskikh karakteristik legkobronirovaniy mashin na osnove issledovaniya prochnostnykh karakteristik korpusov / *A. V. Litvinenko* // *Visnik NTU "KhPI"*. Zb. nauk. prats. Seriya: Transportne mashinobuduvannya. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. – No 14 (1057). – P. 50–56.
6. *Litvinenko A. V.* Obschiy podhod k proektno-tehnologicheskomu obespecheniyu taktiko-tehnicheskikh karakteristik voennykh kolesnykh i gusenichnykh mashin putem obosnovaniya parametrov bronekorpusov po kriteriyam prochnosti i zaschischnosti / *A. V. Litvinenko* // *Visnik NTU "KhPI"*. Zb. nauk. prats. Seriya: Mashinostroyeniye ta SAPR. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. – No 29 (1072). – P. 68–77.
7. *Litvinenko A. V.* Otsenka chuvstvitelnosti prochnostnykh, zhestkostnykh i dinamicheskikh karakteristik bronekorpusov na varirovaniye proektno-tehnologicheskikh parametrov / *A. V. Litvinenko, V. V. Vakulenko, N. A. Tkachuk, S. T. Brul, L. K.-A. Mageramov* // *Integrovaniye tehnologiyi ta energoberezhennya. Schokvartalniy naukovopraktychniy zhurnal*. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. – No 3. – P. 145–153.
8. *Chuban M. A.* Modeli approksimatsii poverhnosti otklika v optimizatsionnykh issledovaniyakh mashinostroyitelnykh konstruksiy / *M. A. Chuban, R. I. Sheychenko, R. V. Graborov* // *Visnik NTU "KhPI"*. Zb. nauk. prats. Seriya: Novi rishennya v suchasnykh tehnologiyah. – Kharkiv : NTU "KhPI". – 2015. – No 62 (1171). – P. 46–51.
9. *Myers, R.* Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. – 3rd ed. / *R. Myers, D. Montgomery, C. Anderson-Cook*. – New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2009. – 1247 p.
10. *Zhang, H.* Linearly constrained global optimization via piecewise-linear approximation / *H. Zhang, Sh. Wang* // *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2008. – 214. – pp 111–120.
11. *Jung, Soon-Mo* Approximation of analytic functions by Hermite functions / *Soon-Mo Jung* // *Bulletin des Sciences Mathematiques*, 2009. – Volume 133, Issue 7. – P. 756–764.
12. *Lorentz, R.* Multivariate hermite interpolation by algebraic polynomials: / *R. Lorentz* // *A survey. Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2000. – 122 – P.167–201.
13. *Beliczynski, B.* Approximation of Functions by Multivariable Hermite Basis: A Hybrid Method / *B. Beliczynski* // *Adaptive and Natural Computing Algorithms. Series Lecture Notes in Computer Science*. – Springer Berlin Heidelberg. – 2011. – Volume 6593. – pp 130–139.
14. *Chuban M. A.* Approksimatsiya poverhnosti otklika dlya ispolzovaniya v protsesse parametricheskogo sinteza mashinostroyitelnykh konstruksiy / *M. A. Chuban* // *Visnik NTU "KhPI"*. Seriya: Transportne mashinobuduvannya. – 2015. – No 43 (1152). – P. 161–164.

Поступила (received) 05.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Вплив варіювання проектних параметрів на характеристики міцності та жорсткості корпусів легкоброньованих машин / М. О. Чубань, Р. І. Шейченко, Р. В. Граборов, А. В. Грабовський, А. Ю. Танченко, М. А. Ткачук // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х. : НТУ "ХПІ", 2016. – № 23 (1195). – С. 149–155. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-0791.

Влияние варьирования проектных параметров на прочностные и жесткостные характеристики корпусов легкобронированных машин / М. А. Чубань, Р. И. Шейченко, Р. В. Граборов, А. В. Грабовский, А. Ю. Танченко, Н. А. Ткачук // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х. : НТУ "ХПІ", 2016. – № 23 (1195). – С. 149–155. – Библиогр.: 14 назв. – ISSN 2079-0791.

Effect of design parameters varying on strenght and stiffness characteristics of light armored vehicles hulls / M. Chuban, R. Sheychenko, R. Graborov, A. Grabovskiy, A. Tanchenko, M. Tkachuk // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problem of mechanical drive. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2016. – No. 23 (1195). – P. 149–155. – Bibliogr.: 14. – ISSN 2079-0791.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Чубань Марина Олександрівна – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", аспірант кафедри теорії і систем автоматизованого проектування механізмів і машин; тел.: (057) 707-69-01; e-mail: marina.bondarenko@tmm-sapr.org.

Чубань Марина Александровна – Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", аспирант кафедры теории и систем автоматизированного проектирования механизмов и машин; тел.: (057) 707-69-01; e-mail: marina.bondarenko@tmm-sapr.org.

Chuban Maryna – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", postgraduate student at the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines; phone: (057) 707-69-01; e-mail: marina.bondarenko@tmm-sapr.org.

Шейченко Роман Игоревич – головний конструктор проекту вагонів-цистерн ТОВ Науково-інженерний центр УК "РейлТрансХолдінг", м. Маріуполь.

Шейченко Роман Игоревич – главный конструктор проекта вагонов-цистерн ООО Научно-инженерный центр УК "РэйлТрансХолдинг", г. Мариуполь.

Sheychenko Roman – chief designer of the tank-car project at the JSC Science Engineering Center UK RailTrans Holding", Mariupol.

Граборов Роман Вікторович – начальник групи технічних розрахунків ТОВ Науково-інженерний центр УК "РейлТрансХолдінг", м. Маріуполь.

Граборов Роман Викторович – начальник группы технических расчетов ООО Научно-инженерный центр УК "РэйлТрансХолдинг", г. Мариуполь.

Graborov Roman – chief of technical calculations group of the JSC Science Engineering Center UK "RailTrans Holding", Mariupol.

Грабовський Андрій Володимирович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", старший науковий співробітник кафедри теорії і систем автоматизованого проектування механізмів і машин; тел.: (057) 707-61-66; e-mail: andrej8383@gmail.com.

Грабовский Андрей Владимирович – кандидат технических наук, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", старший научный сотрудник кафедры теории и систем автоматизированного проектирования механизмов и машин; тел.: (057) 707-61-66; e-mail: andrej8383@gmail.com.

Grabovskiy Andrey Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Senior Researcher at the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines; tel.: (057) 707-61-66; e-mail: andrej8383@gmail.com.

Танченко Андрій Юрійович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", науковий співробітник кафедри теорії і систем автоматизованого проектування механізмів і машин; тел.: (057) 707-69-01; e-mail: ATanchenko@tmm-saprg.org.

Танченко Андрей Юрьевич – кандидат технических наук, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", научный сотрудник кафедры теории и систем автоматизированного проектирования механизмов и машин; тел.: (057) 707-69-01; e-mail: ATanchenko@tmm-saprg.org.

Tanchenko Andriy – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Researcher at the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines; tel.: (057) 707-69-01; e-mail: ATanchenko@tmm-saprg.org.

Ткачук Микола Анатолійович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", завідувач кафедри теорії і систем автоматизованого проектування механізмів і машин; тел.: (057) 707-69-02; e-mail: tma@tmm-saprg.org.

Ткачук Николай Анатольевич – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", заведующий кафедрой теории и систем автоматизированного проектирования механизмов и машин; тел.: (057) 707-69-02; e-mail: tma@tmm-saprg.org.

Tkachuk Mykola – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Chief of the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines; tel.: (057) 707-69-02; e-mail: tma@tmm-saprg.org.