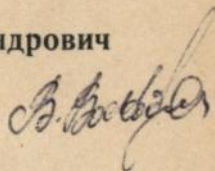


ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

На правах рукопису

ВОСКОБОЙНИК Володимир Олександрович



**РОЗРОБКА МЕТОДУ ОПТИМАЛЬНОГО
ПРОЕКТУВАННЯ БЛОЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ
РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ
З ВРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ВІБРАЦІЙ**

Спеціальність: 05.12.13 — Пристрої радіотехніки
та засобів зв'язку

А в т о р е ф е р а т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів — 1995

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00777353 (W)

На правах рукопису

ВОСКОБОЙНИК Володимир Олександрович

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОПТИМАЛЬНОГО
ПРОЕКТУВАННЯ БЛОЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ
РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ
З ВРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ВІБРАЦІЙ

Спеціальність: 05.12.13 — Пристрої радіотехніки
та засобів зв'язку

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

ДВ 37.920

ЛНБ України ім. Стефаніки
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «Львівська політехніка»
00777353 (W)

На правах рукопису

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Запорізькому Державному технічному університеті.

Науковий керівник — кандидат технічних наук, доцент

Кришук Володимир Миколайович.

Офіційні опоненти:

- 1. Доктор технічних наук, доцент Когут Василь Михайлович.
- 2. Кандидат технічних наук, доцент Мотика Ігор Іванович.

Провідна організація — КБ ВО «Іскра», м. Запоріжжя.

Захист відбудеться «28» березня 1995 року о 14-00 на засіданні спеціалізованої вченої ради К068.36.01 в Державному університеті «Львівська політехніка», 290013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державного університету «Львівська політехніка», 290013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «20» лютого 1995 року.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради

Романишин Ю. М.

ЛНБ ім. В. Стефаніки
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Ускладнення радіоелектронних засобів (РЕЗ), підвищення вимог до їх надійнісно-експлуатаційних характеристик диктують необхідність удосконалення методів їх проектування з урахуванням різноманітності показників якості та конструкторсько-технологічних обмежень реального виробництва. Найбільш поширеними конструктивними рішеннями блоків бортових РЕЗ є блоки касетного типу. При їх проектуванні особливу увагу необхідно приділяти друкованим вузлам (ДВ), як найбільш чутливим до механічних навантажень та функціонально відповідальним конструктивним одиницям. Основні труднощі при розробці пов'язані із забезпеченням жорстких вимог до динамічних характеристик (віброперевантаження, резонансні частоти, тощо) як конструкції блоку в цілому, так і її складових з мінімальними вартісними витратами при їх розробці та виготовленні.

Основними причинами відказів РЕЗ є значні рівні віброприскорень на електрорадіоелементах (ЕРЕ), які перевищують допустимі за технічними умовами (ТУ) значення, широкий частотний діапазон (від 5 Гц до 5000 Гц), високі входні вібраційні впливи (до 30 g), істотна залежність рівня перевантажень на ЕРЕ від способу закріплення як самих ЕРЕ, так і несучої конструкції (НК) в цілому, залежність вартості виготовлення конструкції ДВ від способів кріплення ЕРЕ. Практика показала, що згідно ГСТ 4ГО.050.12-81 «Нормування монтажних робіт» будь-які конструктивні та технологічні заходи посилення жорсткості конструкції спричиняють істотні вартісні, часові та матеріальні витрати. Згідно з нормативними документами, кожний ЕРЕ може бути встановлений за кількома варіантами. При цьому технологічні витрати будуть різними. Кожний спосіб закріплення ЕРЕ на комутаційному полі вносить зміни в механічні характеристики як конструкції ДВ в цілому, так і в місцях їх кріплення. Отже, вибір варіанта конструкції ДВ є багатоальтернативним. Це приводить до необхідності в процесі проектування конструкції ДВ приділяти особливу увагу питанням оптимального проектування. З урахуванням конструктивної складності ДВ та особливостей їх конструктивного

виконання, оптимальне проектування практично є можливим тільки на основі методів аналізу динамічних характеристик, методів оптимізації і засобів автоматизованого проектування.

Однак, якщо питання аналізу динамічних характеристик, конструкцій блоків касетного типу із застосуванням ЕОМ на цей час набули певного розвитку як в теоретичному, так і в практичному планах, то питання оптимального проектування блоків є менш дослідженими і не набули практичного застосування.

Тому актуальною є задача розробки методів і алгоритмів оптимального проектування конструкцій блоків РЕЗ, а також ДВ як їх основної складової частини з врахуванням впливу вібрацій, їх практичної реалізації в процесі автоматизованого проектування.

Мета роботи. Метою дисертаційної роботи є розробка методу оптимального проектування конструкцій блоків РЕЗ з врахуванням вібраційного впливу, який дозволяє підвищити їх надійність та якість з мінімальними вартісними витратами на їх виготовлення, а також знизити трудомісткість робіт при їх проектуванні.

У роботі показано, що досягнення поставленої мети вимагає рішення таких **основних задач**:

— дослідження конструктивно-технологічних особливостей блоків РЕЗ і ДВ, процесу їх проектування з метою вибору способу досягнення поставленої мети;

— розробка макромоделі скінченного елемента (СЕ) та на його базі макромоделей конструкцій ДВ для задач аналізу їх динамічних характеристик та оптимального проектування;

— розробка математичної моделі оптимізації несучих конструкцій блоків РЕЗ;

— розробка методу оптимального проектування конструкцій ДВ з врахуванням впливу вібрацій;

— розробка підсистеми оптимального проектування конструкцій ДВ, які зазнають зовнішніх вібраційних впливів;

— розробка методу оптимального проектування конструкцій блоків РЕЗ з врахуванням вібраційного впливу. Експериментальна перевірка та впровадження результатів роботи.

Методи дослідження. У процесі вирішення поставлених завдань використані теорії: параметричної чутливості, опору матеріалів, методу скінченних елементів (МСЕ), макромодельовання, оптимізації та оптимального проектування, параметричного синтезу, числового аналізу і числових методів розв'язання систем рівнянь, а також принципи системного підходу, структурного програмування та експериментальні методи досліджень.

Нові наукові результати. При вирішенні завдань, поставлених в дисертації, були одержані такі нові наукові результати:

1. Розроблена макромодель СЕ, особливістю якої є те, що розмірність системи рівнянь, які описують динамічну рівновагу СЕ, знижена з 12-го порядку до 4-го, що дозволило побудувати макромодель ДВ і при цьому знизити обчислювальну похибку, скоротити час аналізу математичної моделі, розрахувати функції параметричної чутливості і здійснити процес оптимального проектування ДВ.

2. Розроблена математична модель оптимізації, в якій установлений взаємозв'язок між змінними проектування (конструктивними параметрами), змінними стану (віброприскорення та вібропереміщення, тощо), вартісними витратами на виготовлення конструкцій ДВ при умові рівноваги складної коливальної різномасової і різножорсткісної системи та двосторонніх обмеженнях на змінні проектування.

3. Розроблені метод і алгоритм оптимального проектування конструкцій ДВ у складі радіоелектронного блоку, в яких виділено два послідовних етапи, причому на першому етапі змінні стану вводяться в допустиме поле обмежень, що формуються (тобто проводиться параметричний синтез конструктивних параметрів з метою забезпечення потрібних динамічних характеристик), а на другому етапі здійснюється оптимізація за критерієм досягнення мінімуму вартісних витрат на виготовлення ДВ.

4. Створена підсистема оптимального проектування конструкцій ДВ у складі блоків РЕЗ, яка відрізняється наявністю програми передпроцесора і комплексу програм оптимізації, що дозволяє проводити параметричний синтез та оптимізацію за критерієм мінімізації вартості при виготовленні ДВ, а також наявністю бібліотеки способів закріплення ДВ.

5. Розроблено метод оптимального проектування конструкцій блоків РЕЗ, який дозволяє забезпечити потрібні динамічні характеристики всіх його складових при мінімальних вартісних витратах на проектування і виготовлення ДВ.

Практична цінність роботи полягає в тому, що розроблені макромодель, математична модель оптимізації, метод оптимального проектування і створена на їх основі підсистема оптимального проектування конструкцій ДВ з врахуванням впливу вібрацій дозволяє:

— скоротити терміни і трудомісткість проектування конструкцій, ДВ, а також одержати техніко-економічний ефект за рахунок скорочення обсягу випробувань дослідних зразків, зниження кон-

структивних і схемотехнічних доробок, витрат на матеріальні і комплектуючі вироби, доробки конструкторської документації;

— знизити вартість виготовлення при виробництві конструкцій ДВ за рахунок оптимального вибору способів кріплення кожного ЕРЕ;

— одержати майже точну і повну інформацію про динамічні параметри на кожному ЕРЕ і в будь-якій заданій точці ДВ;

— оцінити допустимий рівень вхідного вібровпливу, при якому будуть виконуватися вимоги ТУ на умови експлуатації ЕРЕ у випадку, коли можливості параметричного синтезу вичерпані.

Реалізація і впровадження результатів роботи. Розроблені в дисертації методи, моделі, алгоритми, програмні засоби використовувались при виконанні науково-дослідних робіт на кафедрі «Конструювання і технології радіоелектронних засобів» Запорізького державного технічного університету в період з 1968 року по 1994 рік.

Основні результати роботи впроваджені в практику трьох підприємств м. Запоріжжя: КБ ВО «Іскра», КБ «Електроавтоматика», НВО «Супутник», в УМВС України в Запорізькій області, а також у навчальний процес Запорізького державного технічного університету.

Апробація результатів роботи. Робота в цілому і окремі її результати доповідались на 11 всесоюзних симпозиумах, конференціях і семінарах, а також на науково-технічних семінарах кафедри «Конструювання і технології радіоелектронних засобів» Запорізького державного технічного університету та «Радіотехнічні пристрої і системи» Московського державного інституту електроніки й математики в період з 1986 по 1994 р.

Публікації. За основними результатами проведених досліджень і розробок опубліковано 15 друкованих робіт.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів з висновками, списку літератури та додатків, які містять в собі акти впровадження, програмну документацію на підсистему оптимального проектування конструкцій ДВ з врахуванням зовнішніх вібраційних впливів та приклади розрахунків підсистеми.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі до дисертаційної роботи обґрунтовується актуальність проблеми, мета й основні завдання дослідження, сформульовані нові наукові результати і наукові положення, що виносяться на

захист, вказана практична значимість і реалізація результатів проведених досліджень, а також подано короткий опис дисертаційної роботи.

У першому розділі визначені особливості несучих конструкцій блоків РЕЗ на основі вимог технічного завдання і конструкторського виконання; досліджені конструктивно-технологічні особливості конструкцій ДВ; розглянуто вплив механічних дій на технічні характеристики РЕЗ, а також механізм взаємозв'язку вартісних і механічних показників в конструкціях ДВ; досліджена структура і сучасна організація конструкторського проектування ДВ; проаналізовано вплив механічних дій на апаратуру в процесі її експлуатації, які приводять до різного роду відмов і досягають до 50 відсотків від загального числа; показано, що для ДВ, як найбільш чутливих елементів блоків РЕЗ, при значних рівнях вібраційних впливів жорстке закріплення ЕРЕ не завжди виправдане і пояснюється тим, що це приводить до додаткових вартісних витрат при їх виготовленні, а також сприяє передачі деформації гнучких коливань несучої конструкції на ЕРЕ, що тим самим викликає тензорезистивні, тензоємнісні та п'єзоелектричні ефекти, які приводять до зниження надійності; проведено аналіз існуючих методів математичного моделювання конструкцій РЕЗ; досліджено і проведено аналіз існуючих методів оптимізації й оптимального проектування РЕЗ з врахуванням механічних впливів, а також сформульована мета і поставлені завдання дисертаційної роботи.

Значний внесок в дослідження динаміки конструкцій РЕЗ внесли вчені: Карпушин В. Б., Когут В. М., Ільїнський В. С., Маквцов Е. М., Тартаковський А. М., Токарев М. Ф., Таліцький Е. М., Фролов В. А. та інші.

В наш час питаннями, пов'язаними з розрахунком динамічних властивостей конструкцій РЕЗ, займаються наукові колективи Львова, Новосибірська, Пензи, Москви та інші.

Ці колективи для побудови математичних моделей аналізу динамічних властивостей конструкцій РЕЗ використовують в основі гіпотези Кірхгофа-Лява і розв'язання задач проводять числовими методами (в основному використовують метод скінчених різниць). При цьому приймається припущення, що жорсткості, які вносяться способом закріплення ЕРЕ на ДВ, незначні і ними нехтують, а враховують тільки маси ЕРЕ. Такі припущення не відповідають реальним фізичним процесам, які відбуваються в реальних несучих конструкціях, що являють собою складну різномасову і різножорсткісну динамічну систему. Застосування аналітичних методів припустиме в основному для класичних способів опису межових умов несучих конструкцій ДВ, що не завжди відповідає реальним умо-

вам закріплення ДВ. Програмні продукти, розроблені в цих колективах, в основному призначені для проведення чисто аналізу динамічних характеристик, не вимагаючи обмежень за часовими, машинними і обчислювальними ресурсами.

Питанням оптимізації приділили велику увагу вчені: Батіщев Д. І., Богомолов А. Н., Фролов В. А., Баничук М. В. та інші. В основному це роботи в галузі радіотехніки, машинобудування, механіки однорідних суцільних середовищ, тощо. Але, питання оптимального проектування таких складних різномасових і різножорсткісних механічних систем, якими є конструкції ДВ, у наш час не знайшли належного дослідження.

Дослідження сучасного процесу проектування несучих конструкцій РЕЗ показали, що:

1. Існуюча методика проектування володіє низьким рівнем автоматизації проектування і не враховує вібраційних впливів; ґрунтується на приблизних розрахунках, інтуїції та подальшому відпрацюванні на макетах або лабораторних зразках, що приводить до збільшення терміну та трудомісткості проектування.

2. Наближені розрахунки динамічних характеристик, спричинених вібраційним впливом, не дають реальної картини напружено-деформованого стану конструкцій.

3. Відсутнє завдання оптимального проектування через:

— складність його проведення;

— відсутність відповідних програмних продуктів, які дозволяють за прийнятний термін і з певною точністю отримати вихідні дані аналізу;

— неточність методів аналізу, адекватно відображаючих фізико-механічні процеси, які протікають в конструкціях РЕЗ, котрі враховували б конструктивно-технологічні особливості й дозволяли отримати функції параметричної чутливості динамічних характеристик до конструктивних параметрів;

— відсутність методів і алгоритмів оптимального проектування складних різномасових і різножорсткісних механічних систем.

Спільним для задач прийняття оптимальних рішень, які виникають на різних етапах проектування, є те, що вони можуть бути сформульовані математично, як задача нелінійного програмування: для заданої математичної моделі проектованого пристрою необхідно підібрати такі значення варійованих параметрів (змінних проектування), щоб вони забезпечили екстремальне значення однієї з найбільш важливих техніко-економічних характеристик за умови, що інші характеристики задовольняють задану сукупність технічних вимог. На жаль, серед більшості числових методів по-

шуку оптимальних рішень, які одержали назву оптимального проектування (методів оптимізації, методів пошуку), не існує універсального, який дозволив би ефективно вирішувати будь-яку задачу. Вирішення кожної задачі оптимального проектування вимагає індивідуального підходу і багато в чому залежить від коректності розробленої математичної моделі оптимізації.

У зв'язку з цим у розділі подана постановка основних завдань дисертаційної роботи.

У другому розділі на основі проведеного в першому розділі аналізу проблем, які виникають в процесі проектування конструкцій РЕЗ, визначені основні вимоги до методу аналізу динамічних характеристик під впливом вібрації і сформульована його суть. Показано, що для визначення динамічних характеристик складних конструкцій РЕЗ з довільним розташуванням мас, локальних жорсткостей, вузлів кріплення, умов закріплення (межових умов), тощо, найбільш прийнятним є МСЕ, а математична модель, побудована на його базі, найбільш певно й адекватно відображає напружено-деформований стан механічної системи. За основу взятий прямокутний СЕ, так званий прямокутник Клаафа. Якщо уявити вузли у вигляді вершин прямокутника і кожного вузлу надати три степені вільності (лінійне переміщення і два кутових переміщення відносно координатних осей), то напружено-деформований стан гнучкої пластини опишеться системою рівнянь 12-го порядку. Гіпотези Кірхгофа дозволяють уявити СЕ гнучкої пластини у вигляді плоского прямокутника. Для побудови матриці жорсткості гнучкої пластини використовувалась апроксимуюча функція прогину у вигляді неповного поліному 4-го степеня від двох змінних.

Оскільки при оптимальному проектуванні багаторазово проводиться аналіз динамічних характеристик при різних значеннях конструктивних параметрів, вирахованих на кожному кроці оптимізації, то на базі математичної моделі СЕ розроблена макромодель СЕ, в якій зосереджена сила представлена у вигляді певної еквівалентної сили, яка являє собою добуток цієї сили на коефіцієнт згортки. Коефіцієнт згортки враховує зосереджені моменти. Так як зосереджені моменти зведені до зосереджених сил, то напружено-деформований стан гнучкої пластини буде тепер описуватися системою рівнянь 4-го порядку. На основі макромоделі СЕ за законами скінченно-елементного моделювання побудована макромодель конструкції ДВ, причому кожному СЕ відповідає своя циліндрична жорсткість, відповідна жорсткості друкованої плати і жорсткості, яка вноситься ЕРЕ та способом його закріплення.

Для виконання задачі системної обробки питання — як одер-

жати надійну апаратуру при найменших витратах, розроблена математична модель оптимізації конструкції ДВ з врахуванням вібраційного впливу, яка представлена в такому виді:

$$J = E \text{ (Dereh)} - D_{пл} \rightarrow \min, \quad || \quad J = \min \max Q_t(u),$$

$$h = 1$$

$$\text{якщо } P_0 = 0$$

$$\text{якщо } P_0 = 1,$$

$$[K(1 + j\Psi) - \omega^2 M] u = F,$$

$$k_i, s = f(D);$$

$$Q_t(u) \leq n \star Q_t, \quad t = 1, \dots, z;$$

$$D_{\text{Dereh}} \leq D_{\text{Dereh}} \leq D_{\text{Dereh}}, \quad h = 1, \dots, v,$$

$$\text{де } P_0 = 1 - (\prod_{t=1}^z (1 - P_t)),$$

$$t = 1$$

$$P_t = 1, \text{ якщо } Q_t(u) \geq n \star Q_t,$$

$$P_t = 0, \text{ якщо } Q_t(u) < n \star Q_t,$$

Dereh, D_{пл} — циліндрична жорсткість, внесена ЕРЕ та способом його закріплення і циліндрична жорсткість друкованої плати відповідно;

Dereh, Dereh — двосторонні обмеження;

D — циліндрична жорсткість СЕ;

K, M — матриця жорсткості і матриця мас;

k_i, s — елементи матриці жорсткості;

u — вектор переміщень у вузлах;

ω² — колова частота;

Ψ — коефіцієнт розсіювання енергії;

F — вектор прикладеного вібраційного впливу;

P₀ — показник працездатності конструкції;

n — коефіцієнт запасу міцності;

Q_t — допустимий за ТУ рівень віброперевантаження;

Q_t(u) — розрахункове значення рівня перевантаження на ЕРЕ;

v — кількість ЕРЕ, способи закріплення яких дозволено змінювати;

z — загальна кількість ЕРЕ чи точок контролю.

Як видно із математичної моделі оптимізації, процес проектування розпадається на два етапи: при P₀=0 — параметрична оптимізація, а при P₀=1 — параметричний синтез.

На основі проведених досліджень, розробленої макромоделі та моделі оптимізації розроблено метод оптимального проектування, який по суті є квазіградієнтним. Він дозволяє враховувати двосторонні прямі обмеження на змінні проектування та односторонні на змінні стану при умові виконання динамічної рівноваги механічної системи. Ефективність методу досягається за рахунок вико-

ристання матриці функцій параметричної чутливості і всеохоплюючого обліку всіх ЕРЕ. Особливістю методу є те, що на кожному кроці оптимізації проект змінюється так, що динамічні параметри не погіршуються.

Матриця функцій параметричної чутливості вираховувалась шляхом збурення однієї із змінних проектування і для апроксимації похідних матриць СЕ використовувались кінцеві різниці, так як числові методи аналізу чутливості з невиразно побудованими елементами ще повністю не досліджені.

На основі викладеного вище розроблено алгоритм оптимального проектування конструкцій ДВ з врахуванням впливу вібрацій.

У третьому розділі викладені основні завдання розробки підсистеми оптимального проектування конструкцій ДВ з врахуванням вібраційного впливу, в основу математичного забезпечення якої покладені розроблені макромодель СЕ, математична модель оптимізації, метод і алгоритм оптимізації, а також алгоритм оптимального проектування конструкцій.

У розділі відображені такі основні питання створення підсистеми:

- аналіз вимог до підсистеми;
- розробка структурної схеми й алгоритму функціонування підсистеми;
- розробка структури вхідних і вихідних даних підсистеми;
- розробка алгоритму передпроцесора формування математичної моделі аналізу;
- програмна реалізація підсистеми.

На основі аналізу основних вимог до підсистеми розроблена структурна схема підсистеми. Вона являє собою сукупність функціонально закінчених програмних модулів керованих програмою — монітором. Блочно-модульна структура підсистеми дозволяє ефективним способом доповнювати підсистему іншими програмними модулями, які розширюють її функціональні можливості.

Структура підсистеми є відкритою з точки зору можливостей: використання в ній інших числових методів розв'язання систем рівнянь, моделювання фізичних процесів, які відбуваються в конструкціях ДВ під вібраційним впливом; методів врахування межових умов; методів оптимізації та обчислень функцій параметричної чутливості, тощо.

На основі запропонованої структурної схеми розроблений алгоритм функціонування підсистеми оптимального проектування, який дозволяє працювати підсистемі як в автономному режимі, так і в складі інтегрованих САПР.

Ефективність запропонованої підсистеми зростає за рахунок розробленого алгоритму програми-передпроцесора, яка формує

стрічкові з мінімальною шириною прямокутні матриці жорсткості і мас, а також за рахунок розробленого методу врахування межових умов в математичній моделі.

Програмна реалізація підсистеми здійснена на алгоритмічних мовах:

- для машин серії ЕС — FORTRAN-VH;
- для комп'ютерів типу IBM — FORTRAN-77.

Перша версія підсистеми оптимального проектування має такі характеристики:

1. Підсистема дозволяє:
 - проводити аналіз і оптимізацію під впливом гармонійної вібрації;
 - проводити аналіз динамічних характеристик в заданому діапазоні частот;
 - визначати наявність і значення резонансних частот в діапазоні частотного впливу;
 - проводити параметричний синтез;
 - проводити оптимізацію за критерієм мінімізації вартості виготовлення конструкції ДВ;
 - вираховувати матрицю функцій параметричної чутливості віброприскорень в місцях кріплення ЕРЕ та будь-якої точки до жорсткостей узагальнених елементів;
 - будувати графік АЧХ для будь-якої заданої точки;
 - вираховувати допустимий рівень вхідного вібраційного впливу, якщо можливості параметричного синтезу вичерпані.
2. Витрати машинного часу при роботі підсистеми визначаються розмірністю розв'язуваної задачі і складають від декількох секунд до декількох десятків хвилин.
3. Обмеження, що накладаються на умови експлуатації підсистеми:
 - операційна система OS VM;
 - віртуальна пам'ять об'ємом 2 Мбайт;
 - віртуальні мінідиски з доступом до запису об'ємом 10 циліндрів;
 - віртуальний пристрій керування мінідисками;
 - максимальна розмірність — 378 вузлів;
 - максимальна кількість ЕРЕ — 150;
 - максимальне число аналізованих точок — 200;
 - число способів закріплення ДВ — 11.

Розроблена підсистема для ПЕОМ класу IBM-PC/AT має такі ж функціональні можливості, що і для серії ЕС. Крім того, вона має додаткові можливості:

- має діалоговий редактор підготовки вхідних даних;
- дозволяє відображати топологію конструкції ДВ як при односторонньому так і при двосторонньому монтажі;
- дозволяє відображати поле віброперевантажень на поверхні ДВ в кольоровій гамі;
- дозволяє відображати розподіл віброперевантажень на ЕРЕ з сигналізацією у кольоровій гамі при рівні віброперевантажень, що перебільшують задані або допустимі за ТУ;
- дозволяє відображати на екрані монітора та на друці форми гнучкої поверхні конструкції ДВ в аксонометрії.

Для успішної роботи підсистеми на ПЕОМ класу IBM-PC/AT необхідно мати ДОС-3.30 і вище, математичний співпроцесор, монітор з відеокартою EGA або VGA, ОЗУ ємністю 640 Кбайт, накопичувач на магнітному диску не менше 10 Мбайт.

Для практичного використання підсистеми оптимального проектування, а також для супроводження підсистеми в процесі її експлуатації розроблено опис підсистеми.

У четвертому розділі розроблено метод оптимального проектування конструкцій блоків РЕЗ з врахуванням вібраційного впливу.

Оптимальне проектування блоків РЕЗ будується на принципі поетапного проектування, який полягає в тому, що при побудові математичної моделі блоку конструкції ДВ являють собою макромоделі, згорнуті до вузлів кріплення. В результаті розрахунку динамічних властивостей блоку визначаються рівні переміщень та прискорень у кожній точці блоку. Ці дані виступають як вимушені впливи, що діють на конструкції ДВ. Застосування підсистеми оптимального проектування конструкцій ДВ дозволяє оцінити працездатність ДВ та одержати оптимальний варіант на більш деталізованій макромоделі. Якщо конструкція ДВ є непрацездатною, тобто хоч би на одному ЕРЕ рівень віброприскорення перебільшує припустимий, то здійснюється параметричний синтез. При вичерпанні можливостей параметричного синтезу визначається припустимий рівень вхідного впливу. Ці рівні припустимого вібровпливу входять до масиву активних обмежень при проектуванні блоку. Після чого здійснюється проектування каркасу блоку з метою задоволення потреб працездатності конструкцій ДВ.

Для підтвердження адекватності розробленої макромоделі аналізу фізичних процесів, що відбуваються в конструкціях ДВ, алгоритмів і програм оптимального проектування конструкцій РЕЗ проведено експериментальні дослідження. Було створено спеціальний прилад для визначення динамічних параметрів конструкцій. Вимірювання проводилось п'єзоелектричним методом за допомогою датчика КД-102 (НДР) та вимірювального приладу VM-20 (НДР).

Керування електродинамічним вібростендом здійснювалось за допомогою стояка керування ВДС-1800 в режимі синусоїдальних збуджень. В ході проведених досліджень тестових зразків та реальних виробів шляхом статистичної обробки отриманих результатів були визначені кількісні оцінки точності. В результаті обробки експериментальних і розрахункових даних отримані наступні значення максимальних похибок визначення динамічних характеристик конструкцій РЕЗ:

— за розрахунком значення резонансної частоти — 5%;

— за розрахунком значень амплітуд віброприскорень — 10%.

Ця похибка пов'язана з розкидом фізико-механічних параметрів конструкційних матеріалів, ідеалізацією закріплення ЕРЕ на друкованій платі, припущеннями при математичному моделюванні.

У розділі також наведені результати практичного застосування програмного забезпечення в процесі проектування, наведені результати впровадження розроблених в дисертаційній роботі методів, алгоритмів, програмних засобів в промисловість та навчальний заклад.

В додатках до дисертації наведені акти впровадження результатів дисертаційної роботи, результати роботи підсистеми оптимального проектування, опис підсистеми.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

Виконані в межах дисертаційної роботи дослідження є теоретичною розробкою і практичним рішенням проблеми підвищення ефективності конструкторського проектування вібростійких РЕЗ на основі нових математичних моделей, методів оптимізації та оптимального проектування, які дозволяють прогнозувати працездатність розроблюваних конструкцій з мінімальними вартісними витратами при їх виготовленні.

Основні результати дисертаційної роботи зводяться до того, що:

1. Проведені дослідження конструктивно-технологічних властивостей конструкцій ДВ, які показали, що:

— варіанти кріплення ЕРЕ не тільки впливають на механічні характеристики конструкцій ДВ, але і на вартість їх виготовлення;

— конструкції ДВ, як складові частини бортових РЕЗ, зазнають жорстких вібраційних впливів в процесі дії яких рівні вібропереміщень на ЕРЕ перевищують припустимі, задані за ТУ експлуатації, що приводить до оборотних і необоротних процесів, знижуючи надійність РЕЗ.

2. Розглянуті структура і сучасна організація процесу проектування конструкцій і показано, що в існуючому процесі проекту-

вання слабо впроваджені програмні засоби автоматизації проектування з врахуванням зовнішніх механічних впливів, які дозволяють на ранніх етапах проектування ще до отримання макетних і дослідних зразків оцінити показники механічних навантажень на ЕРЕ і конструкції в цілому та зробити відповідні зміни за допомогою методів оптимізації, запобігаючи натурним випробуванням і багатьом змінам в конструкції за результатами випробувань.

3. Проведений аналіз методів і програмних засобів, які застосовуються для математичного моделювання механічних процесів, що відбуваються в конструкціях ДВ та блоках РЕЗ і показано:

— перевагу методу скінченних елементів над іншими через його інформативність, наочність, адекватність реальним фізичним процесам;

— недосконалість принципів алгоритмічного, інформаційного забезпечення сучасних програмних засобів, орієнтованих на автономну експлуатацію, які не дозволяють розраховувати функції параметричної чутливості і проводити оптимізацію.

4. Задача оптимального проектування конструкцій РЕЗ є актуальною і повинна вирішуватися на спільному проведенні аналізу із застосуванням макромоделей та методів оптимізації з урахуванням складних обмежень на змінні проектування і змінні стану.

5. Розроблена макромодель СЕ і на її основі макромодель ДВ, яка дозволяє скоротити розмірність моделі для аналізу в три рази. Макромодельовання дозволило вирішити складну і важку задачу оптимального проектування як одного цілого.

6. Розроблена математична модель оптимізації конструкцій ДВ блочних РЕЗ, яка дозволяє проектувати конструкції мінімальної вартості за рахунок найкращого вибору варіанта кріплення ЕРЕ при задоволенні вимог вібростійкості.

7. Розроблений метод оптимального проектування конструкцій РЕЗ, який дозволяє досягти екстремуму цільової функції з урахуванням складних двосторонніх обмежень на змінні проектування та змінні стану з використанням повної матриці чутливості.

Відмітною особливістю запропонованого методу є те, що він може ефективно використовуватися як при оптимізації конструкцій ДВ за критерієм мінімізації вартості їх виготовлення, так і для задач параметричного синтезу.

8. На основі розробленої макромоделі, математичної моделі оптимізації та методу оптимального проектування розроблена підсистема оптимального проектування конструкцій ДВ з врахуванням вібраційного впливу.

9. Розроблено метод оптимального проектування конструкцій блоків РЕЗ під вібраційним впливом. Особливістю цього методу є

те, що вперше запропоновано алгоритм оптимального проектування блоків РЕЗ, при моделюванні яких ДВ замінюються макромоделями, приведеними до вузлів кріплення, а розрахункові значення аналізу блоку у вузлах кріплення виступають збуджуючими впливами для ДВ.

10. Проведена оцінка точності та експериментальна перевірка розробленої макромоделі, методів, алгоритмів і програмного забезпечення, що підтверджують припустимість їх застосування в практиці проектування РЕЗ.

11. Одержані в дисертаційній роботі результати впроваджені в практику проектування підприємств і навчальний процес вищих навчальних закладів.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ

1. Кришук В. Н., Воскобойник В. А., Василега Н. М. Автоматизация оптимального проектирования конструкций РЭС с применением «АСОНИКА-М»./Современные методы обеспечения качества и надежности электронных приборов. М.: Общество «Знание», 1990, с. 129—131.

2. Василега Н. М., Высоцкий В. В., Воскобойник В. А., Онищенко В. Ф. Определение статических характеристик сопротивления усталости в рамках подсистемы АСОНИКА-М./Цифровые модели в проектировании и в производстве РЭС: Межвуз. сб. науч. тр. Пенза: Пенз. политехн. ин-т, 1991. Вып. 3, с. 51—53.

3. Воскобойник В. А., Кришук В. Н. Оптимизация плоских конструктивных узлов на этапе проектирования./Цифровые модели в проектировании и в производстве РЭС: Межвуз. сб. науч. тр. Пенза: Пенз. политехн. ин-т, 1991. Вып. 3, с. 37—42.

4. Воскобойник В. А., Кришук В. Н. Методы оптимизации в задачах обеспечения надежности конструкций РЭС при вибрационных воздействиях./Теория и практика обеспечения надежности и качества радиоэлектронных средств: Сб. научн. труд. К.: УМК ВО, 1992, с. 10—13.

5. Василега Н. М., Воскобойник В. А. Оценка показателей надежности выводов ЭРИ при длительных вибрационных воздействиях./ХІІІІ. Всесоюз. научн. сессия, посвященная Дню радио. Тез. докл. Ч. 2. М.: «Радио и связь», 1989, с. 76.

6. Василега Н. М., Высоцкий В. В., Воскобойник В. А., Онищенко В. Ф. Определение статических характеристик сопротивления усталости в рамках подсистемы АСОНИКА-М./Зональн. конф. «Методы оценки и повышения надежности РЭС». Тез. докл. Пенза. 1990, с. 15.

7. Воскобойник В. А., Василега Н. М., Дементий С. В. Оптимизация печатных узлов при проектировании вибронадежных РЭС./Всесоюз. науч. техн. конф. «Автоматизированные системы обеспечения надежности РЭА» Тез. докл. Москва—Львов: 1990, с. 22.

8. Воскобойник В. А., Кришук В. Н. Обеспечение заданных динамических характеристик конструктивных узлов РЭС методами оптимизации./Всесоюз. научн. техн. конф. «Проблемы обеспечения высокой надежности микроэлектронной аппаратуры»: Тез. докл. Запорожье: 1990, с. 113.

9. Воскобойник В. А., Кришук В. Н. Применение квазиградиентных методов для обеспечения надежности РЭС при вибрационных воздействиях./ 46 Всесоюз. научн. сессия, посвященная Дню радио. Тез. докл. конф. М.: «Радио и связь», 1991, с. 68.

10. Воскобойник В. А., Дементий С. В., Сидоренко В. Н. Анализ и оптимизация динамических характеристик конструкций РЭС на ПЭВМ./Российская науч. техн. конф. «Методы оценки и повышения надежности РЭС». Тез. докл. конф. Пенза, 1991, с. 85.

11. Воскобойник В. А., Кришук В. Н., Мирошниченко И. В. Реализация макро моделирования в задачах оптимизации конструкций РЭС./Российская науч. техн. конф. «Методы оценки и повышения надежности РЭС». Тез. докл. конф. Пенза, 1991, с. 87.

12. Дементий С. В., Воскобойник В. А., Гоменюк Д. Н. Подсистема ввода исходной информации версии АСОНИКА-М, разрабатываемой для персональных компьютеров./Всесоюз. науч. техн. конф. «Автоматизированные системы обеспечения надежности РЭА». Тез. докл. Москва—Львов, 1990, с. 23.

13. Кришук В. Н., Василега Н. М., Воскобойник В. А. Методика автоматизированного расчета показателей безотказности элементов конструкций РЭС./ Всесоюз. науч. техн. конф. «Проблемы обеспечения высокой надежности микроэлектронной аппаратуры». Тез. докл. Запорожье, 1990, с. 172.

14. Кришук В. Н., Воскобойник В. А. Применение иерархического моделирования динамических характеристик блоков РЭС в задачах оптимизации./Российская науч. техн. конф. «Системный анализ и принятие решений в задачах автоматизированного обеспечения качества и надежности изделий приборостроения и радиоэлектроники». Тез. докл. Махачкала, 1991, с. 113.

15. Воскобойник В. А., Кришук В. Н. Макромоделирование в задачах анализа и обеспечения надежности конструкций РЭС кассетного типа./Научн. техн. конф. «Машинное моделирование и обеспечение надежности электронных устройств». Тез. докл. г. Бердянск, 1993, с. 80.

Анотація

Voskoboinik V. A. The development of the optimal project method of the block constructions of the radioelectronic devices with taking into account the action of vibrations. The research and the thesis for Candidate of Technical Science degree of 05.12.13. «Radiotechnique and communication devices» speciality. State University «Lvivska polytechnica», Lviv, 1995.

15 scientific thesis are being presented, which contain theoretical and axperimental investigations on the development of the optimal project method of the block constructions of the radioelectronic devices under the action of vibrations using the proposed models, methods and algorithms of the analisis and optimization of the dynamic characteristics.

The results of the research have been implemented at «Iskra», «Electroavtomatica» and «Sputnik» plants of Zaporozye.

Воскобойник В. А. «Разработка метода оптимального проектирования блочных конструкций радиоэлектронных средств с учетом воздействия вибраций». Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13. — «Устройства радиотехники и средств связи». Государственный университет «Львовская политехника», Львов, 1995 г.

Защищается 15 научных работ, которые содержат теоретические и экспериментальные исследования, посвященные разработке метода оптимального проектирования блочных конструкций радиоэлектронных средств с учетом воздействия вибраций с использованием предложенных моделей, методов и алгоритмов анализа и оптимизации динамических характеристик.

Осуществлено промышленное внедрение результатов работы в КБ ПО «Искра», КБ «Электраавтоматика» и на заводе «Спутник» г. Запорожья.

Ключові слова. Радіоелектронний пристрій, оптимізація, оптимальне проектування, макромодель, математична модель, параметри, конструкція, фізичні процеси.

Получено к печати 4.02.52 г.
Зак. № 11. Объем 128 л. и. Тип. 100.
Выпуск оформлен.

г. Запорожье. Типограф «Искра».

Yoskrabinik V. A. The development of the optimal project method of the block constructions of the radioelectronic devices with taking into account the action of vibrations. The research and the thesis for Candidate of Technical Science degree of 05.12-13. «Radioelectronics and communication devices» speciality. State University «Lvivska polytechnica», Lviv, 1995.

16 scientific thesis are being presented, which contain theoretical and experimental investigations on the development of the optimal project method of the block constructions of the radioelectronic devices under the action of vibrations using the proposed models, methods and algorithms of the analysis and optimization of the dynamic characteristics.

The results of the research have been implemented at «Iskra», «Electroavtomatika» and «Sputnik» plants of Zaporozhye.

Воскробиник В. А. «Разработка метода оптимального проектирования блочных конструкций радиоэлектронных средств с учетом воздействия вибраций». Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук специальности 05.12.13. — «Устойчивость радиоэлектронных средств к воздействию вибраций». Государственный университет «Львівська політехніка». Львів, 1995 г.

Задаються 16 наукових робіт, у яких опубліковано теоретичні та експериментальні дослідження щодо розробки оптимального методу проектування блочних конструкцій радіоелектронних засобів з урахуванням впливу вібрацій з використанням запропонованих моделей, методів та алгоритмів аналізу та оптимізації динамічних характеристик.

Об'єктами впровадження вісують результати роботи в КБ ПО «Іскра», КБ «Електроавтоматика» та на заводі «Спутник» в Запоріжжя.

Ключові слова. Радіоелектронні пристрої, оптимізація, оптимальне проектування, вимоги до динамічних характеристик, параметри, конструкція, фізичні процеси.

Подписано к печати 8.02.95 г.
 Зак. 71. Объем 1,25 п. л. Тир. 100.
 Бумага офсетная.

г. Запорожье. Типография «Искра».

456160

AB 31.928
AB 31.928