

УДК 514.8

**Валерій БОНДАРЕНКО**

bondarenkoval@ukr.net

ORCID: 0000-0002-9389-3084

**Владислав ПОТУРНАК**

kt1411@outlook.com

ORCID: 0000-0001-5470-1855

**Богдан ГУНЬКО**

gunko\_bogdan\_m\_kt-14-1-03@mail.ru

ORCID: 0000-0001-7935-8794

м. Дніпро

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВІРТУАЛЬНИХ МЕХАНІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ РАДІО-ЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ ЗА ЇХНІМИ ГЕОМЕТРИЧНИМИ КОМП'ЮТЕРНИМИ МОДЕЛЯМИ

*Створення сучасних складних технічних об'єктів, зокрема, радіоелектронних засобів, базується на інтеграції їхнього різноаспектного ком-п'ютерного моделювання та суттєво складніших й дорожчих експериментальних досліджень об'єкту – його випробувань. Суттєве вдосконалення та поширення комп'ютерного моделювання й на екосистему об'єкту надає принципову можливість зменшувати питому вагу експериментальних досліджень, замінюючи їх потужним комп'ютерним моделюванням – так званими віртуальними випробуваннями. У статті наведено матеріали з розробки автоматизованої підсистеми віртуальних механічних випробувань РЕЗ на основі САПР АСОНИКА.*

*Ключові слова: проектування, радіоелектронний засіб(РЕЗ), гео-метричне моделювання, електронний макет, механічні зовнішні чинники впливу, вібрація, удар, випробування, віртуальні випробування, автоматизована система.*

**Постановка проблеми.** Віртуальні випробування об'єктів проектування стають все більш поширеним та ефективним засобом проектної діяльності. Саме тому особливого значення набувають конкретні розробки автоматизованих систем віртуальних випробувань для певних угруповань продукції, до яких висуваються високі вимоги якості за жорстких умов експлуатації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Особливу роль випробувань в оптимізації процесу створення виробів ракетно-космічної техніки (РКТ) досліджував І. В. Мельников [1]. Проектування таких складних виробів являє собою ітеративний процес з вельми розвиненою структурою, що містить певну низку доволі самодостатніх циклів – етапів, на кожному з яких водночас з аналітичними проектними розробками проводяться різноманітні експериментальні дослідження та випробування. Випробування являють собою невід'ємну й найважливішу складову цього процесу – за розроблення сучасних ракет-носіїв близько 40 % усіх різноманітних проблем, що виникають в процесі проектування, вирішується саме за допомогою відповідних випробувань. В математичній постановці планування випробувань, тобто розроблення (проектування) Повної системи випробувань виробу РКТ та укладання Програми комплексних випробувань (експериментального відпрацювання) являє собою узагальнену задачу оптимального синтезу процесу випробувань, що наближено розв'язується методами, які базуються на ієрархічному підході. Для виробів РКТ, що являють собою складні системи, це найбільш природньо, бо відбиває їхню об'єктивну властивість ієрархічної упорядкованості, тобто й здатності до декомпонування – поділу на ряд підсистем, блоків, елементів. Для процесу випробувань природньо прийняти ту ж декомпозицію, що й для самого проектного виробу РКТ. Належить відзначити дослідження Д. О. Щемелініна [2] візуалізації комплексних теплових та механічних процесів у блоках електронних приладів (ЕП). Розроблені алгоритми графічних інтерфейсів на основі 3-D моделей візуалізації теплових і механічних процесів конструкцій ЕП, методика візуалізації вихідних

даних і результатів моделювання ЕП при комплексних теплових і механічних впливах, що відрізняється від відомих наявністю комплексних інформаційних, топологічних, математичних і 3-D – моделей візуалізації теплових і механічних процесів. Розроблена і реалізована структура автоматизованої підсистеми синтезу та аналізу проектних рішень ЕП при комплексних механічних та теплових впливах, що відрізняється від існуючих наявністю препроцесора та постпроцесора для моделювання механічних і теплових процесів у несних конструкціях ЕП в універсальній САЕ-системі, що забезпечують зручну для проектувальника ЕП мову взаємодії на базі графічних інтерфейсів введення-виведення, можливістю побудови усїєї ієрархії конструкцій ЕП від блоку до окремого ЕРВ для передавання впливів і результатів моделювання між окремими рівнями ієрархії.

У дисертаційній роботі Є. О. Першина [3] набули розроблення питання втомної міцності конструкцій РЕЗ. Надійність РЕЗ значно погіршується за дії механічних впливів: вібрацій, ударів, лінійних перевантажень, акустичних шумів. Відмови РЕЗ при механічних впливах, по-перше, пов'язані з виходом за межі, встановлені нормативно-технічною документацією (НТД), механічних режимів конструкцій РЕЗ: прискорень, переміщень (прогинів), силових напружень тощо, що призводить до втрати міцності і стійкості елементами конструкцій РЕЗ, й по-друге, до специфічних втрат міцності призводить накопичення втомних пошкоджень у виводах радіоелементів – з подальшим їхнім руйнуванням – протягом тривалої дії механічних впливів. Розроблені алгоритми розрахунку часу до втомного руйнування конструкцій друкованих вузлів і радіоелементів при впливі гармонійної і випадкової вібрації, а також багатократного удару, що відрізняються від існуючих можливістю безпосередньої реалізації засобами макропрограмування ANSYS на основі результатів аналізу на механічні дії. Розроблена структура та здійснена програмна реалізація автоматизованої підсистеми аналізу втомної міцності конструкцій друкованих вузлів на механічні впливи, що відрізняється від існуючих систем втомного аналізу інтегрованістю в загальний процес автоматизованого проектування конструкцій РЕЗ та високим ступенем автоматизації. Фундатори автоматизованої системи забезпечення надійності та якості апаратури (АСОНИКА) О.С. Шалумов, Ю.М. Кофанов у співавторстві з М. В. Малютінін, О. Ю. Мартиновим. у своїй програмній статті [4] широко анонсували застосування АСОНИКА для віртуалізації випробувань РЕЗ зі стійкості до дії комплексів дестабілізуючих чинників впливу. АСОНИКА забезпечує математичне моделювання певної низки різноманітних фізичних процесів (механічних, теплових, електричних, електромагнітних тощо) у модельованому виробі РЕЗ, у тому числі – за їхньої комплексної дії. Ефективним розв'язком задачі створення високонадійної РЕА є застосування віртуальних випробувань електронного макету розроблюваного приладу, для чого АСОНИКА, зокрема, реалізує: створення електронного макету приладу(електронного паспорту); проведення віртуальних випробувань електронного макету для визначення його стійкості до дії дестабілізуючих механічних та теплових чинників, включно комплексних; визначення плану випробувань й розроблення пропозицій щодо заміни частини натурних випробувань віртуальними; проведення віртуальних типових випробувань замість натурних – з урахуванням даних про розроблюваний прилад, що накопичуються в його електронному паспорті. Але заанонсована авторами статті здатність АСОНИКА до повної віртуалізації випробувань РЕА, принаймні, її описуваної версії, видається сумнівною – хоча б тому, що у її складі немає відповідної підсистеми.

**Формулювання цілей.** Метою цієї роботи є створення автоматизованої підсистеми віртуальних механічних випробувань РЕЗ бортової апаратури балістичних ракет і ракет-носіїв на основі автоматизованої системи забезпечення надійності та якості апаратури (АСОНИКА) та її підсистем, зокрема АСОНИКА-М, АСОНИКА-ТМ, АСОНИКА-УСТ на ґрунті всебічного різноаспектного аналізу сучасної методології випробувань – сучасного стану нормативно-методичного забезпечення системи випробувань радіоелектронної апаратури зразків озброєння та військової техніки (ОВТ).

**Основний матеріал.** АСОНИКА призначена для комп'ютерного моделювання електронної апаратури (ЕА) з метою аналізу та забезпечення її стійкості до комплексних теплових, механічних, електромагнітних дій, створення карт робочих режимів елек-трорадіовиробів (ЕРВ), аналізу показників надійності з урахуванням реальних режимів роботи ЕРВ й автоматизації документообігу за проектування ЕА. Система АСОНИКА складається з таких функціональних підсистем:

1. АСОНИКА-Т: аналіз та забезпечення теплових характеристик конструкцій РЕЗ;
2. АСОНИКА-М: аналіз типових конструкцій блоків РЕЗ на механічні дії;

3. АСОНИКА-М-ШКАФ: аналіз типових конструкцій шаф та стояків РЕЗ на механічні дії;
4. АСОНИКА-М-3D: аналіз та забезпечення стійкості до механічних дій довільних об'ємних конструкцій РЕЗ, створених в системах ProEngineer, SolidWorks та інших CAD-системах в форматах IGES и SAT;
5. АСОНИКА-ИД: ідентифікація фізико-механічних та теплофізичних параметрів моделей РЕЗ;
6. АСОНИКА-В: аналіз та забезпечення стійкості до механічних дій конструкцій РЕЗ, встановлених на віброізоляторах;

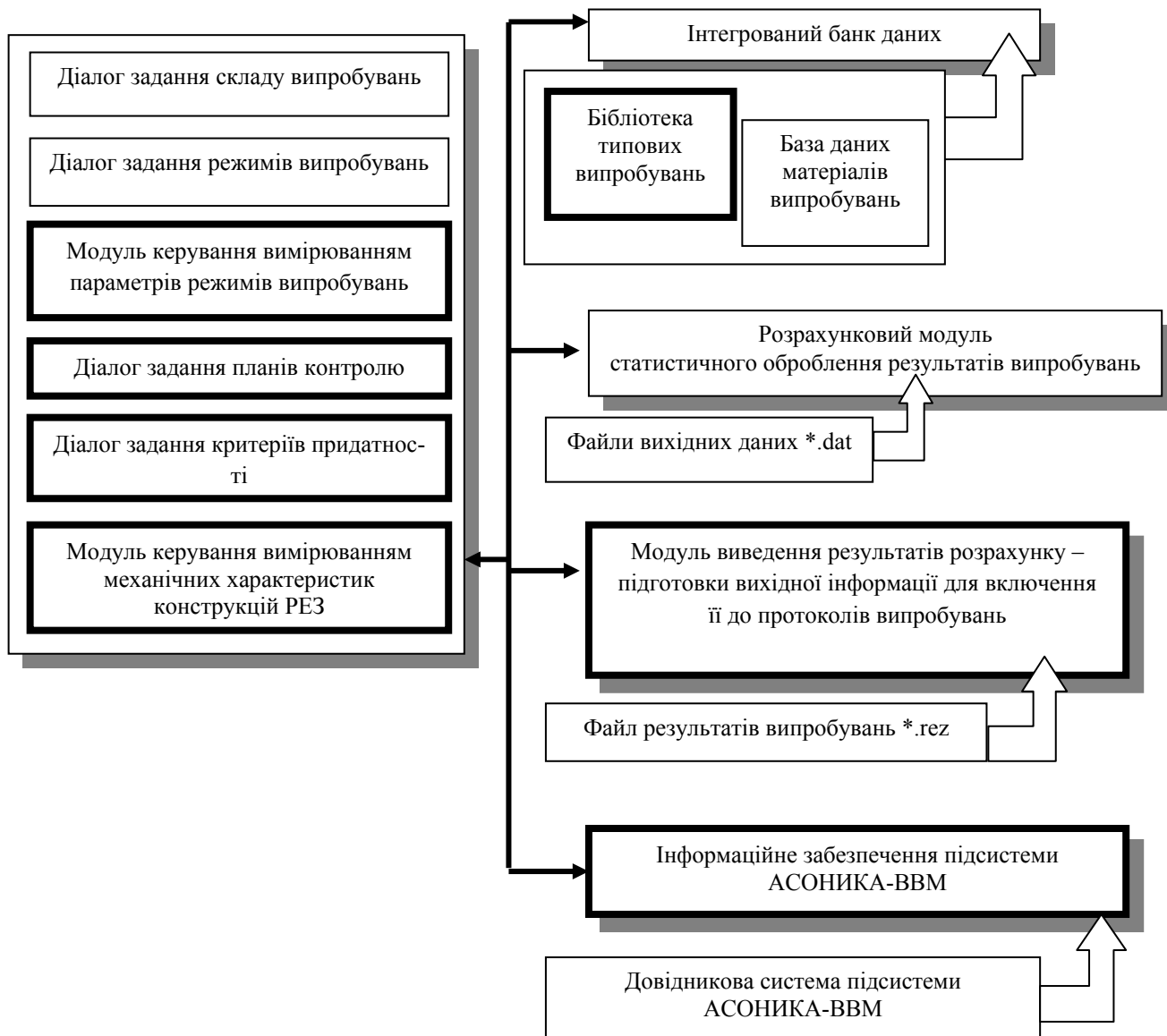


Рис. 1 Структурна схема підсистеми АСОНИКА-ВВМ

7. АСОНИКА-ТМ: аналіз конструкцій друкованих вузлів РЕЗ на теплові та механічні дії;
8. АСОНИКА-Р: автоматизоване заповнення карт робочих режимів ЕРВ;
9. АСОНИКА-Б: аналіз показників безвідмовності РЕЗ з урахуванням реальних режимів роботи ЕРВ;
10. АСОНИКА-УСТ: аналіз втомної міцності конструкцій друкованих плат та ЕРВ за механічних дій;
11. АСОНИКА-ЭМС: аналіз та забезпечення електромагнітної сумісності РЕЗ;
12. АСОНИКА-БД: довідникова база даних ЕРВ та матеріалів за геометричними, фізико-механічними, теплофізичними, електричними та надійнісними параметрами;
13. АСОНИКА-УМ: керування моделюванням РЕЗ за його проектування. Для сполучення з поширеними «важкими» САПР АСОНИКА містить такі конвертори: модуль інтеграції систем

проектування друкованих вузлів PCAD, Mentor Graphics, Altium Designere, OrCAD та підсистеми АСОНИКА-ТМ; модуль інтеграції 3-D моделі, створеної в системах ProEngineer, SolidWorks, Inventor та інших в форматах IGES и SAT та підсистеми АСОНИКА-М-3D. Як видно, у сучасній версії системи АСОНИКА відсутня будь-яка спеціалізована підсистема для забезпечення віртуальних випробувань електронних макетів РЕЗ, і саме її належить створити. Допоки що обмежимося механічними випробуваннями – як найбільш значущими для об'єкта проектування – РЕЗ бортової апаратури балістичних ракет і ракет-носіїв (група апаратури – 4.9, групи виконання апаратури – 4.9.1, 4.9.2 за ГОСТ

РВ 20.39.304-98). Безпосередньо до механічних процесів у електронних макетах проєктованих конструкцій РЕЗ долучені різною мірою такі підсистеми: АСОНИКА-М, АСОНИКА-М-ШКАФ, АСОНИКА-М-3D, АСОНИКА-В, АСОНИКА-ТМ, АСОНИКА-УСТ. Вочевидь, створювана автоматизована підсистема віртуальних механічних випробувань АСОНИКА-ВВМ(Випробувань Віртуальних Механічних) має зінтегрувати вищезазначені підсистеми – безпосередньо чи опосередковано.

Внутрішня будова підсистеми АСОНИКА-ВВМ характеризується такими видами структур, що відрізняються типами елементів і сталих зв'язків між ними: функціональні (елементи: функції, завдання, процедури; зв'язки – інформаційні); документальні (елементи: неподільні складові частини, документи АС; зв'язки: взаємодії, вхідності, підпорядкування); алгоритмічні (елементи – алгоритми; зв'язки – інформаційні); програмні (елементи: програмні модулі, вироби; зв'язки – керуючі).

Нормативно-технічна частина (НТЧ) містить повну базу нормативних документів, що врегулюють механічні випробування РЕЗ бортової апаратури ракет-носії техніки – балістичних ракет і ракет-носіїв: комплекси стандартів (група ГОСТ РВ 20.39.30X-98) – КСОТТ. Апаратура, прибори, пристрої та обладнання воєнного призначення. Требуваня стійкості к зовнішнім впливаючим факторам; комплекси стандартів (група ГОСТ РВ 20.57.30X-98) – КСКК. Апаратура, прибори, пристрої та обладнання воєнного призначення. Методи испытаний на воздействие механических факторов.

Інформаційно-керуюча частина (ІКЧ) містить алгоритми, на основі яких реалізуються керуючі функції: складу випробувань, режимів випробувань, планів контролю, критеріїв придатності (рис. 1).

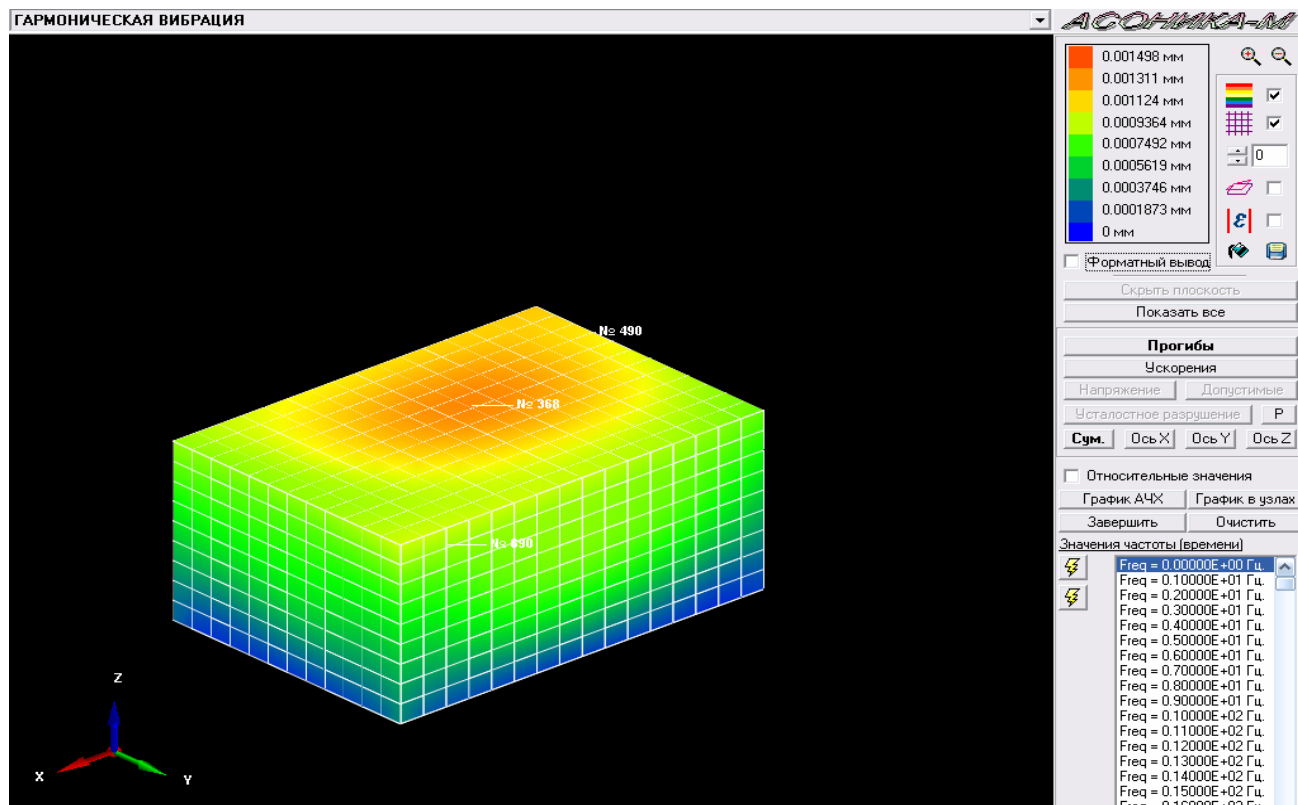


Рис. 2. Візуалізація віртуального випробування 103 – на тривкість при довготривалому впливі синусоїдальної вібрації

Інформаційно-вимірювальна частина (ІВЧ) містить алгоритми та програми: контролю за режимами випробувань, управління вимірюванням параметрів режимів випробувань, управління вимірюванням механічних характеристик конструкцій РЕЗ, статистичної обробки результатів випробувань, підготовки вихідної інформації для протоколів випробувань та супровідних документів (рис. 1).

Як графічна, так і числова візуалізація результатів певного випробування (рис. 2) дозволяє інженеру-випробувачу ефективно використовувати інтерактивний режим для належного керування усіма процесами віртуальних випробувань.

**Висновки.** 1. Проаналізована нормативна документація, що вичерпно врегулює механічні випробування РЕЗ бортової апаратури балістичних ракет і ракет-носіїв. 2. Запропоновано введення до складу АСОНІКА автоматизованої підсистеми – АСОНІКА-ВВМ, за допомогою якої реалізується імітаційне комп'ютерне моделювання повної системи віртуальних механічних випробувань РЕЗ. 3. Розроблено структуру, нормативно-методичне забезпечення та проведено первинне тестування першої версії підсистеми АСОНІКА-ВВМ. 4. Автоматизована підсистема АСОНІКА-ВВМ є ефективним засобом діалогового проектування та імітаційного комп'ютерного моделювання повної системи віртуальних механічних випробувань РЕЗ.

**Перспективи подальших досліджень.** 1. Вдосконалення внутрішньої структури автоматизованої підсистеми АСОНІКА-ВВМ у напрямку підвищення рівня автоматизації. 2. Розроблення на основі АСОНІКА-ВВМ інтегрованої автоматизованої підсистеми для реалізації повної системи віртуальних випробувань для усіх застандартизованих класів зовнішніх чинників впливу: механічних, кліматичних.

#### **Список використаних джерел**

1. Мельников И. В. Роль испытаний в оптимизации процесса проектирования изделий ракетно-космической техники / И. В. Мельников // Молодой ученый. — 2011. — № 2. Т. 1. — С. 38—41.
2. Щемелинин Д. А. Разработка 3-D модели визуализации тепловых и механических процессов в блоках электронных приборов: дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук. — СПб., 2008.
3. Першин Е. О. Разработка автоматизированной подсистемы анализа усталостной прочности конструкций печатных узлов при механических воздействиях: дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук. — М., 2012.
4. Малютин Н. В., Мартынов О. Ю., Шалумов А. С., Кофанов Ю. Н. Аппаратно-программный комплекс автоматизированного проектирования, обеспечения виртуализации испытаний и стойкости к воздействию дестабилизирующих факторов при эксплуатации РЭА / Н. В. Малютин, О. Ю. Мартынов, А. С. Шалумов, Ю. Н. Кофанов // Успехи современной радиоэлектроники. — М. : Изд. Радиотехника, 2011. — № 1. — С. 7—11.

*Valerii BONDARENKO, Vladyslav POTURNAK, Bohdan GUNJKO*  
Dnipropetrovsk

### **AUTOMATED SYSTEM OF VIRTUAL MECHANICAL TESTS OF RADIO-ELECTRONIC MEANS ACCORDING TO THEIR GEOMETRIC COMPUTER MODELS**

*The creation of modern complex technical facilities, in particular radio electronic facilities, is based on the integration of their diverse computer modeling and substantially more complex and expensive experimental survey of the object - its tests. Substantial improvement and expansion of computer modeling on the ecosystem of the object provides a principal opportunity to reduce the specific weight of experimental survey, replacing them with powerful computer modeling - the so-called virtual tests. The article contains materials on the development of a study of the automated subsystem of virtual mechanical tests of RES on the basis of ASONIKA CAD.*

*Keywords: design, radio-electronic means (REMs), geometric modeling, electronic layout, mechanical external impacts, vibration, impact, testing, virtual testing, automated system.*

**Валерий БОНДАРЕНКО, Владислав ПОТУРНАК, Богдан ГУНЬКО**  
г. Днепропетровск

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВИРТУАЛЬНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ПО ИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ КОМПЬЮТЕРНЫМ МОДЕЛЯМ**

*Создание современных сложных технических объектов, в частности радиоэлектронных средств, базируется на интеграции их разноаспектного компьютерного моделирования и существенно более сложных и дорогих экспериментальных исследований объекта – его испытаний. Существенное совершенствование и расширение компьютерного моделирования и на экосистему объекта предоставляет принципиальную возможность уменьшать удельный вес экспериментальных исследований, заменяя их мощным компьютерным моделированием – так называемыми виртуальными испытаниями. В статье приведены материалы по разработке автоматизированной подсистемы виртуальных механических испытаний РЭС на основе САПР АСОНИКА.*

*Ключевые слова: проектирование, радиоэлектронное средство (РЕС), геометрическое моделирование, электронный макет, механические внешние воздействующие факторы, вибрация, удар, испытания, виртуальные испытания, автоматизированная система.*

Стаття надійшла до редколегії 12.04.2017