

КОНСТРУЮВАННЯ РАДІОАПАРАТУРИ

УДК 621.396.67.095

ОПТИМІЗАЦІЯ КРИТЕРІАЛЬНОЇ МОДЕЛІ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ

*Уваров Б.М., к.т.н., доцент, Зінковський Ю.Ф., д.т.н., професор
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна*

Вступ. Постановка задачі

Критеріальна модель радіоелектронного пристрою (РЕП) створюється на початку процесу проектування як модель нульового рівня та являє собою систему лінійних алгебраїчних рівнянь, у яких первинними аргументами є безрозмірні одиничні критерії, створені методами теорії подібності, а кожне з рівнянь відображає один з основних енергетичних процесів, які протікають у РЕП [1].

У загальному випадку систему критеріальних рівнянь можна подати у вигляді

$$\left. \begin{aligned} \bar{K}_1 &= \phi_{11}K_1 + \phi_{12}K_2 + \dots + \phi_{1n}K_n = \sum_{i=1}^n \phi_{1i}K_i \\ \bar{K}_2 &= \phi_{21}K_1 + \phi_{22}K_2 + \dots + \phi_{2n}K_n = \sum_{i=1}^n \phi_{2i}K_i \\ &\dots \\ \bar{K}_n &= \phi_{n1}K_1 + \phi_{n2}K_2 + \dots + \phi_{nn}K_n = \sum_{i=1}^n \phi_{ni}K_i \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де K_i – одиничні критерії; \bar{K}_j – частинні критерії, кожний з яких притаманний одному з енергетичних процесів.

Лінійна згортка цієї системи

$$\bar{K} = \sum_i^n \bar{K}_i = \sum_i^n \sum_k^m \phi_{ik} K_i \quad (2)$$

може розглядатися як комплексна цільова функція майбутнього пристрою, у якій зосереджені всі його функціональні характеристики.

Коефіцієнти впливу ϕ_{ii} із однаковими індексами – основні, визначають найбільший вплив критеріїв K_i на частинний; із різними ϕ_{ik} – перехресні, це впливи решти критеріїв K_k на \bar{K}_i , причому перехресні коефіцієнти взаємного впливу, згідно з принципом Онзагера дорівнюють один одному: $\phi_{ik} = \phi_{ki}$ [2]. Всі ці коефіцієнти впливу можуть бути визначені різними способа-

ми – теоретично, виходячи з математичної моделі процесу, методами теорії багатоцільової оптимізації, методами регресійного аналізу на основі статистичних досліджень, вольовим рішенням проектувальника [3,4,5].

Кожний з одиничних критеріїв відображає функціонально-конструктивні властивості РЕП чи якогось його функціонального вузла; одиничні критерії формуються таким чином, щоб їх максимальне значення відповідало максимальній якості реалізації відповідної функції. Значення одиничних критеріїв можуть відрізнятися один від одного на декілька порядків, якщо вони відносяться до різних фізичних процесів, і ці критерії необхідно нормувати.

Максимальне значення комплексного критерію \bar{K} повинно відповідати найвищій функціонально-конструктивній досконалості РЕП, а це може бути досягнуто параметричною оптимізацією одиничних критеріїв. Такий метод проектування може бути названий структурно-оптимізаційним.

Реалізації пристрою у вигляді конструкції згідно з такою моделлю повинно забезпечити проектуваному пристрою найкращі функціонально-конструктивні властивості.

Ціль дослідження

У систему рівнянь цільової функції (1) для сучасних багатофункціональних РЕП повинні увійти десятки одиничних критеріїв (іноді сотні), а кожний з останніх – це поєднання багатьох фізичних величин та конструктивних параметрів [1]. Тому параметрична оптимізація одиничних критеріїв цільової функції у більшості випадків – задача великої розмірності, що вимагає застосування потужних комп'ютерів та досконалих методів оптимізації, використання спеціалізованих систем автоматизованого проектування – САПР.

Максимуму комплексного критерію \bar{K} можливо досягнути оптимізацією частинних критеріїв \bar{K}_i та вибором оптимальних значень коефіцієнтів впливу ϕ_{ik} та ϕ_{ni} . Функціональні та конструктивні показники РЕП (одиничні критерії K_i) необхідно вдосконалювати згідно з порядком пріоритетів коефіцієнтів впливу.

На першому етапі проектування формуються одиничні критерії, які відповідають основним процесам перетворення енергії у РЕП, визначаються конструктивні параметри функціональних вузлів та провадиться розрахунок значень кожного критерію.

На другому визначаються згаданими вище способами коефіцієнти впливу ϕ_{ik} та ϕ_{ni} , які надаються одиничним та частинним критеріям згідно з функціональним призначенням пристрою, тобто створюється нульова модель пристрою й розраховується значення комплексного критерію \bar{K} .

Третій етап – оптимізація одиничних критеріїв до досягнення їх максимальних значень, оптимізація коефіцієнтів впливу у системі рівнянь цільо-

вої функції – створення наступного варіанту моделі нульового рівня.

Нові значення коефіцієнтів впливу дозволяють виділити ті одиничні критерії, які необхідно оптимізувати на наступних етапах проектування у першу чергу.

Ціль даного дослідження – визначити методи оптимізації одиничних та частинних критеріїв системи рівнянь цільової функції та оцінити ефект такої оптимізації на функціонально-конструктивні показники РЕП.

Система рівнянь цільової функції радіоелектронного пристрою

Основні енергетичні процеси, які протікають у РЕП – електромагнітні, електричні, теплові, механічні. Тому у склад комплексного критерія \bar{K} для РЕП повинні входити частинні критерії, відповідні цим процесам. Крім того, для конструктивних та технологічних показників пристрою також повинен бути критерій, який ці показники характеризує, це – частинний критерій макропоказників конструкції [1]. Таким чином, комплексний критерій всього РЕП можна подати у вигляді:

$$\bar{K} = \phi_1 \bar{K}_1 + \phi_2 \bar{K}_2 + \phi_3 \bar{K}_3 + \phi_4 \bar{K}_4 + \phi_5 \bar{K}_5, \quad (3)$$

де частинні критерії: \bar{K}_1 – макропоказників; \bar{K}_2 – електромагнітних процесів; \bar{K}_3 – електричних; \bar{K}_4 – теплових; \bar{K}_5 – механічних.

Частинний критерій макропоказників – це сума двох критеріїв: критерію конструктивної досконалості K_Q та технологічної досконалості K_{Te} зі своїми коефіцієнтами впливу:

$$\bar{K}_1 = \phi_{1Q} K_Q + \phi_{1T} K_{Te}. \quad (4)$$

Частинний критерій для електромагнітних процесів може бути одержаний, наприклад, як сума ефективності екранування електричного S_E та магнітного S_H полів:

$$\bar{K}_2 = \phi_{2E} S_E + \phi_{2H} S_H. \quad (5)$$

Для електричних процесів у якості частинного критерія можливо використати, наприклад, коефіцієнт підсилення K_n відповідного тракту чи його передаточну функцію W_n :

$$\bar{K}_3 = \phi_{3K} K_n; \quad \bar{K}_3 = \phi_{3W} W_n. \quad (6)$$

Частинний критерій для теплових процесів формується двома критеріями: критерієм теплового режиму K_T та критерієм теплової надійності K_{Pt} [6]:

$$\bar{K}_4 = \phi_{4T} K_T + \phi_{4P} K_{Pt}. \quad (7)$$

Нарешті, механічні процеси у РТП визначаються частинним критерієм:

$$\bar{K}_5 = \phi_{5B_3} K_{B_3} + \phi_{5M} K_{M\Sigma} + \phi_{5P} K_{P\sigma}, \quad (8)$$

який формується критеріями: віброзахисту K_{B_3} , витривалості матеріалів $K_{M\Sigma}$, механічної надійності $K_{P\sigma}$ [1].

У розгорнутому вигляді система рівнянь, які створюють комплексний критерій всього пристрою для РЕП:

$$\left. \begin{aligned} \bar{K}_1 &= \phi_{1Q} K_Q + \phi_{1T} K_{Te}; \\ \bar{K}_2 &= \phi_{2E} S_E + \phi_{2H} S_H; \\ \bar{K}_3 &= \phi_{3W} W; \\ \bar{K}_4 &= \phi_{4T} K_T + \phi_{4P} K_{Pt}; \\ \bar{K}_5 &= \phi_{5B3} K_{B3} + \phi_{5M} K_{M\Sigma} + \phi_{5P} K_{P\sigma}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Комплексний критерій РЕП – згортка (3) системи (9), максимуму цього критерію необхідно досягнути у процесі проектування.

Одиничні критерії цільової функції

Частинний критерій досконалості конструкції K_Q має вигляд:

$$K_Q^{st} = \frac{(N^{st} - \bar{N}^{st}) (T_p^{st})^3 k_m^{st} (k_\zeta^{st})^{2/3}}{M^{st} (V^{st})^{2/3}}. \quad (10)$$

Він співвідносить потужність, що потрібна апарату для реалізації його функціонального призначення, із його об'ємом V та масою M . Будь-який радіоелектронний пристрій для власного функціонування потребує електричної енергії від якогось первинного джерела – батареї чи електричної мережі (якщо він не живиться від внутрішнього, що входить у склад самого РЕП), тому потужність N , яка потрібна від джерела – один із головних параметрів засобу. Частина цієї потужності може бути використана для створення потоку енергії \bar{N} на виході із апарату (у підсилювача, передавача, випромінювача і т.ін.); для забезпечення функціонування радіоелектронної структури використовується потужність $N_\phi = N - \bar{N}$, вона ж буде витрачатися апаратом, як теплові збитки у оточуюче середовище.

Співвідношення N_ϕ із об'ємом та масою апарату буде показувати досконалість конструктивних рішень, які забезпечують функціонування останнього. Важливими показниками для РТП є параметричні критерії заповнення об'єму корпусу k_3 та використання маси k_m ; $k_3 = \bar{V}/V$ – характеристика раціональності компоновки (\bar{V} – об'єм, зайнятий електрорадіоелементами – ЕРЕ та функціональними вузлами – ФВ); $k_m = \bar{M}/M$ – характеристика маси радіоелектронної структури у апараті (\bar{M} – маса ЕРЕ та ФВ); T_p – технічний ресурс (чи час безвідмовної роботи) всього апарату.

Показники степеня для T_p та V забезпечують безрозмірність самого K_V , а у k_3 та k_m такі ж, як і у параметрів, із якими ці критерії пов'язані (тобто V та M). Вираз (10) – макропоказник конструктивної структури РЕП та технічних рішень, що забезпечили її реалізацію: чим менше об'єм та маса корпусу, у якому здійснюється функціонування радіоелектронної структури

апарату, тим досконаліше конструкція; видно також, який значний вплив на якість апарату має показник надійності T_p .

Критерій досконалості конструкції K_Q необхідно нормувати, якщо він повинен увійти у адитивний комплексний критерій \bar{K} . Для нормалізації K_Q прийнято значення, яке має відповідний коефіцієнт планшетного персонального комп'ютера: $K_Q = 6,63 \times 10^{26}$ [1].

Технологічна досконалість конструкції визначена за допомогою критерію $K_{Te} = K_{рт} \times K_{св}$, а він є добутком основних показників технологічності: критеріїв рівня технологічності $K_{рт}$ – за трудомісткістю виготовлення, та $K_{св}$ – собівартості, які безрозмірні. Існують нормативні документи (стандарти), де викладена методика розрахунку вказаних критеріїв [7].

Критерій K_T , що характеризує тепловий режим РТП, сформований, як функція абсолютних температур: оточуючого середовища T_o ; температур, які забезпечені у апараті – зовнішньої корпусу T_k , внутрішньої корпусу $T_{вн}$, температур ЕРЕ та ФВ $T_{ел}$ (остання не повинна перевищувати допустиму); енергії, що виділяють ЕРЕ $N_{ел}$, системи підтримки необхідного теплового режиму (вентиляції, охолодження ФВ) у внутрішньому об'ємі $N_{охл}$:

$$K_T^{st} = \frac{T_o^{st}}{T_{\text{äë}}^{st}} = 1 - \frac{N_{\text{çá}}^{st}}{T_o^{st} F_{\text{ê}}^{st}} \left(\frac{F_{\text{ê}}^{st}}{k_{\text{äë}}^{st} F_{\text{äë}}^{st}} \cdot \frac{N_{\text{äë}}^{st}}{N_{\text{çá}}^{st}} + \frac{1}{k_{\text{áí}}^{st}} + \frac{\delta_{\text{нò}}}{\lambda_{\text{нò}}^{st}} + \frac{1}{k_{\text{ê}}^{st}} \right). \quad (11)$$

Потужність, що виділяється елементами у внутрішньому об'ємі корпусу $N_{ел}$ та потужність, яка потрібна для роботи системи охолодження $N_{охл}$ повинні бути відведені у оточуюче середовище: $N_{ел} + N_{охл} = N_{зб}$; теплообмін здійснюється через поверхні тепловідводу елементів, що виділяють тепло $F_{ел}$ та зовнішню корпусу F_k ; $k_{ел}$, $k_{вн}$, $k_{ст}$, k_k – критерії тепловіддачі від поверхні елементів до внутрішнього об'єму, від внутрішнього об'єму до корпусу, через стінку корпусу, від корпусу до зовнішнього середовища, відповідно.

Різниці температур:

$$\Delta T = T_{ел} - T_o = (T_{ел} - T_{вн}) + (T_{вн} - T_k) + (T_{вк} - T_{зк}) + (T_k - T_o),$$

з умов теплового балансу:

$$T_{ел} - T_{вн} = \frac{N_{ел}}{k_{ел} F_{ел}}; \quad T_{вн} - T_k = \frac{N_{зб}}{k_{вн} F_k}; \quad T_{вн} - T_{кз} = \frac{N_{зб}}{k_{ст} F_k}; \quad T_{кз} - T_o = \frac{N_{зб}}{k_k F_k},$$

де $k_{ст} = \frac{\lambda_{ст}}{\delta_{ст}}$ – коефіцієнт теплопередачі через стінку корпусу.

Імовірність безвідмовної роботи $P(x)$ для електричних та електронних систем визначають згідно з DN -розподілом:

$$P^{st}(x, v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[\int_{-\infty}^{u_1^{st}(x)} e^{-\frac{z^2}{2}} dz + e^{\frac{2}{(v^{st})^2}} \int_{-\infty}^{u_2^{st}(x)} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \right],$$

$$\text{де } u_1^{st}(x) = \frac{1 - x^{st}}{v^{st} \sqrt{x^{st}}}, \quad u_2^{st}(x) = -\frac{1 + x^{st}}{v^{st} \sqrt{x^{st}}}.$$

Досконалість системи захисту пристрою від вібраційних та ударних впливів оцінені критеріями динамічного підсилення $K_{\text{дин}}$ за силового збудження та передачі $K_{\text{кін}}$ – за кінематичного, згідно з [8], функціями:

$$\left. \begin{aligned} K_{\text{дин}} &= \frac{s_{\text{в}}}{s_{\text{ст}}} = \frac{1}{\sqrt{[1 - (\varpi)^2]^2 + 4(\gamma^2)(\varpi)^2}}; \\ K_{\text{кін}} &= \frac{s_{\text{в}}}{s_{\text{o}}} = \frac{\sqrt{1 + 4(\gamma^2)(\varpi)^2}}{\sqrt{[1 - (\varpi)^2]^2 + 4(\gamma^2)(\varpi)^2}}, \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

де амплітуди переміщень: $s_{\text{в}}$ – вимушених апарата, $s_{\text{ст}}$ – статичних від дії зовнішньої періодичної сили, $s_{\text{в}}$ – основи, до якої кріпиться апарат; $\varpi = \omega/\omega_o$ – параметричний критерій розладу (співвідношення частот – зовнішнього періодичного фактору ω та власної ω_o об'єкту); γ – коефіцієнт механічних втрат у віброізоляторах.

У дорезонансній зоні ефективність віброзахисту можливо оцінити значеннями $K_{\text{еф}} = 1/K_{\text{дин}}$ та $K_{\text{еф}} = 1/K_{\text{кін}}$ ($K_{\text{дин}} > 1$ та $K_{\text{кін}} > 1$), а у зарезонансній – $K_{\text{еф}} = 1 - K_{\text{дин}}$ чи $K_{\text{еф}} = 1 - K_{\text{кін}}$ ($K_{\text{дин}} < 1$ та $K_{\text{кін}} < 1$). Узагальнене позначення критеріїв ефективності віброзахисту – $K_{\text{Бз}}$.

Використання несівної спроможності конструкційних матеріалів визначає частинний критерій $K_{\text{м}}$: у елементах конструкції виникають діючі напруження σ , τ , $\sigma_{\text{к}}$ (нормальні, дотичні, контактні); допустимі їх значення $\sigma_{\text{р}}$, $\tau_{\text{р}}$, $\sigma_{\text{кп}}$ визначаються властивостями матеріалів та режимом навантаження деталі.

Згідно з теорією витривалості матеріалів [9] та стандартами, що регламентують методи розрахунків елементів конструкцій на витривалість, за циклічних навантажень (завдяки вібраціям та ударам), допустимі нормальні напруження $\sigma_{\text{р}}$ матеріалу деталі повинні визначатися з врахуванням кількості циклів навантаження N_c у процесі експлуатації:

$$\sigma_{\text{р}}^{st} = \sigma_{-1}^{st} \left[\frac{N_b^{st}}{N_c^{st}} \right]^{1/m^{st}},$$

де σ_{-1} – межа витривалості матеріалу; N_b – базове число циклів навантаження, m – показник кривої втоми для матеріалу.

Параметричні безрозмірні критерії

$$K_{\text{м1}}^{st} = \frac{\sigma^{st}}{\sigma_{\text{р}}^{st}}; \quad K_{\text{м2}}^{st} = \frac{\tau^{st}}{\tau_{\text{р}}^{st}}; \quad K_{\text{м3}}^{st} = \frac{\sigma_{\text{к}}^{st}}{\sigma_{\text{кп}}^{st}},$$

у першому наближенні визначають, наскільки використана спроможність матеріалу нести навантаження. Всі ці критерії можна поєднати в один

$$K_{\Sigma}^{st} = \left(\frac{\sigma^{st}}{\sigma_P} \right)^\alpha \cdot \left(\frac{\tau^{st}}{\tau_P} \right)^\beta \cdot \left(\frac{\sigma_K^{st}}{\sigma_{KP}^{st}} \right)^\gamma,$$

де α, β, γ - коефіцієнти впливу відповідних напружень на загальну міцність конструкції – останні можуть бути знайдені розрахунками чи методами регресійного аналізу.

Імовірність безвідмовної роботи $P_i(\tau)$ елемента конструкції, у якому виникають діючі напруження σ_e , визначається відносним строком служби:

$$x^{st} = \frac{N_c^{st}}{N_b^{st}} \left[\frac{\sigma_e^{st}}{\sigma_{-1}^{st}} \right]^{m^{st}},$$

а імовірність безвідмовної роботи розраховують згідно з *DM*-розподілом:

$$P(x, \nu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{u(x)} e^{-\frac{z^2}{2}} dz,$$

де $u(x) = \frac{1-x}{\nu\sqrt{x}}$; x – відносний період часу, для якого визначається $P(x, \nu)$;

ν - коефіцієнт варіації процесів деградації.

Імовірність безвідмовної роботи всієї конструкції, яка складається з n елементів – добуток з імовірностей $P_i(\tau)$ – одиничний критерій $K_{P\sigma}$:

$$K_{P\sigma}^{st} = P^{st}(\tau) = \prod_{i=1}^n P_i^{st}(\tau).$$

Оптимізація критеріальної моделі радіоелектронного пристрою

Значення коефіцієнтів впливу частинних критеріїв у виразі комплексного критерія (3) на першому етапі можливо визначити згідно з теорією багатоцільової оптимізації [4], і вони для п'яти частинних критеріїв такі:

$$\phi_1 = 0,400; \phi_2 = 0,275; \phi_3 = 0,175; \phi_4 = 0,100; \phi_5 = 0,050.$$

Максимальне значення комплексного критерія \bar{K} буде одержано, якщо коефіцієнт ϕ_1 у рівнянні (3) надати частинному критерію \bar{K}_i , який має найбільше значення, наступні ϕ_i – тим, що послідовно зменшуються, і нарешті ϕ_5 – частинному критерію, що має мінімальне значення.

Але, як відмічено раніше, значення коефіцієнтів ϕ_i залежить від функціонального призначення РЕП, і найбільший з них потрібно надати частинному критерію, який визначає основну функціональну характеристику (наприклад, надійність функціонального вузла чи всього РЕП), а наступні – згідно з функціональними характеристиками інших енергетичних чи фізичних процесів.

Для оптимізації одиничних критеріїв доцільно використати метод ВПЗП (випадкового пошуку зі зміною інтервала пошуку) – він дозволяє врахувати обмеження на зміну окремих параметрів цих критеріїв [10].

Результати імітаційного моделювання

Визначення комплексного показника якості конструкції проведено для модуля системи керування комплексу активної фазованої антенної решітки (АФАР).

Корпус модуля з алюмінієвого сплаву – герметизований, розмірами 200×125×28 мм, охолоджується зовнішнім потоком повітря з температурою $T_0 = 30^\circ\text{C}$. У стаціонарному режимі ФВ та ЕРЕ модуля виділяють 25 Вт тепла.

З метою з'ясування впливу механічних та теплових процесів на комплексний критерій \bar{K} згідно з (3) розглянуті частинні критерії: макропоказників \bar{K}_1 , механічних процесів \bar{K}_2 , теплових \bar{K}_3 та одиничних, що в них входять. Така увага до механічних та теплових факторів пояснюється тим, що як раз 75 – 80% випадків відмов у РЕП відбуваються завдяки впливу цих факторів.

Для розрахунку коефіцієнту досконалості K_Q необхідні такі дані:

– об'єм модуля (його визначають зовнішні розміри корпусу): $V = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;

– загальна маса $M = 0,65$ кг, маса ЕРЕ та ФВ $m_e = 0,29$ кг;

– технічний ресурс (заданий у ТЗ) $T_p = 2 \cdot 10^4$ годин;

– коефіцієнти: $k_m = m_e/M = 0,29/0,65 = 0,45$; $k_3 \approx 0,25$.

Згідно з (10), одиничний критерій K_Q :

$$K_Q = \frac{(N - \bar{N}) T_p^3 k_m k_3^{2/3}}{M V^{2/3}} = \frac{25 \cdot (2 \cdot 10^4 \cdot 3,6 \cdot 10^3)^3 \cdot 0,45 \cdot (0,25)^{2/3}}{0,65 \cdot (7 \cdot 10^{-4})^{2/3}} = 3,32 \cdot 10^{26}.$$

Еталонне значення $(K_Q)_{\max}$ для нормалізації: $(K_Q)_{\max} = 6,63 \cdot 10^{26}$, тому $K_Q/(K_Q)_{\max} = 0,501$.

Одиничний критерій технологічності K_{Te} , за відсутністю даних про технологічні процеси, у першому наближенні прийнятий таким: $K_{Te} = 1$.

У результаті частинний критерій макропоказників:

$$\bar{K}_1 = \phi_{IV} K_Q + \phi_{IT} K_{Te} = 0,667 \cdot 0,501 + 0,333 \cdot 1 = 0,667.$$

Частинний критерій для механічних процесів:

$$\bar{K}_2 = \phi_{2B3} K_{B3} + \phi_{2M} K_{M\Sigma} + \phi_{2P} K_{P\sigma}.$$

Одиничний критерій, що враховує стійкість конструкції до вібраційних впливів, одержаний таким:

$$K_{\text{кін}} = \frac{\sqrt{1 + 4\delta^2 v^2}}{\sqrt{(1 - v^2)^2 + 4\delta^2 v^2}} = \frac{\sqrt{1 + 4 \cdot 0,03^2 \cdot 0,384^2}}{\sqrt{(1 - 0,384^2)^2 + 4 \cdot 0,03^2 \cdot 0,384^2}} = 1,165.$$

Критерій захисту від механічних впливів $K_{3M} = 1/K_{\text{кін}} = 1/1,165 = 0,858$.

Вібраційні та ударні навантаження призводять до виникнення напружень у виводах та паяних з'єднаннях МС, а також до зменшення надійнос-

ті модуля внаслідок цього. Розрахунок цих показників дає такі значення:

– надійність виводів за вібрацій $P_e = 0,642$;

– надійність виводів за ударів $P_y = 0,819$;

Таким чином, критерій надійності модуля за дії механічних впливів:

$$K_{P.M} = P_e \cdot P_y = 0,642 \cdot 0,819 = 0,526.$$

Для розрахунку критерію якості, що характеризує механічні впливи \bar{K}_1 необхідно визначити функції впливу ϕ_i кожного з одиничних критеріїв:

$$\phi_1 = 0,538; \phi_2 = 0,308; \phi_3 = 0,154.$$

Пріоритети для одиничних критеріїв: якщо найбільш важливим прийняти надійність конструкції, то $K_1 = K_{P.M} = 0,538$, другим за важливістю можливо прийняти критерій захисту від вібрацій $K_2 = K_{3.M} = 0,858$, нарешті, останній – коефіцієнт $K_3 = K_Q = 0,501$.

Критерій \bar{K}_2 для механічних процесів:

$$\bar{K}_2 = \lambda_1 K_1 + \lambda_2 K_2 + \lambda_3 K_3 = 0,538 \cdot 0,858 + 0,308 \cdot 0,963 + 0,154 \cdot 0,789 = 0,880;$$

Частинний критерій \bar{K}_3 для теплових процесів – це відношення температури оточуючого середовища до температур ЕРЕ та ФВ.

Стінка корпусу підсилювача з розмірами 200×125 мм являє собою пластину штиркового радіатора, який охолоджується потоком повітря з температурою $t_{cm} = 30^\circ\text{C}$, причому температура основи самого радіатора та й будь-якого ЕРЕ не перевищує 70°C , тому одиничний критерій

$$K_T = 303/343 = 0,883.$$

Внаслідок низької температури основ елементів електронної структури підсилювача імовірність їх безвідмовної роботи на протязі строку експлуатації $T_p = 2 \cdot 10^4$ годин може вважатися максимальною: $K_{Pt} = 1$.

Таким чином, частинний критерій для теплових процесів:

$$\bar{K}_3 = \phi_{3T} K_T + \phi_{3P} K_{Pt} = 0,667 \cdot 0,883 + 0,333 \cdot 1 = 0,922.$$

Комплексний критерій для підсилювача:

$$\bar{K} = \phi_1 \bar{K}_1 + \phi_2 \bar{K}_2 + \phi_3 \bar{K}_3 = 0,538 \cdot 0,667 + 0,308 \cdot 0,880 + 0,154 \cdot 0,922 = 0,772.$$

Аналіз показує, що найменше значення з частинних критеріїв має критерій макропоказників \bar{K}_i , але він має найбільший коефіцієнт впливу – $0,538$; оптимізація коефіцієнтів впливу дає можливість одержати такий варіант нульової моделі та відповідне значення комплексного критерію:

$$\bar{K} = \phi_1 \bar{K}_1 + \phi_2 \bar{K}_2 + \phi_3 \bar{K}_3 = 0,538 \cdot 0,880 + 0,308 \cdot 0,922 + 0,154 \cdot 0,667 = 0,860.$$

тобто функціонально-конструктивні властивості РЕП покращені на 14%.

На наступному етапі проектування необхідно оптимізувати макропоказники конструкції, у першу чергу – конструктивну досконалість РЕП, яку відображає коефіцієнт K_Q .

Висновки

Розглянуті особливості проектування радіоелектронних пристроїв

структурно-оптимізаційними методами, коли основні функціонально-конструктивні характеристики об'єкту проектування подаються системою критеріальних рівнянь.

Аргументами у цих рівняннях є безрозмірні критерії подібності, сформовані методами теорії подібності. Особливість критеріїв у тому, що у них об'єднані не тільки характеристики фізичних процесів, але й конструктивні параметри, які ці процеси забезпечують.

Для всіх критеріїв (їх три види: одиничні, частинні та комплексний – цільова функція радіоелектронного пристрою) одержані відповідні вирази.

Структурна модель, одержана у процесі проектування та її оптимізація при конструктивній реалізації на подальших етапах проектування забезпечать найвищі функціональні та конструктивні властивості радіоелектронного пристрою.

Література

1. Уваров Б.М., Зінковський Ю.Ф. Проектування та оптимізація механостійких конструкцій радіоелектронних засобів з імовірнісними характеристиками – К.: "Корнійчук", 2011. – 248 с.
2. Вейник А. И. Термодинамика реальных процессов. – Мн.: Наука і тэхніка, 1991. – 576 с.
3. Кофанов Ю.Н. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности радиоэлектронных средств: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1991. – 360 с.
4. Хоменюк В.В. Элементы теории многоцелевой оптимизации. М.: Наука, 1983. – 124 с.
5. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Наука, 1981. – 107 с.
6. Уваров Б.М., Зінковський Ю.Ф. Оптимізація теплових режимів та надійності конструкцій радіоелектронних засобів з імовірнісними характеристиками – К.: "Корнійчук", 2011. – 204 с.
7. Методика отработки конструкций на технологичность и оценки уровня технологичности изделий машиностроения и приборостроения. – М.: Изд. стандартов, 1975. – 56 с.
8. Токарев М.Ф., Талицкий Е.Н., Фролов В.А. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. пособие для вузов / Под ред. В.А. Фролова. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с.
9. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
10. Оптимальное схемотехническое проектирование в машиностроении: Учебное пособие / А.И. Петренко, В.В. Ладогубец, В.В. Чкалов. – К., УМК ВО, 1989. – 164 с.

Уваров Б.М., Зінковський Ю.Ф. Оптимізація критеріальної моделі радіоелектронного пристрою. Розглянуті особливості проектування радіоелектронних пристроїв структурно-оптимізаційним методом. Основні функціонально-конструктивні характеристики пристрою подаються як система критеріальних рівнянь, у яку входять безрозмірні одиничні, частинні, та комплексний критерії, сформовані методами теорії подібності. До складу критеріїв входять фізичні величини основних процесів перетворення енергії, а також конструктивні параметри пристрою. У процесі проектування оптимізація моделі забезпечить найвищі функціональні та конструктивні показни-

ки радіоелектронного пристрою.

Ключові слова: критеріальна модель пристрою, одиничні, частинні, комплексні критерії, оптимізація моделі

Уваров Б.М., Зиньковский Ю.Ф. **Оптимизация критериальной модели радиоэлектронного устройства.** Рассмотрены особенности проектирования радиоэлектронных устройств структурно-оптимизационными методом. Основные функционально-конструктивные характеристики устройства представлены как система критериальных уравнений, в которую входят безразмерные единичные, частичные и комплексный критерий, сформированные методами теории подобия. В состав критериев входят физические величины основных процессов преобразования энергии а также конструктивные параметры устройства. В процессе проектирования оптимизация модели обеспечит наивысшие функциональные и конструктивные показатели радиоэлектронного устройства.

Ключевые слова: критериальная модель устройства, единичные, частичные, комплексные критерии, оптимизация модели

Uvarov B.M., Zinkovsky Ju.F. **Optimization criterial of model of the radio electronic device.** The features of designing of radio electronic devices structural - optimized by method are considered. The basic functional - constructive characteristics of the device are submitted as system criterial of the equations, into which enter dimensionless individual, partial and complex criterion generated by methods of the theory of similarity. Structure of criteria includes physical sizes of the basic processes of transformation of energy and also design data of the device. During designing the optimization of model will ensure the best functional and constructive parameters of the radio electronic device.

Keywords: criterial model of the device, individual, partial, complex criteria, optimization of model