

творюючи параметри системи «водитель – автомобіль – дорожня среда» дозволяють виконувати оцінку показателів його управляємості, стійкості, динамічності в середі Simulink і значительно економити час і засоби, а також підвищити безпеку досліджень.

При виході з маневра “переставка” при заданих умовах руху досліджуваного автомобіля з відключеною ESP виникають кутові прискорення, досягаючі  $0,5 \text{ c}^{-1}$ , що свідчить про початок заносу. Кутові прискорення автомобіля з включеною ESP при аналогічних умовах не перевищують  $0,05 \text{ c}^{-1}$ .

**Список літератури.** 1. Бобошко А.А. Підвищення маневреності колісних тракторів і самохідних шасі. Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.02 / ХНАДУ. – Харків, 2002. – 19 с. 2. Закин Я. Х. Маневренность автомобиля и автопоезда / Я. Х. Закин. – М.: Транспорт, 1986. – 136 с. 3. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля. – М: Машиностроение, 1971. – 416 с. 4. Маневренность и тормозные свойства колесных машин / М. А. Подригало, В.П. Волков, В.И. Курчатый, А.А. Бобошко / Под ред. М.А.Подригало. - Харків: Изд-во ХНАДУ, 2003. – 403 с. 5. Подригало М.А., Волков В.П., Бобошко А.А., Павленко В.А., Файст В.Л., Клец Д.М., Редько В.В. Динамика автомобиля. – Харків: Изд-во ХНАДУ, 2008. – 426 с. 6. Electronic Stability Control Systems : Federal Motor Vehicle Safety Standard No. 126. – Office of Regulatory Analysis and Evaluation, National Center for Statistics and Analysis, 2006. – 142 p. 7. Vehicle Dynamics Visualization with Graphs. The MathWorks, Inc. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.mathworks.com/products/3d-animation/examples.html?file=/products/demos/shipping/sl3d/vr\\_octavia\\_graphs.htm](http://www.mathworks.com/products/3d-animation/examples.html?file=/products/demos/shipping/sl3d/vr_octavia_graphs.htm). 8. Vehicle Dynamics Visualization – Simulation of Multiple Objects. The MathWorks, Inc. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.mathworks.com/products/3d-animation/examples.html?file=/products/demos/shipping/sl3d/vr\\_octavia\\_2cars.html](http://www.mathworks.com/products/3d-animation/examples.html?file=/products/demos/shipping/sl3d/vr_octavia_2cars.html).

*Поступила в редакцію 08.04.2013*

УДК 539.3

**А.В. ЛИТВИНЕНКО**, к.т.н., дир. НИЦ УК «Рейлтрансхолдинг»,  
Маріуполь

## **СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ИССЛЕДОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Запропоновано розвиток узагальненого параметричного підходу для дослідження напружено-деформованого стану корпусів транспортних засобів спеціального призначення на етапі проектування і технологічної підготовки виробництва. Математична формалізація параметричного опису конструкції та всіх етапів їх життєвого циклу дає можливість будувати високоефективні спеціалізовані системи комп'ютерного проектування, технологічної підготовки виробництва, дослідження, виготовлення та експлуатації.

**Ключові слова:** транспортний засіб спеціального призначення, бронекорпус, системи комп'ютерного проектування, напружено-деформований стан, власні частоти коливань

© А.В. Литвиненко, 2013

Предложено развитие обобщенного параметрического подхода для исследования напряженно-деформированного состояния корпусов транспортных средств специального назначения на этапе проектирования и технологической подготовки производства. Математическая формализация параметрического описания конструкций и всех этапов их жизненного цикла дает возможность строить высокоэффективные специализированные системы компьютерного проектирования, технологической подготовки производства, исследования, изготовления и эксплуатации.

**Ключевые слова:** транспортное средство специального назначения, бронекорпус, системы компьютерного проектирования, напряженно-деформированное состояние, собственные частоты колебаний

Development of generalized parametric method for stress-strain state investigation of special-purpose transport vehicle hulls is proposed at the stage of technological preparation of production. Mathematical formalization of construction parametrical description and all life-cycle stages enables an opportunity to build high-efficient specialized CAD-systems, systems for technological preparation of production, research, manufacturing and exploitation.

**Keywords:** special-purpose transport vehicle, armored hull, CAD-systems, stress-strain state, vibrations eigenfrequencies

**Введение.** Как отмечается в ряде работ [1-12], при проектировании новых транспортных средств специального назначения типа бронетранспортеров (БТР), боевых машин пехоты (БМП), боевых машин десанта (БМД) и их модернизации возникает масштабный комплекс работ по проектированию, исследованию и технологической подготовке производства. При этом, как известно, преобладающей тенденцией современного бронетанкостроения является широкое применение CAD/CAE/CAM-систем как при проектировании элементов машин, так и при технологической подготовке их производства. Поскольку универсальные компьютерные системы, применяемые на большинстве отечественных предприятий, не всегда в полной мере дают возможность учитывать специфику конструкций БТР, БМП, БМД, технологической оснастки и оборудования отечественных предприятий бронетанкостроения, то возникает актуальная и важная задача интенсификации и повышения качества работ на этапах проектирования, исследования и технологической подготовки производства. Для решения получаемой задачи предлагается развитие подхода, описанного в работах [11, 12].

Отличительной особенностью сложившейся в настоящее время ситуации является акцентированное внимание, которое уделяется анализу влияния проектных параметров на характеристики элементов транспортных средств специального назначения и на тактико-технические характеристики (ТТХ) машин в целом. При этом существенно меньшее внимание исследователей уделено выявлению влияния технологических режимов, возможностей оборудования, оснастки и условий производства на результирующие ТТХ, реально достигаемые на конкретных изделиях, хотя наличие и важность такого влияния очевидны. В связи с этим актуальной, важной и новой научно-практической проблемой является развитие подходов, методов, моделей, алгоритмов и программного обеспечения, которые предоставляют возможности не только увязать ТТХ проектируемых машин с множеством технологических факторов, но и создать основы решения задачи обоснования таких технологических параметров, которые бы не ухудшали конструктивно заложенные показатели их тактико-технических характеристик. Поскольку возникающая проблема выходит за пределы применимости известных подходов [13, 14], а общие

принципы, изложенные в этих работах, достаточно привлекательны и имеют значительный потенциал развития и обобщения, то в данной работе предлагается совершенствование обобщенного параметрического моделирования и адаптация на множество технологических факторов, влияющих на ТТХ проектируемых машин.

**Постановка задачи.** Отталкиваясь от подходов, изложенных в работах [11, 12], рассматривается три типа факторов, обуславливающих ТТХ проектируемых машин. Во-первых, это проектные параметры  $P_G^{(i)}, i = 1, \dots, N_G$ , которые определяют общую компоновку машин, габаритные и присоединительные размеры отдельных элементов, свойства материалов и т.п. Во-вторых, это режимы боевого применения данных машин  $P_B^{(k)}, k = 1, \dots, N_B$ , которые в целом определяют виды и степени воздействий на элементы БТР, БМП, БМД. В-третьих, это технологические режимы изготовления элементов исследуемых машин  $P_T^{(j)}, j = 1, \dots, N_T$ . Последние порождаются типами обработки, видами технологических операций и назначенными технологическими режимами. В комплексе все три множества параметров  $P_G, P_B, P_T$  образуют множество обобщенных параметров, в целом определяющих уровень достигаемых ТТХ:

$$T = T(p), \quad p = \{P_G, P_B, P_T\}^T. \quad (1)$$

Здесь  $T$  – массив тактико-технических характеристик,  $p$  – объединенное множество обобщенных параметров.

Естественно, что для многих компонент ТТХ установление связи (1) требует проведения анализа процессов и состояний, которые сопровождают все этапы жизненного цикла изделия, в особенности – в условиях боевого применения:

$$L(u, p, t) = f, \quad (2)$$

где  $L$  – оператор процесса или состояния,  $u$  – массив переменных, описывающих исследуемый процесс или состояние,  $t$  – время,  $f$  – внешнее воздействие на исследуемый объект.

Например, в качестве системы (2) могут выступать уравнения теории упругости (для определения напряженно-деформированного состояния массивных тел, оболочек, пластин или стержней), уравнения теории колебаний (для определения частот и форм колебаний или переходных процессов). В любом случае система уравнений (2) устанавливает (обычно в виде системы дифференциальных уравнений в частных производных) связь переменных состояния  $u$  с параметрами  $p$ , проявляющаяся в виде параметрического семейства:

$$u = u(f, p, t) \quad (3)$$

по итогам интегрирования (2).

Имея в распоряжении соотношения (2), можно ставить задачи обеспечения требуемых ТТХ

$$T^{(s)}(u(p)) \rightarrow \max(\min), s = 1, 2, \dots \quad (4)$$

при некоторых ограничениях  $H_*$  на отдельные величины

$$H^{(q)}(u(p)) \leq H_*^{(q)}, q = 1, 2, \dots \quad (5)$$

Так, например, в качестве критериев (4) могут выступать масса, скорость движения машины, степень деформирования ее отдельных элементов и т.п. Как ограничения могут фигурировать прочностные свойства используемых материалов, допустимые амплитуды или частоты колебаний и другие величины.

Таким образом, соотношения (1)–(5) формируют систему соотношений, позволяющих ставить и решать задачи параметрического анализа, чувствительности, а также структурного и параметрического синтеза. При этом, в отличие от традиционных подходов, пространство варьируемых параметров содержит также новое, ранее не учитываемое множество величин – технологические параметры  $P_T$  (см. выше). Это существенно расширяет возможности и результативность предлагаемого усовершенствованного подхода как в плане полноты математической модели, ее адекватности, так и в плане практической эффективности получаемых результатов исследований. Также важным вопросом является точность компьютерного моделирования, используемого для получения решений (2), способность бесконфликтного обмена информацией между этапами и системами геометрического моделирования (CAD), исследований (CAE) и технологической подготовки производства (CAM). Кроме того, не менее важным является проблема верификации параметров математической и численной моделей, описывающих исследуемый объект.

Все описанные выше задачи формально могут быть охвачены подходами, описанными в работах [13, 14]. В то же время, как отмечалось выше, само множество определяющих параметров в настоящей работе расширено именно за счет неучитываемых ранее технологических факторов. Это составляет существенное дополнение с точки зрения решения конечной задачи обеспечения требуемых ТТХ проектируемых машин специального назначения.

Следует заметить, что в зависимости от типа исследуемого процесса или состояния (2), критериев и ограничений (4), (5) порядок и содержание решения возникающих при этом задач видоизменяются. В связи с этим предлагается проиллюстрировать некоторые этапы исследований на примере анализа изменения спектра собственных частот колебаний бронекорпусов транспортных средств специального назначения при изменении их проектно-технологических параметров (см. далее).

**Анализ влияния толщины и свойств материалов элементов бронекорпусов на спектр собственных частот их колебаний.** Рассмотрим бронекорпус транспортного средства специального назначения, определяемый проектно-технологическими его параметрами (форма и размеры бронепанелей в плане, карта распределения толщин листов и силовой структуры в проекциях, свойства материалов элементов бронекорпуса и сварных швов и т.п.). По-

сколькo корпус является основным элементом, объединяющим и интегрирующим все агрегаты и системы машины, то он в процессе эксплуатации и боевого применения подвергается множеству динамических воздействий (как от внешних, так и от внутренних источников). В связи с этим чрезвычайно важным является вопрос определения спектра собственных частот его колебаний, поскольку собственные частоты и формы колебаний во многом определяют наблюдаемые переходные и установившиеся колебательные процессы. В свою очередь это влияет, например, на точность стрельбы (за счет деформирования подбашенного листа), на прочность и жесткость элементов бронекорпуса (определяют уровень защищенности) и т.п. Более того, вследствие разброса технологических режимов изготовления бронекорпусов (получается вследствие разброса толщин листов-заготовок, поступающих от металлургических производств; вследствие применения тех или иных типов сварных швов и конкретных условий и качества выполнения сварки; вследствие разнородности микроструктуры, химического состава, твердости и прочности слоев материалов бронепанелей по толщине; вследствие изменения свойств материалов бронепанелей в зонах сварных швов и т.п.).

Учитывая, что данное варьирование накладывается на варьирование проектных параметров бронекорпусов, получаемое множество варьируемых величин сильно разрастается, приводя к лавинообразному росту объема исследований. В то же время можно отметить, что во многих случаях диапазон варьирования отдельных параметров незначителен. Так, массово-геометрические характеристики сварных конструкций изменяются в пределах 2–5%; такой же порядок диапазона варьирования – для распределения толщины в плане в пределах бронепанелей, а также массы и моментов инерции размещаемых в/на бронекорпусе систем и агрегатов и т.п.

Таким образом, исходная задача модифицируется, приобретая характер анализа чувствительности исследуемых характеристик бронекорпусов на конечное, но малое изменение проектно-технологических параметров. Для ее решения предлагается применить подходы, предложенные к использованию для тонкостенных элементов машиностроительных конструкций в ряде работ [15–17]. Следуя этому подходу, переходим от континуальной формулировки задачи (2) к дискретной ее форме. Применительно к задаче определения спектра собственных частот колебаний бронекорпусов наиболее эффективно применение метода конечных элементов [18]. С учетом варьирования отдельных параметров получаем соотношения для определения собственных частот  $\omega_i(p)$ , где  $p = \{p_1, \dots, p_n\}^T$ . Разрешающая система уравнений принимает вид:

$$\det(K(p) - \omega^2 M(p)) = 0, \quad (6)$$

где  $K$ ,  $M$  – матрицы жесткости и масс конечно-элементных ансамблей, моделирующих исследуемые бронекорпуса.

В соотношениях (6) можно отвлечься от природы параметрических зависи-

мостей, сконцентрировав внимание, например, на зависимости собственных частот  $\omega_i$  от карты распределения толщин по панелям бронекорпуса:

$$h_\mu = h_\mu(p), \mu = 1, \dots, N_n. \quad (7)$$

Здесь  $h_\mu$  – реальная толщина элемента  $\mu$  бронекорпуса (детализация – вплоть до размеров конечного элемента) как функция проектно-технологических параметров  $p$ . Как отмечалось выше, в силу действия множества факторов  $p$ , распределение  $h_\mu$  представляет определенную функцию и учитываемых параметров  $p$ , и неучитываемых стохастических воздействий  $p$ ; в результате чего

$$h_\mu = h_\mu^0 - \Delta h_\mu(p, p^-), \quad (8)$$

где  $h_\mu^0$  – распределение «номинальных» толщин (т.е. толщин для некоторого базового варианта бронекорпуса),  $\Delta h_\mu$  – отклонения этих толщин в актуальном варианте по сравнению с базовым.

В уравнениях (8), как уже отмечалось, можно отвлечься на определенном этапе от природы возникновения  $\Delta h_\mu$ , обратив внимание лишь на их малости:

$$\Delta h_\mu / h_\mu \ll 1 \forall \mu. \quad (9)$$

Применив используемые в работе [17] обозначения  $\alpha_\mu = \Delta h_\mu / h_\mu$  и сформировав соответствующий массив относительных параметров  $\alpha = \{\alpha_1, \dots, \alpha_{N_n}\}^T$ , для определения собственных частот колебаний бронекорпусов можно применить следующий прием: собственные частоты колебаний представляются в виде зависимости [17]

$$\omega_i(\alpha) \approx \omega_i^{(0)} \left( 1 - \frac{1}{2} (\delta_K^G - \delta_M^G) \right), \quad (10)$$

где  $\omega_i^{(0)}$  – решения (6) при  $h_\mu = h_\mu^{(0)}$ , а коэффициенты

$$\delta_K = \sum_k r_k \alpha_k; \quad (11) \quad \delta_M = \sum_k s_k \alpha_k; \quad (12)$$

где  $r, s$  – некоторые коэффициенты линейных форм от массива параметров  $\alpha$  [15-17].

Таким образом, соотношения (10) декларируют примерно линейную зависимость  $\omega_i(\alpha)$ . В то же время можно обратиться к существующим нормам на допустимое изменение толщин  $h_\mu$ , что диктует справедливость соотношений

$$\alpha \leq \alpha^*, \quad (13)$$

где  $\alpha^*$  – предельно допустимое варьирование толщин отдельных элементов бронекорпуса на этапе проектирования и технологической подготовки производства.

С учетом этого предлагается также привлечь для вычисления чувствительности вместо соотношений (10-12) альтернативные конечно-разностные

соотношения [15-17]:

$$\omega_i(\alpha_j) = \omega_i^{(0)} \left( 1 - \sum_s \Delta_s^{(j)} \alpha^* \right), \quad (14)$$

где  $\alpha_j = \{0; 0; \dots; \alpha^*; \dots; 0\}^T$  – массив параметров, в котором ненулевым является только компонента  $\alpha$  под номером  $j$ ,  $\Delta_s^{(i)}$  – компоненты чувствительности.

Определив из (14)  $\Delta_s^{(i)}$ , для произвольного набора  $\alpha$  получаем:

$$\omega_i(\alpha) = \omega_i^{(0)} \left( 1 - \sum_s \alpha \cdot \Delta_s^{(i)} \right). \quad (15)$$

Соответственно, для определения величин  $\Delta_s^{(i)}$  необходимо вычислять корни системы уравнений (6) при наборах параметров  $\alpha_p$ . Учитывая высокие возможности современных программно-аппаратных комплексов, многовариантные расчеты спектров собственных частот  $\omega_i(\alpha_p)$  не составляют значительных затруднений. В силу этого получаемые решения дают возможность отслеживать тенденции и величины изменения собственных частот колебаний при варьировании толщин элементов бронекорпусов.

**Тестовый пример.** Для иллюстрации применимости предлагаемого подхода исследуется спектр собственных частот колебаний бронекорпуса БТР-3Е при варьировании толщин его бронепанелей. На рис. 1 приведена геометрическая и конечно-элементная модели бронекорпуса БТР-3Е. В качестве иллюстративного избран базовый вариант номинальных толщин 8 мм для всех элементов бронекорпусов. Варьирование всех толщин осуществляется в пределах  $\pm 20\%$ .

На рис. 2, 3 приведены некоторые собственные формы колебаний для номинального и измененных распределений толщин. На рис. 4 – графическая иллюстрация изменения собственных частот бронекорпуса при различных степенях его утонения/утолщения по сравнению с базовым вариантом. Видно, что собственные формы колебаний сохраняют свой характер, а частоты изменяются практически линейно в достаточно широком диапазоне варьирования толщин ( $\pm 20\%$ ). Это свидетельствует о том, что если зависимость распределения толщин от каких-то проектно-технологических решений и носит существенно нелинейный характер, то непосредственное влияние степени утонения-утолщения  $\alpha$  элементов бронекорпуса носит характер линейной зависимости.

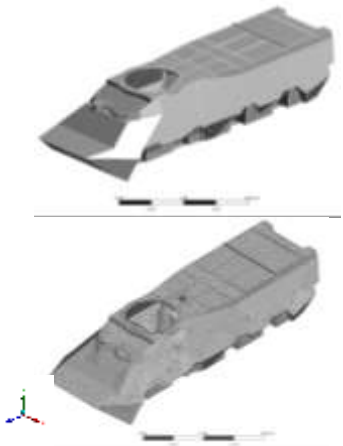


Рисунок 1 – Геометрическая и конечно-элементная модели бронекорпуса БТР-3Е

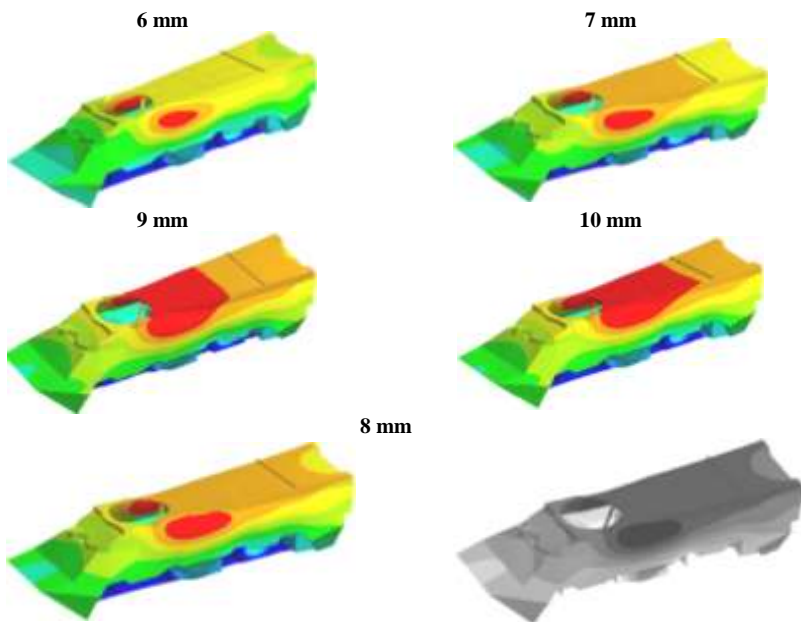


Рисунок 2 – Некоторые собственные формы колебаний для номинального (8 мм) распределения толщин и при варьировании толщин (*1-я собственная частота*)

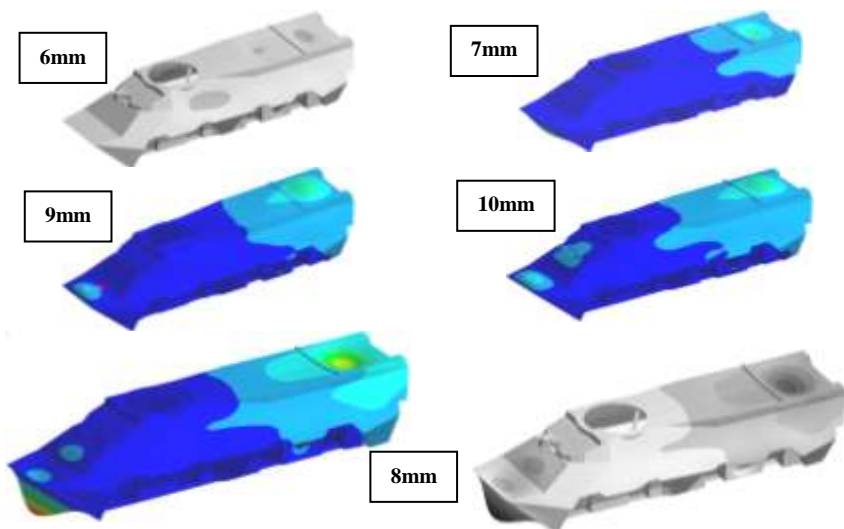


Рисунок 2 – Некоторые собственные формы колебаний для номинального (8 мм) распределения толщин и при варьировании толщин (*4-я собственная частота*)



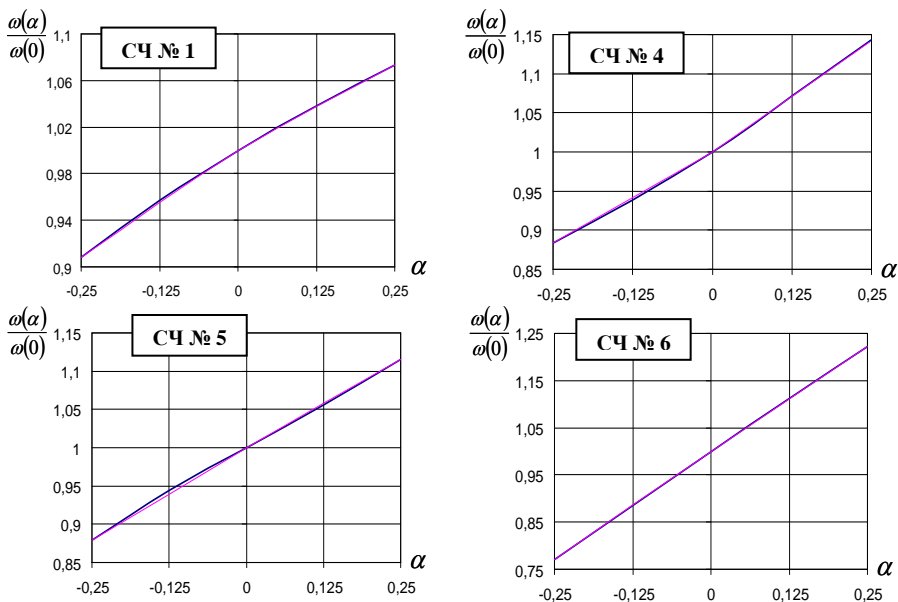


Рисунок 4 – Собственные частоты (СЧ) колебаний бронекорпуса, отнесенные к значениям СЧ с базовым значением толщины панелей (8 мм), в зависимости от степени утонения/утолщения этих панелей

Отсюда следует, что при параметрическом анализе и синтезе задачи можно разделить: в координатах  $\alpha$  получаем линейаризованные критериальные и ограничительные функции (4), (5), а в координатах  $p$  – возможно, более сложные зависимости. Поскольку решение задач в координатах  $\alpha$ , таким образом, кардинально упрощается (а именно решение этой части проблемы, как правило, наиболее ресурсозатратно), то, соответственно, за счет этого существенно ускоряется и решение общей задачи.

**Заключение.** В работе содержится описание нового подхода к расчету бронекорпусов транспортных средств специального назначения. Получены следующие результаты.

1. Путем пополнения множества обобщенных параметров, определяющих тактико-технические характеристики проектируемого и изготавливаемого транспортного средства специального назначения, удастся, в отличие от известных подходов, за счет неучитываемых ранее технологических факторов расширить постановку задачи об обосновании рациональных проектно-технологических параметров вновь создаваемой или модернизируемой машины.

2. На примере бронекорпусов машин типа БТР исследовано влияние варьирования проектно-технологических параметров на изменение толщин от-

дельных бронепанелей и отдельных характеристик. При этом установлено, что малые степени изменения толщин оказывают близкое к линейному влияние на отдельные характеристики бронекорпуса. В частности, на примере спектра собственных частот бронекорпуса БТР-3Е подтверждены близкие к линейному закону тенденции изменения отдельных частот при малом, но конечном (в пределах  $\pm 20\%$ ) утонении/утолщении его бронепанелей.

3. С учетом возможности линеаризации отклика характеристик бронекорпусов на варьирование толщин бронепанелей предложен новый подход к решению задач параметрического анализа и синтеза. Он состоит в том, то исходную задачу целесообразно решать в два этапа. На первом устанавливаются линеаризованные зависимости контролируемых характеристик от толщин бронепанелей  $h$  или степеней их утонения  $\alpha$ , и по этим зависимостям решаются те или иные конкретные задачи в координатах  $h$ ,  $\alpha$ ; на втором этапе конкретизируются зависимости  $h$ ,  $\alpha$  от проектно-технологических параметров  $p$ , и решение переводится в эти координаты.

4. Предложенный подход с декомпозицией задач параметрического анализа и синтеза разделяет исходную постановку на 2 этапа, в которых соединяются: на первом – сложные задачи анализа процессов и состояний, но линеаризованные упрощенные зависимости – для задач параметрического анализа и синтеза; на втором – сложные зависимости толщин от проектных параметров, но без необходимости решения сложных задач анализа процессов и состояний. Таким образом, находят рациональное сочетание требования к необходимым вычислительным ресурсам: задачи анализа и синтеза разнесены с использованием в качестве промежуточного параметра массива толщин бронепанелей.

Учитывая значительную актуальность задачи обоснования рациональных проектно-технологических параметров, обеспечивающих заданные тактико-технические характеристики перспективных транспортных средств специального назначения, данный подход в дальнейшем обладает широкими возможностями при решении различных задач на этапах проектирования, исследования и технологической подготовки производства этих машин.

**Список литературы:** 1. *Чепурной А.Д.* Автоматизированное проектирование карт раскрытия, подготовки и выпуска управляющих программ для машин термической резки в производстве бронедеталей корпусов и башен БТР / А.Д. Чепурной, А.В. Литвиненко, И.В. Артемов // Вісник НТУ «ХП». 36. наук. праць. Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – Харків: НТУ «ХП», 2007. – №23. – С. 121-127. 2. *Гриценко Г.Д.* Применение специализированных систем автоматизированного анализа и синтеза сложных механических конструкций: определение напряженно-деформированного состояния и обоснование параметров / Г.Д. Гриценко, А.В. Ткачук, Н.А. Ткачук, Е.В. Пелешко, С.Т. Бруль, А.В. Литвиненко // Вісник НТУ «ХП». 36. наук. праць. Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – Харків: НТУ «ХП», 2008. – №14. – С. 17-25. 3. *Гриценко Г.Д.* Экспериментальные исследования динамических процессов в макетах бронекорпусов транспортных средств специального назначения / Г.Д. Гриценко, Н.А. Ткачук, Е.В. Пелешко, А.В. Литвиненко // Вісник НТУ «ХП». Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – Харків: НТУ «ХП», 2009. – №28. – С. 16-20. 4. *Чепурной А.Д.* Общий подход к обоснованию параметров проектируемых машин на основе гибридных расчетно-экспериментальных моделей / А.Д. Чепурной, Г.П. Глинин, А.В. Литвиненко, Н.А. Ткачук // Механіка та машинобудування. Науково-технічний журнал. – Харків: НТУ «ХП», 2009. – №2. – С. 103-108. 5. *Пелешко С.В.* Комплексне до-

слідження міцності та жорсткості корпусів транспортних засобів спеціального призначення / Є.В. Пелешко, М.А. Ткачук, С.Т. Бруль, О.В. Литвиненко, І.М. Карапейчик // Вестник НТУ «ХПІ». Тем. вип.: Транспортное машиностроение. – Харьков: НТУ 2010, «ХПИ». – №39. – С. 116–131.

**6. Пелешко Е.В.** Расчетно-экспериментальные исследования динамических характеристик бронекорпусов машин легкой категории по массе / Е.В. Пелешко, А.В. Литвиненко, С.Т. Бруль // Вісник НТУ «ХПІ». Зб. наук. праць. Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – №22. – С. 81-86.

**7. Карапейчик И.Н.** Численное моделирование реакции тонкостенной конструкции на действие ударно-волновой нагрузки / И.Н. Карапейчик, С.Т. Бруль, В.М. Мазин, А.В. Литвиненко, А.Ю. Васильев // Вісник НТУ «ХПІ». Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – 2011. – № 51. – 2011. – №51. – С. 59–65.

**8. Карапейчик И.Н.** Расширенная расчетно-экспериментальная идентификация параметров численных моделей корпусных элементов транспортных средств специального назначения / И.Н. Карапейчик, А.В. Литвиненко, С.Т. Бруль, Н.А. Ткачук, А.Ю. Васильев // Вісник НТУ «ХПІ». Зб. наук. праць. Тем.вип.: Машинознавство та САПР. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – №22. – С. 69-77.

**9. Ткачук Н.А.** Экспериментальные исследования корпусов легкобронированных машин / Н.А. Ткачук, И.Н. Карапейчик, А.В. Литвиненко // Вісник СевНТУ. Зб. наук. праць. Серія: Механіка, енергетика, екологія. – Севастополь: СевНТУ, 2012. – № 133/2012. – С. 37-43.

**10. Литвиненко А.В.** Совершенствование математических и численных моделей напряженно-деформированного состояния элементов бронекорпусов при действии ударной волны / А.В. Литвиненко, Н.А. Ткачук, А.Ю. Васильев, Б.Я. Литвин, А.И. Шейко // Механіка та машинобудування. Науково-технічний журнал. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – №1. – С. 155-161.

**11. Литвиненко А.В.** Общий подход к проектно-технологическому обеспечению защищенности бронекорпусов транспортных средств специального назначения / А.В. Литвиненко, Н.А. Ткачук, Б.Я. Литвин, А.И. Шейко // Механіка та машинобудування. Науково-технічний журнал. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – №2. – С. 221-229.

**12. Литвиненко А.В.** Комплексные экспериментальные исследования динамических характеристик фрагментов, макетов и натуральных образцов элементов бронекорпусов транспортных средств специального назначения / А.В. Литвиненко // Вісник НТУ «ХПІ». Зб. наук. праць. Серія: Машинознавство та САПР. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – № 1(975). – С. 85-93.

**13. Ткачук Н.А.** Решение задач расчетно-экспериментального исследования элементов сложных механических систем / Н.А. Ткачук, Г.Д. Гриценко, Э.В. Глушенко и др. // Механіка та машинобудування. Науково-технічний журнал. – Харків: НТУ «ХПІ», 2004. – № 2. – С. 85–96.

**14. Ткачук Н.А.** Конечно-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания / Н.А. Ткачук, Г.Д. Гриценко, А.Д. Чепурной, Е.А. Орлов, Н.Н. Ткачук // Механіка та машинобудування. Науково-технічний журнал. – Харків: НТУ «ХПІ», 2006. – № 1. – С. 57-79.

**15. Танченко А.Ю.** Связанная задача о напряженно-деформированном состоянии и коррозионном утонении тонкостенных элементов конструкций / А.Ю. Танченко // Механіка та машинобудування. Науково-технічний журнал. – Харків: НТУ «ХПІ», 2010 – №1. – С. 55-60.

**16. Танченко А.Ю.** Напряженно-деформированное состояние пространственных тонкостенных конструкций с учетом утонения стенок несущих элементов / А.Ю. Танченко, Н.А. Ткачук, Ю.Б. Гусев // Вісник СевНТУ. Зб. наук. праць. Серія: Механіка, енергетика, екологія. – Севастополь, 2011. – Вип. 120. – С. 35-40.

**17. Ткачук Н.А.** Анализ чувствительности прочностных и динамических характеристик машиностроительных конструкций на основе прямого возмущения конечно-элементных моделей / Н.А. Ткачук, А.Ю. Танченко, А.Н. Ткачук [и др.] // Вісник НТУ «ХПІ». Зб. наук. праць. Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – № 22. – С. 147-169.

**18. Зенкевич О.** Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 541 с.

*Поступила в редколлегию 30.01.13*