

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

УДК 621.396.6

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

В. А. ВОСКОБОЙНИК

Кафедра защиты информации, Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, УКРАИНА
email:traffik08@mail.ru

АННОТАЦИЯ В данной работе рассматриваются основные конструктивно-технологические особенности технических устройств обработки информации. Уделено особое внимание плоским конструктивным узлам, как наиболее подверженным внешним дестабилизирующим факторам. Исследуется оценка зависимости динамических характеристик отдельных компонентов радиоэлектронных средств от внесения ими локальных характеристик в общую конструктивную систему. Определены основные задачи решения конструкторских задач. Предложен алгоритм математического моделирования и оптимального проектирования плоских конструктивных узлов.

Ключевые слова: технические средства приема-передачи информации, надежность, математическое моделирование, оптимизация, оптимальное проектирование.

АННОТАЦІЯ В цій роботі розглядаються основні конструктивно-технологічні особливості технічних пристроїв обробки інформації. Прیدілено особливу увагу плоским конструктивним вузлам, як найбільш схильними до зовнішніх дестабілізуючих факторів. Досліджується оцінка залежності динамічних характеристик окремих компонентів радіоелектронних засобів від внесення ними локальних характеристик в загальну конструктивну систему. Визначено основні завдання вирішення конструкторських задач. Запропоновано алгоритм математичного моделювання та оптимального проектування плоских конструктивних вузлів.

Ключові слова: технічні засоби прийому-передачі інформації, надійність, математичне моделювання, оптимізація, оптимальне проектування.

THE DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR OPTIMAL DESIGN OF THE MAIN COMPONENTS OF TECHNICAL DEVICES OF INFORMATION PROCESSING

V. VOSKOBOYNIK

Department of Information Protection, Zaporizhzhya National Technical University, Zaporozhye, UKRAINE

ABSTRACT In this paper are discussed the basic design and technological features of technical devices for information processing. Special attention is paid to a flat nodes of design as the most vulnerable to external destabilizing factors. We investigate the dependence of the dynamic assessment of the characteristics of individual components of radio-electronic means of introducing by them local characteristics into the overall structural system. The basic tasks of solving design problems are determined. The algorithm of mathematical modeling and optimal design of planar structural assemblies is proposed.

The technique of optimal design of the main components of the technical means of information processing. It allows the early stages of the design to assess their reliability and performance, reduce design time and manufacturing, to reduce the environmental tests, etc. Another advantage of this approach is that the developer designs of radio electronic means offer a tool that allows him to see in graphical form a true picture of fluctuations in construction, evaluate its dynamic performance in the test frequency range and set levels of external vibration effects. In the base of mathematical model of constructions lies the method of finite elements based on the Klaaf's quadrangle.

Keywords: technical devices of information transfer, reliability, mathematical modeling, optimization, optimal design.

Введение

Качество и надежность технических средств обработки информации должны закладываться еще на этапе их разработки и проектирования. Как правило, основными компонентами таких средств являются радиоэлектронные средства (РЭС) выполненные в виде блоков, в состав которых входят: шасси (корпус), плоские конструктивные узлы в виде печатных плат с электрорадиоэлементами и

закрепленные в корпусе определенным образом и кожух (или без него).

Постановка задачи

Переход от автоматизации отдельных этапов конструкторского проектирования (компоновки, трассировки, размещения) к автоматизации полного процесса проектирования отдельных узлов и блоков в целом с учетом внешних дестабилизирующих

факторов является актуальным направлением в области надежного проектирования РЭС. Современные бортовые РЭС подвержены интенсивным механическим и тепловым воздействиям, следовательно, влияние вибраций, ударов, температуры, а также выбор способов защиты от них необходимо учитывать на этапе проектирования.

Анализ динамических характеристик конструкций РЭС с использованием численных методов математического моделирования на ранних этапах проектирования позволяет определять уровни виброускорений на каждом радиоэлементе (ЭРЭ), собственные частоты конструктивных узлов, моделируя различные условия нагружения и способы закрепления.

Сравнение расчетных уровней виброускорений на ЭРЭ с допустимыми значениями, указанными в технических условиях (ТУ) на их эксплуатацию, позволяет судить о работоспособности данного конструктивного узла (работоспособным конструктивным узлом будем считать тот узел, у которого уровни виброускорений на каждом элементе не превышают заданных по ТУ). В случае превышения допустимых значений ускорений, а также при их граничных значениях, традиционно производилось изменение геометрии конструкции или их материала, способа закрепления, замена радиоэлементов или их перестановка, после чего математическое моделирование механических процессов повторялось. Такой подход позволял улучшать динамические характеристики, но, в то же время ухудшались критерии оптимальности, полученные на этапах размещения и трассировки. Кроме того, не всегда на практике предоставляется возможность реализовать предложенные пути обеспечения работоспособности конструкции, т. к. в большинстве случаев материал, геометрия, способ закрепления не могут быть изменены. Перестановка же элементов неприемлема из-за ухудшения показателей качества, получаемых на этапах размещения и трассировки. Таким образом, на проектируемую конструкцию печатного узла накладываются ограничения: материал, геометрия и способ закрепления постоянны, координаты ЭРЭ заданы и изменять их можно в том случае, когда нет других путей обеспечения работоспособности.

Основная часть

Исследования показали, что ЭРЭ изменяют значения локальных масс, а способы их закрепления оказывают существенное влияние на динамические характеристики как самого плоского конструктивного узла в целом, так и на сами элементы. Согласно нормативным конструкторско-технологическим документам, радиоэлементы могут устанавливаться на собственных выводах: приподняты, опущены на печатную плату, приклеены, приклеены с прокладкой,

привязаны, прижаты скобой (хомутиком) и т. д. Следовательно, жесткости фрагментов «печатная плата + жесткость, вносимая ЭРЭ и его способом крепления» будут различны. Таким образом, варьируя различными способами закрепления радиоэлементов, можно улучшить динамические характеристики плоского конструктивного узла.

Кроме того, конструктор стремится установить элементы на собственных выводах, т. к. любые дополнительные меры конструкторского и технологического ужесточения влекут за собой материальные и стоимостные затраты, а также затрудняют ремонтпригодность.

Таким образом, при проектировании плоских конструктивных узлов требуется решить следующие основные задачи:

- обеспечение оптимальных критериев компоновки, размещения и трассировки с применением промышленных автоматизированных систем проектирования;
- обеспечение работоспособности конструкции с учетом влияния внешних механических воздействий;
- оптимизация конструкции по выбранным критериям.

В настоящей работе задача оптимизации плоских конструктивных узлов РЭС рассматривается как минимизация целевой функции, представляющая собой сумму переменных проектирования при условии выполнения основных ограничений типа неравенств. Эти ограничения определяют уровни максимально допустимых виброускорений на ЭРЭ и уровни максимально допустимых виброперемещений ЭРЭ (во избежание соприкосновения с рядом стоящими конструктивными узлами). Область допустимых значений переменных проектирования ограничивается системой дополнительных прямых ограничений на эти переменные с целью исключения нереального физического проекта [1]. Переменными проектирования выбраны локальные жесткости фрагментов «печатная плата + жесткость, вносимая ЭРЭ и способом его крепления», т.е. вариантом его установки.

Учитывая то обстоятельство, что процесс оптимизации требует расчета большого числа, аналогичных конструкций, для повышения его эффективности предлагается:

- использовать функции чувствительности (скорости изменения характеристик конструкции РЭС при изменении переменных проектирования) [2];
 - выбирать в качестве исходного базисного вектора переменных проектирования минимальные локальные жесткости фрагментов «печатная плата + жесткость, вносимая ЭРЭ и способом его крепления».
- На пути оптимизации плоских конструктивных узлов возникает ряд препятствий, а именно [3]:
- большое количество переменных проектирования;
 - большое количество ограничений типа

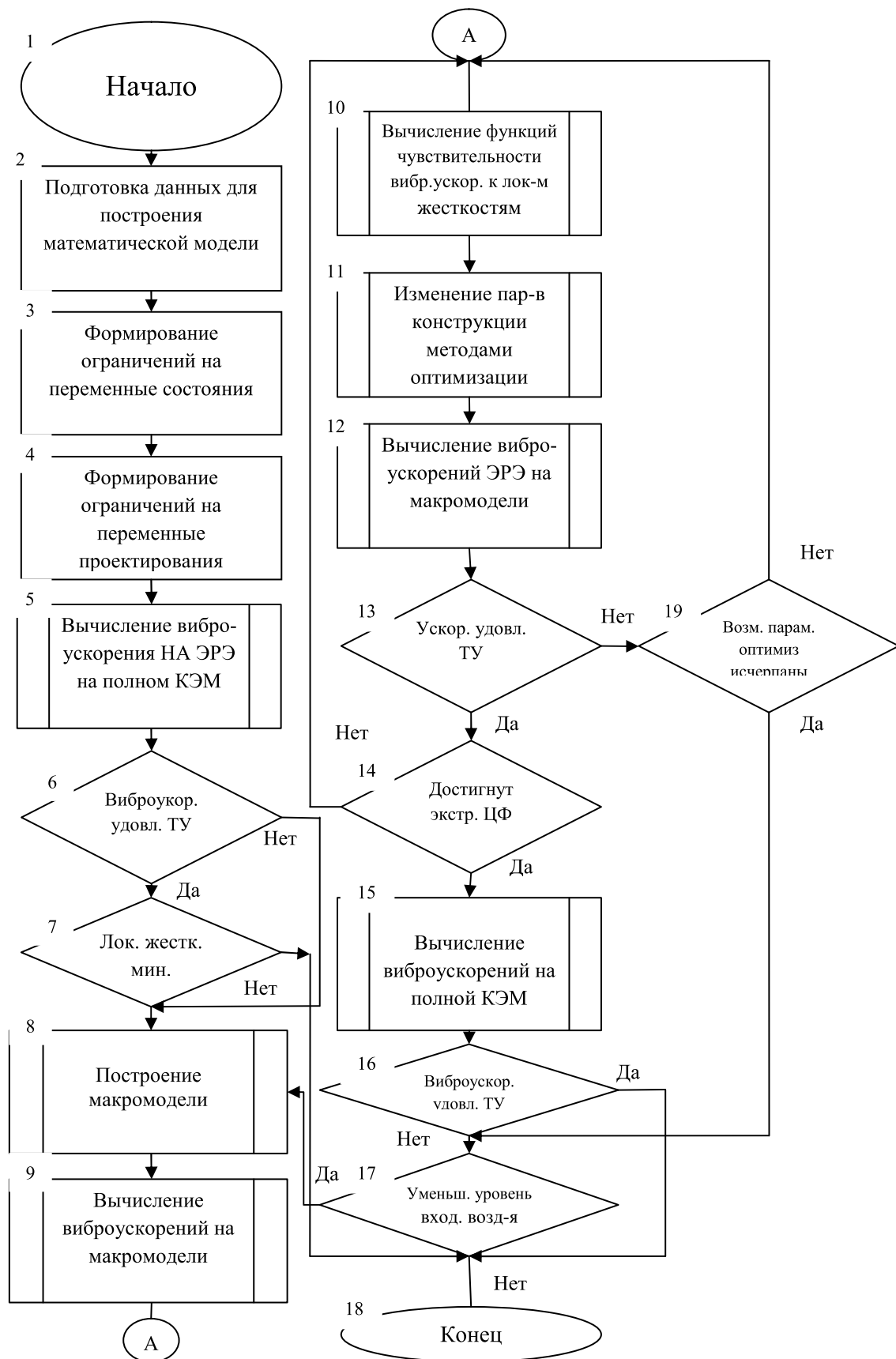


Рис. 1. – Алгоритм методики оптимального проектирования плоских конструктивных узлов

неравенств;

- сложная неявная зависимость переменных состояния от переменных проектирования;
- большая размерность самой математической модели.

Для решения данной проблемы и получения области допустимых значений переменных проектирования для задач обеспечения переменных состояния, предлагается процесс оптимизации плоских конструктивных узлов проводить по следующей методике:

- расчет динамических характеристик на полной конечно-элементной модели (КЭМ);
- оптимизация на макромоделе;
- повторный анализ на полной КЭМ.

Алгоритм методики оптимального проектирования плоских конструктивных узлов с применением методов математического моделирования представлен на рис 1.

Проектирование начинается с подготовки исходных данных для построения математической модели (блок 2). На этом этапе происходит формирование (создание) образа конструкции, задаются физико-геометрические параметры плоского конструктивного узла, проводится размещение ЭРЭ на нем (с помощью существующих автоматизированных систем, или вручную), задаются массы ЭРЭ, способ их закрепления, координаты установки, а также проводится дискретизация плоского конструктивного узла путем расчленения его на конечные элементы заданной формы. Кроме того на этом этапе задаются условия механических нагрузений (уровни входного воздействия) и способ закрепления плоской конструкции, т.е. задаются граничные условия. После подготовки исходных данных для построения математической модели и дальнейших расчетов проводится подготовка ограничений на переменные состояния (блок 3), где формируются данные о допустимых уровнях виброускорений на каждый ЭРЭ и значения максимальных виброперемещений с учетом ограниченных расстояний между соседними печатными узлами или печатным узлом и корпусом.

На следующем этапе задаются прямые ограничения на переменные проектирования с целью исключения нереального проекта (блок 4), задаются варианты установки ЭРЭ, указывается, вариантами каких радиоэлементов допускается варьировать, какими нет, формируя множество дискретных переменных, которые в дальнейшем будут служить исходными данными обеспечения работоспособности и оптимизации.

Для расчета виброускорений на ЭРЭ используется матричный метод на базе КЭМ, которая наиболее полно описывает протекающие в конструкции деформационные процессы (блок 5). По результатам сравнения расчетных значений виброускорений с допустимыми по ТУ (блок 6) на каждом ЭРЭ принимается решение о необходимости

проведения оптимизации. Если расчет виброускорений проводился при вариантах установки, которые соответствуют минимальным локальным жесткостям (блок 7), а, следовательно, конструкция имеет оптимальное решение по выбранному критерию, то процесс проектирования и оптимизации окончен, в противном случае происходит построение макромоделе (блок 5). После этого проводится расчет значений виброускорений на макромоделе (блок 9) и вычисляются функции чувствительности переменных состояния от переменных проектирования (блок 10). Необходимость вычисления функций чувствительности виброускорений на каждом ЭРЭ к локальным варьируемым жесткостям, вносимыми способом крепления элементов, обусловлена тем, что, во-первых, для сложной динамической системы такой, как плоский конструктивный узел с различными локальными массами и жесткостями, трудно однозначно указать вариант установки какого радиоэлемента можно изменить, т. к., улучшая характеристики на одном ЭРЭ, изменяются характеристики на других; во-вторых, если элемент имеет единственный способ крепления, а виброускорение на нем больше допустимого по ТУ, то необходимо знать, с помощью каких других элементов можно улучшить его динамические характеристики. Зная функции чувствительности и используя методы оптимизации, можно варьировать переменными проектирования (блок 11), проводить повторный расчет значений виброускорений на макромоделе (блок 12) и сравнивать расчетные значения виброускорений с заданными по ТУ (блок 13), т.е. проводить параметрическую оптимизацию. Если невозможно достичь работоспособного варианта конструкции средствами параметрической оптимизации (блок 19) при заданном входном воздействии, то принимается решение о возможности уменьшения его уровня (блок 17). В противном случае проводится оптимизация до достижения минимального значения целевой функции (блок 14). Получив оптимальную конструкцию по выбранному критерию, можно производить повторный расчет виброускорений на ЭРЭ на полной КЭМ (блок 15) и проводить проверку на удовлетворение требованиям работоспособности (блок 16). Если конструкция работоспособна и оптимальна, то процесс проектирования заканчивается. В случае нарушения требований работоспособности, принимается решение о снижении уровня входного воздействия (блок 17). Если такое решение приемлемо, то процесс проектирования повторяется с блока 9, в противном случае принимается решение о перестановке элементов, изменении физико-геометрических параметров, либо способа закрепления плоского конструктивного узла.

На основании изложенной методики разработан алгоритм и проведена программная

реализация с использованием формальных языков программирования, что, в свою очередь, позволило представить форму изгибных колебаний плоского конструктивного узла в графическом виде.

Выводы

Предложенная методика оптимального проектирования основных компонентов технических средств обработки информации позволяет на ранних этапах проектирования оценить их надежность и работоспособность, снизить сроки проектирования и изготовления, сократить натурные испытания и т.д. Другим преимуществом такого подхода является то, что разработчик-конструктор получил инструмент, позволяющий ему видеть в графическом виде истинную картину колебания конструкции, оценивать ее динамические характеристики в заданном частотном диапазоне и уровнях внешних воздействий

Список литературы

1. Недоступ, Л. А. Забезпечення якості та надійності радіоелектронних пристроїв шляхом комплексної оптимізації процесів виробництва / Л. А. Недоступ, Ю. Я. Бобало, М. Д. Кіселичник, О. В. Лазько // *Вісник Національного університету „Львівська політехніка”*. – 2005. – № 534. – С. 45-51.
2. Волочий, Б. Ю. Методика визначення показників надійності відмовостійких програмно-апаратних радіоелектронних систем / Б. Ю. Волочий, Л. Д. Озірковський, Т. І. Панський, О. В. Муляк // *Вісник НТУУ «КПІ»*. – 2013. – № 55. – С. 71-79.
3. Черкесов, Г. Н. Надежность аппаратно-программных комплексов: Учебное пособие / Г. Н. Черкесов. – СПб.: Питер. – 2005. – 479 с. – ISBN 5-469-00102-4.
4. Ийуду, К. А. Математические модели отказоустойчивых вычислительных систем / К. А. Ийуду, С. А. Кривошеков. – М.: Изд-во МАИ. – 1989. – 144 с.
5. Волочий, Б. Ю. Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем / Б. Ю. Волочий. – Львів: Вид-во НУ “Львівська політехніка”. – 2004. – 220 с.
6. Чернов, А. В. Классификация моделей надежности программного обеспечения / А. В. Чернов, И. Г. Паращенко // *Инженерный вестник Дона*. – 2012. – № 4. – 3 с.
7. Friedman, M. A. Reliability techniques for combined hardware and software systems / M. A. Friedman, P. Y. Tran, P. L. Goddard; Final technical report; Rome Laboratory Air Force Systems Command, Griffiss Air Force Base. – New York. – 1992. – 286 p.
8. Luy, M. R. Handbook of software reliability engineering / M. R. Luy – Ca.: IEEE Computer Society Press, 1996.
9. Musa, J. D. Software Reliability Models: Concepts, Classification, Comparisons, and Practice / J. D. Musa, K. Okumoto // *Electronic Systems Effectiveness and Life Cycle Cost-ing*. – 1983. – Vol. 3. P. 395-423. [CrossRef]
10. Bohdan, V. The software for the analysis of reliability of fault-tolerant radio-electronic systems / B. Volochiy, L. Ozirkovskyy, P. Klochko // *Uradzenia i systemy radioelektroniczne UiSR’09 : III Konferencja naukowa, 23-25 wresnia 2009 / Wojskowa Akademia Techniczna. – Soczewka, 2009.*

11. Мандзій, Б. Автоматизація моделювання поведінки радіоелектронних інформаційних систем / Б. Мандзій, Б. Волочий, Л. Озірковський, П. Ключко // *Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2009): IV Міжнародна науково-технічна конференція, 8-10 жовтня 2009 / ВНТУ. – Вінниця. – 19 с.*
12. Сташевський, З. П. Особливості проблеми синтезу систем захисту інформації у структурних підрозділах МНС України / З.П. Сташевський, Ю.І. Грицюк // *Науковий вісник НЛТУ України*. – 2012. – Вип. 22.10. – С. 79-96.

Bibliography (transliterated)

1. Nedostup, L. A., Bobalo, Yu. Ya., Kiselychnyk, M. D., Lazko, O. V. Zabezpechennia yakosti ta nadiinosti radioelektronnykh prystroiv shliakhom kompleksnoi optymizatsii protsesiv vyrobnytstva. *Visnyk Natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnika”*, 2011, **705**, 237-242.
2. Volochiy, B. Y., Ozirkovskyy, L. D., Panskyi, T. I., Mulyak, O. V. (2013) Methodology for determining the reliability of fault-tolerant hardware-software radioelectronic systems. *Visn. NTUU KPI, Ser. Radioteh. radioaparobuduv.*, no. 55, pp. 71-79. (in Ukrainian)
3. Cherkasov, G. N. Nadezhnost apparatno-programnykh kompleksov. SPb., Piter Publ, 2005, 479 p.
4. Iyudu K.A., Krivoshchekov S.A. (1989) Matimaticheskie modeli otkazoustoichevykh vychislitelnykh system [Mathematical models of fault-tolerant computing systems]. Moscow, MAI Publ., 144 p. – ISBN 5-7035-0004-4
5. Volochiy, B. Y. Tekhnolohiia modeliuвання alhorytmiv povedinky informatsiinykh system. Lviv, Lviv Polytechnic National University Publ., 2004, 220 p.
6. Chernov, A.V., Parashhenko, I. G. Klassifikacija modelej nadezhnosti pro-grammnogo obespechenija. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2012, **4**, 3 p.
7. Friedman, M. A., Tran, P. Y., Goddard, P. L. Reliability techniques for combined hardware and software systems. Air Force Systems Command, Griffiss Air Force Base, New York., 1992, 286 p.
8. Luy, M. R. Handbook of software reliability engineering. Ca., IEEE Computer Society Press, 1996.
9. Musa, J. D., Okumoto, K. Software Reliability Models: Concepts, Classification, Comparisons, and Practice. *Electronic Systems Effectiveness and Life Cycle Costing*, 1983, **3**, 395-423. doi: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-82014-4_22
10. Bohdan, V., Ozirkovskyy, L., Klochko, P. The software for the analysis of reli-ability of fault-tolerant radio-electronic systems. *Uradzenia i systemy radioelektroniczne UiSR’09. Soczewk, Wojskowa Akademia Techniczna*, 2009.
11. Mandziy, B., Volochiy, B., Ozirkovskyy, L., Klochko, P. Avtomatyzacija modeljuvannja povedinky radioelektronnykh informacijnyh system [Computer-aided simula-tion of the behavior of electronic information systems]. *Modern Problems of Radio Engineer-ing, Telecommunications and Instrumentation (SPRTP-2009)*. Vinnitsa, 2009, 19 p.
12. Stashevsky, Z. P., Grycyuk, Yu. I. Features of problem of synthesis of systems security of information are in structural subdivisions of ministry of emergency measures of Ukraine. *Naukoviy visnik NLTU Ukrainy*, 2012, **10(22)**, 79-96.

Поступила (received) 15.10.2015