

## КОНСТРУЮВАННЯ РАДІОАПАРАТУРИ

УДК 621.396

### РАДІОЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА ЯК ОБ'ЄКТ ТЕОРІЇ ГІПЕРВИПАДКОВИХ ЯВИЩ

*Зіньковський Ю.Ф., Уваров Б.М.*

#### **Вступ. Постановка проблеми**

Системний підхід до вивчення складних явищ, що був застосований у 70-х роках минулого століття для потреб керування економікою, у подальшому став ефективним інструментом у технічній галузі знань для аналізу та синтезу технічних об'єктів [1].

Технічний об'єкт з точки зору системного підходу – це замкнена ієрархічна система взаємодіючих складових – систем, функціональних вузлів та елементів, об'єднаних єдиним функціональним призначенням, а у найбільш абстрагованому понятті – множина, яка реалізує наперед задане співвідношення між фізичними величинами з фіксованими властивостями.

Пристрої радіоелектронної апаратури (РЕА) виділяються з усіх інших своєю високою складністю, а особливості радіоелектронних засобів (РЕЗ) можливо визначити, якщо підійти до них самих (їх функцій, структури, конструкції, умов експлуатації) з позицій системного аналізу, тобто розглядати будь-який РЕЗ як систему, а фізичні процеси, що відбуваються у ньому – з точки зору функціонального призначення.

Системний аналіз пристроїв РЕА виявляє їх унікальність, відрізняє з усіх інших технічних об'єктів; у першу чергу необхідно у них виділити:

- складність:
  - функціональну;
  - структурну;
  - топологічну;
  - конструктивну;
  - технологічну;
- широкий діапазон умов експлуатації;
- стійкість до зовнішніх дестабілізуючих факторів.

Суть *функціонального призначення РЕА* у найбільш загальному вигляді можна сформулювати наступним чином. Кожний РЕЗ проектується, як технічний об'єкт, робочими характеристиками якого повинна бути множина фізичних величин  $z_i$ , а їх сукупність можна подати як оператор

$$\mathbf{Z} = [z_1, z_2 \dots z_i \dots z_n]^T. \quad (1)$$

Під час функціонування РЕЗ у ньому здійснюються процеси, результатами яких повинна бути множина фізичних величин – вихідних характеристик  $y_i$ , а їх сукупністю буде оператор

$$Y = [y_1, y_2 \dots y_i \dots y_n]^T. \quad (2)$$

Якщо РЕЗ виконує свої функції успішно, повинні виконуватися умови:

–  $Y \in Z$ , тобто множина  $Y$  знаходиться у просторі  $Z$ ;

– кожна з вихідних характеристик знаходиться у необхідних (наперед заданих) межах:  $z_{minP} \leq y_i \leq z_{maxP}$ .

Оператор  $Y$  у процесі функціонування створюється, як результат:

– внутрішніх процесів

$$P = [p_1, p_2 \dots p_k \dots p_l]^T, \quad (3)$$

– вхідних керуючих впливів

$$X = [x_1, x_2 \dots x_j \dots x_m]^T, \quad (4)$$

– множини зовнішніх впливів

$$Q = [q_1, q_2 \dots q_r \dots q_s]^T. \quad (5)$$

Таким чином, операторне зображення стану РЕЗ у процесі функціонування можна подати рівнянням  $Y = Y(P, X, Q)$ , а всі особливості цього процесу й самого об'єкту можливо визначити з рівнянь (2)...(5), деталізованих до відповідного рівня за допомогою методів системного аналізу.

Різні функції РЕЗ можуть бути позначені як різні оператори  $Z_v$ , а комплексна функція всього пристрою – як функціонал

$$F = [Z_1, Z_2 \dots Z_v \dots Z_w]^T.$$

З аналізу цих, навіть узагальнених, виразів видно, що кожний РЕЗ – це складна ієрархічна система взаємопов'язаних компонентів, кожний з яких у більшості випадків також є досить складною структурою. Методи проектування та виготовлення такого технічного об'єкту повинні відповідати сутності процесів, що у ньому відбуваються під час функціонування й які відображаються операторами  $Y = [y_1, y_2 \dots y_i \dots y_n]^T$  (знов таки деталізованими до найнижчого, предметного рівня).

Основними процесами у РЕА можна вважати:

- електромагнітні;
- тепломасопереносу;
- механічні;
- іонізаційні;
- інформаційні.

Базовими рівняннями для математичних моделей всіх енергетичних процесів є система рівнянь Лагранжа 2-го роду в узагальнених координатах  $q_i$ , кожне з яких можна подати у вигляді:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial T}{\partial q_j} + \frac{\partial U}{\partial q_j} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_j} = Q_j, \quad j = 1, 2, \dots, k, \quad (6)$$

де  $T$  – кінетична енергія,  $U$  – потенціальна;  $\Phi$  – функції розсіювання енергії;  $Q$  – узагальнена сила.

Після відповідних перетворень з (6) можна одержати диференціальні рівняння для операторів  $Y$  конкретних енергетичних процесів, що відбува-

ються у РЕА:

– для *електромагнітних процесів* – стандартні вирази рівнянь Максвелла:

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \frac{4\pi}{c} \mathbf{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial \tau}; \quad \operatorname{rot} \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial \tau}; \quad \operatorname{div} \mathbf{B} = 0; \quad \operatorname{div} \mathbf{D} = 4\pi \rho, \quad (7)$$

де вектори:  $\mathbf{H}$  – магнітної напруженості;  $\mathbf{j}$  – щільності струму;  $\mathbf{D}$  – електричної індукції;  $\mathbf{E}$  – електричної напруженості;  $\mathbf{B}$  – магнітної індукції;

– для *електричних послідовного та паралельного кіл* з резистором  $R$ , індуктивністю  $L$ , ємністю  $C$ :

$$L \frac{d^2 q_e}{d\tau^2} + R \frac{dq_e}{d\tau} + \frac{q_e}{C} = E(\tau); \quad C \frac{d^2 U}{d\tau^2} + \frac{1}{R} \frac{dU}{d\tau} + \frac{1}{L} U = \frac{di}{d\tau}, \quad (8)$$

де  $q_e$  – заряд конденсатора,  $E$  – електрорушійна сила та  $U$  – напруга джерела струму,  $\tau$  – час;

– для *процесів тепломасопереносу* у об'ємі тіла (речовині) – систему рівнянь[2]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = K_{22} \nabla^2 T + K_{21} \nabla^2 u; \quad \frac{\partial u}{\partial \tau} = K_{11} \nabla^2 u + K_{12} \nabla^2 T, \quad (9)$$

де  $T$  – температура,  $u$  – вологовміст у об'ємі; коефіцієнти:

$$K_{11} = a_m; \quad K_{12} = a_m \delta; \quad K_{21} = a_{m1} \frac{r_{12}}{c}; \quad K_{22} = a + a_{m1} \frac{r_{12}}{c};$$

де  $a$ ,  $a_m$ ,  $a_{m1}$  – коефіцієнти температуропровідності речовини, масопровідності вологи, пари відповідно;  $c$  – зведена теплоємність речовини у об'ємі;  $\delta$  – відносний коефіцієнт термодифузії;  $r_{12}$  – питома теплота сублимації вологи.

Для *теплових процесів* – передавання тепла конвекцією, кондукцією, радіацією – існують математичні моделі у вигляді відповідних систем рівнянь. Наприклад, модель нестационарного теплового процесу розповсюдження тепла у друкованій платі (ДП) РЕЗ кондукцією – диференціальне рівняння параболічного типу:

$$\frac{1}{a} \frac{\partial T(x, y, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 T(x, y, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T(x, y, \tau)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T(x, y, \tau)}{\partial z^2} + \frac{Q(x, y, \tau)}{\lambda}, \quad (10)$$

де  $T(x, y, \tau)$  – температура;  $Q(x, y, \tau)$  – потужність теплового джерела;  $a$  та  $\lambda$  – коефіцієнти температуро- та теплопровідності матеріалу плати.

Диференціальне рівняння *механічних коливань* ДП, одержане з (6):

$$m \frac{\partial^2 w}{\partial \tau^2} + D(1 + j\gamma) \left( \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = P(x, y, \tau), \quad (11)$$

де  $m$  – зведена маса ДП;  $D$  – циліндрична жорсткість плати;  $\gamma$  – коефіцієнт механічних втрат (КМВ);  $j$  – уявна одиниця;  $P(x, y, \tau)$  – зовнішня сила.

*Інформаційні процеси* – генерація, передавання, приймання, перетворення, зберігання інформації – здійснюються у тій чи іншій формі у багатьох РЕЗ. Якщо пов'язати витрати енергії на обробку одного біта інфор-

мації, тобто на одиничний акт зміни стану мікрочарунки пам'яті у мікросхемі (МС) (а вони лежать у межах 0,01 – 15 пДж), можна одержати математичну модель інформаційного процесу на основі рівнянь (6).

Результатом розв'язань рівнянь (7)...(11) будуть вирази для операторів  $Y$ ,  $Z$ , функціонала  $F$ .

Розглянуті методи відображення фізичних явищ математичною моделлю – рівняння (7)...(11) – дуже часто ідеалізовано, спрощено подають характер фізичних процесів, без врахування значень ймовірносних характеристик реальних фізичних величин, які входять у згадані рівняння.

### Гіпервипадкова природа фізичних процесів у РЕА

Фізична чи математична модель реального процесу у РЕЗ може бути представлена у вигляді критеріального рівняння, яке об'єднує фізичні величини, що взаємопов'язані між собою. Це вирази для операторів  $Y$ , у кожному з яких входять значення первинних параметрів  $X$ ,  $P$ ,  $Q$ , але останні по своїй суті є об'єктами, найбільш вичерпними характеристиками яких є їх ймовірносні характеристики.

Первинні параметри  $P$  по своїй суті є випадковими об'єктами з багатьох причин, найголовнішою з яких є вплив властивостей конструкційних матеріалів – фізичних, механічних, електричних, магнітних. Значення всіх них одержують експериментально, а на результати впливають: умови експерименту, що не можуть бути абсолютно однаковими (залежать від стану оточуючого середовища), точність вимірювального обладнання, методи обробки результатів; різними можуть бути методи визначення цих параметрів.

Значення параметрів, крім того, змінюються внаслідок зовнішніх (для конкретного елемента конструкції чи ЕРЕ) впливів  $Q$ , до яких слід віднести також й вплив часу (вплив процесів деградації – старіння).

Вхідні впливи  $X$  можна вважати деякими функціями режиму роботи РЕЗ, умов експлуатації, часу – вони не можуть бути детермінованими, завжди необхідно пам'ятати про ймовірносні межі їх зміни.

Внаслідок всього зазначеного, оператори  $Y(X, P, Q)$  є функціями з ймовірносними характеристиками, а це призводить до висновку, що ймовірносну природу мають також й оператори  $Z$ ,  $F$ .

Звідси витікає висновок: модель будь-якого процесу – фізична чи математична – для точного його опису також повинна бути ймовірсною, з відповідними ймовірносними характеристиками.

Сучасні дослідження усіх реальних явищ доводять, що останні більш адекватно подаються гіпервипадковими моделями, ніж випадковими: сімейство випадкових подій, величин, функцій чи полів залежить від параметра  $g \in G$  – незалежного аргумента, який пов'язаний з умовами спостереження чи формування об'єкту, що розглядається [3].

Гіпервипадкова подія  $A$  – множина випадкових подій, для кожної з них визначена ймовірносна міра  $P_g$ , хоча для умов  $g$ , від яких  $A$  залежить, така

міра не визначена. Гіпервипадкові явища можна описати за допомогою триад  $(\Omega, G, P_g)$ , де  $\Omega$  – простір елементарних подій  $\omega \in \Omega$ ;  $G$  – множина умов  $g \in G$ . Для характеристики гіпервипадкового явища  $X$  використовують верхню  $P_S(X)$  та нижню  $P_I(X)$  межі функції розподілу – межі ймовірності:

$$P_S(X) = \sup_{g \in G} P(X / g), \quad P_I(X) = \inf_{g \in G} P(X / g).$$

Для складних явищ (процесів, моделей) необхідно розглядати гіпервипадкові функції – скалярні чи векторні.

В узагальненому вигляді гіпервипадкова функція  $Y(t)$  може бути подана як множина гіпервипадкових об'єктів:

- скалярна  $Y(t) = \{ Y(t)/g \in G \}$  – множина гіпервипадкових величин;
- векторна  $\vec{Y}(t) = \{ Y_1(t), \dots, Y_H(t) \}$  – множина гіпервипадкових скалярних функцій.

Гіпервипадкова функція за фіксації значень аргумента перетворюється у випадкову величину, а за фіксації умов визначення – у детерміновану функцію.

Характеризувати гіпервипадкову скалярну функцію можна:

- умовними функціями розподілу

$$F(\vec{y}, \vec{t} / g) = P\{Y(t_1) \leq y_1, \dots, Y(t_M) \leq y_M / g\};$$

- умовними щільностями розподілу гіпервипадкової  $L$ -мірної величини  $\vec{Y} = (Y_1, \dots, Y_L)$

$$f(\vec{y}, \vec{t} / g) = \frac{\partial^L F(\vec{y}, \vec{t} / g)}{\partial y_1 \dots \partial y_L},$$

тобто аналогами випадкових величин, а також моментами функцій  $Y(t)/g \in G$  (математичним сподіванням, дисперсією, кореляційними та коваріаційними моментами).

Характеристиками гіпервипадкової векторної  $H$ -мірної функції  $\vec{Y}(t) = (Y_1(t), \dots, Y_H(t))$  можуть бути:

- щільності розподілу меж  $HL$ -мірної сумісної функції

$$f_S(\vec{y}_1, \dots, \vec{y}_H; \vec{t}_1, \dots, \vec{t}_H), \quad f_I(\vec{y}_1, \dots, \vec{y}_H; \vec{t}_1, \dots, \vec{t}_H);$$

- математичні сподівання меж

$$\vec{m}_S(t) = M_S[\vec{Y}(t)]; \quad \vec{m}_I(t) = M_I[\vec{Y}(t)];$$

- дисперсії

$$\vec{D}_S(t) = D_S[\vec{Y}(t)]; \quad \vec{D}_I(t) = D_I[\vec{Y}(t)],$$

коваріаційні та кореляційні функції меж.

Будь-який процес, що здійснюється у РЕЗ, може вважатися  $M$ -мірним гіпервипадковим вектором, характеристики якого:

– математичне очікування меж  $M$ -мірної векторної функції  $\vec{\varphi}(\vec{X})$  гіпервипадкової  $L$ -мірної величини  $\vec{X} = (X_1, \dots, X_L)$ , яка має щільності розподілу меж  $f_S(x_1, \dots, x_L)$  та  $f_I(x_1, \dots, x_L)$ :

$$\bar{m}_{Sx} = M_S[\vec{X}], \quad \bar{m}_{Ix} = M_I[\vec{X}]; \quad (8)$$

– дисперсії меж (математичні очікування меж) векторних функцій  $\vec{\varphi}(\vec{X})$

$$\bar{D}_{Sx} = (X_l - \bar{m}_{Sxl})^2, \quad l = \overline{1, L}; \quad \bar{D}_{Ix} = (X_l - \bar{m}_{Ixl})^2, \quad l = \overline{1, L}; \quad (9)$$

– середньоквадратичні відхилення  $\bar{\sigma}_{Sx} = \sqrt{\bar{D}_{Sx}}$ ;  $\bar{\sigma}_{Ix} = \sqrt{\bar{D}_{Ix}}$ .

Ці характеристики й визначають, якими будуть значення функцій  $\mathbf{Z}$  чи  $\mathbf{F}$  – показники функціональної придатності проектованого пристрою; особливість вказаних характеристик у тому, що значення  $\mathbf{Z}$  чи  $\mathbf{F}$  не є детермінованими, іншими словами – значень  $\mathbf{Z}$ ,  $\mathbf{F}$  – багато, але всі вони повинні знаходитися у межах, визначених співвідношеннями (8), (9).

### **Проектування РЕА як об'єкту з гіпервипадковими характеристиками**

Проектування РЕЗ – це створення математичних та фізичних моделей майбутнього пристрою, який повинен мати визначені характеристики, що можуть бути подані, як оператори  $\mathbf{Z}$  чи  $\mathbf{F}$ . Більшість відомих методів проектування можна об'єднати у три групи: структурно-аналітичні, адаптивні, структурно-оптимізаційні. Кожний з цих методів передбачає, що на одному з початкових етапів створюється математична модель проектованого пристрою, яка потім трансформується у фізичну (конструкцію), а параметри останньої оптимізуються для досягнення найвищих показників якості.

Вимогу найвищої якості звичайно розуміють, як одержання мінімальної різниці між заданим значенням оператора  $\mathbf{Z}_P$ , та одержаного у спроектованому пристрою  $\mathbf{Z}$ :  $\Delta\mathbf{Z} = |\mathbf{Z} - \mathbf{Z}_P| \rightarrow \min$ .

Виходячи з гіпервипадкової природи первісних величин  $\mathbf{X}$ ,  $\mathbf{P}$ ,  $\mathbf{Q}$ , прийдемо до логічного висновку, що й критеріальні рівняння, які об'єднують первісні величини – моделі процесів  $\mathbf{Y}$ ,  $\mathbf{Z}$ ,  $\mathbf{F}$  – також повинні бути гіпервипадковими  $M$ -мірними скалярними чи векторними функціями.

Внаслідок гіпервипадковості всіх складових функції  $\mathbf{Z}$ , у дійсності вона завжди буде множиною  $\mathbf{Z}_v$  зі своїм законом розподілу, його межами, характеристики яких повинні визначатися структурою об'єкта, відповідними гіпервипадковими законами розподілу його складових (аналогічне явище буде спостерігатися й у випадку, коли комплексна функція пристрою – функціонал  $\mathbf{F}$ ).

Таким чином, під час проектування будь-якого технічного пристрою, а у особливості РЕЗ (внаслідок суттєвої складності останнього), необхідно передусім для всіх параметрів – зовнішніх впливів  $\mathbf{q}_r$  та вхідних  $\mathbf{x}_j$ , внутрішніх  $\mathbf{p}_k$ , вихідних  $\mathbf{y}_i$  – визначити їх гіпервипадкові характеристики та межі

останніх.

Структура РЕА як системи визначається функціональним призначенням – гіпервипадковими векторними функціями  $Z$  чи  $F$ . Згідно з цим у кожному РЕЗ можна виділити структурні складові, які й забезпечують виконання відповідного процесу  $Y = Y(X, P, Q)$ .

За функціональною складністю РЕЗ доцільно поділити на п'ять ієрархічних рівнів радіоелектронних (РЕ) складових: РЕ системи (найвищий), РЕ комплекси (РЕК), РЕ пристрої (РЕП) та РЕ функціональні вузли (РЕФВ), електрорадіоелементи (ЕРЕ):

$$\begin{aligned} S &= [U_1, U_2 \dots U_i \dots U_m]^T && \text{– РЕ система;} \\ U_i &= [V_1, V_2 \dots V_j \dots V_n]^T && \text{– РЕ комплекс;} \\ V_j &= [W_1, W_2 \dots W_k \dots W_p]^T && \text{– РЕП;} \\ W_k &= [E_1, E_2 \dots E_k \dots E_q]^T && \text{– РЕФВ;} \\ E_l &= [w_1, w_2 \dots w_r \dots w_s]^T && \text{– ЕРЕ} \end{aligned}$$

Останній рівень (ЕРЕ) – це резистори, конденсатори, індуктивності, дискретні напівпровідникові прилади (діоди, тиристори, транзистори) та МС загального призначення.

Топологічна складність РЕЗ є результатом структурної і функціональної: кожний РЕЗ фізично являє собою трьохмірний об'єкт з елементами різноманітної форми, з'єднаними функціональними зв'язками. Найбільш складну топологію мають сучасні інтегровані МС, у кожній з яких може міститися понад 100 тис. електронних елементів.

За конструктивною складністю РЕА також необхідно віднести до найбільш складних технічних пристроїв, тому що у більшості сучасних РЕЗ кількість конструктивних елементів може сягати десятків тисяч (достатньо згадати персональну обчислювальну машину – ПЕОМ).

Функціональні показники РЕЗ у вигляді функцій  $Y = Y(X, P, Q)$  мають визначатися у формі гіпервипадкових векторних функцій, методами теорії гіпервипадкових явищ [4]; найбільш складний вигляд таких функцій – для найвищого рівня – РЕ системи.

Аналогічний підхід повинен бути й до визначення *дестабілізуючих факторів*, що діють на РЕА – їх також необхідно вважати гіпервипадковими величинами. Головні за інтенсивністю дестабілізуючі впливи – електромагнітні, механічні та теплові.

Електромагнітні – це дія складових електромагнітного поля оточуючого середовища на РЕЗ у цілому, а також внутрішні поля, які виникають у ньому як результат функціонування окремих складових пристрою – вони взаємно впливають один на одного.

Механічні призводять до виникнення деформацій та напружень, що можуть бути загрозливими для міцності та витривалості елементів конструкції (іноді й для самих електронних складових). Джерела механічних навантажень в основному зовнішні, це результат дії лінійних, вібраційних та ударних прискорень, що діють на РЕЗ від носія РЕА чи основи, на якій РЕЗ закріплений; хоча ці впливи можуть виникати й всередині самого РЕЗ як наслідок роботи внутрішніх електромеханізмів та двигунів.

Теплові фактори – це температури, що виникають у елементах електронної структури РЕЗ як результат функціонування останніх (вищі, ніж температура оточуючого середовища внаслідок виділення тепла у кожному елементі), й які також можуть становити загрозу для функціонування РЕЗ.

Усі розглянуті впливи входять у множину впливів  $X = \{x_k; k = 1, 2 \dots l\}$ , тому важливою вимогою до конструкції є її *стійкість* – забезпечення функціонування апарату під час дії цих факторів, а також захист оточуючого середовища від можливих шкідливих впливів самого апарату.

Стойкою конструкцією можливо назвати лише таку, у якій виконуються умови  $f_j(x_k) \leq f_{j\text{дон}}(x_k)$ ,  $j = 1, 2 \dots m$ ;  $y_j \in Y$ ,  $x_k \in X$ ;  $x_{k\text{min}} \leq x_k \leq x_{k\text{max}}$ , при цьому інтервал зміни дії впливу  $d_k = x_{k\text{max}} - x_{k\text{min}}$ . Це означає, що  $Y(X) \leq Y_{\text{дон}}(X)$  за будь-яких  $y_j \in Y$ , та  $x_k \in X$  за  $x_k \in d_k$ .

Мірою стійкості конструкції  $R_k$  від  $k$ -того впливу можна прийняти

$$R_k = \frac{d_k}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{f_{j0}} \int_{x_{k\text{min}}}^{x_{k\text{max}}} \Delta y_j(x_k) dx_k}$$

Якщо вважати, що сумарне відхилення від одного впливу  $\delta = \int_{x_{k\text{min}}}^{x_{k\text{max}}} \Delta y_j(x_k) dx_k$ , відносне відхилення  $\delta_{\text{відн}} = \frac{1}{y_{j0}} \delta$ , то  $A = \sum_{j=1}^m \delta_{\text{відн}}$  є сумарний вплив від  $x_k$ , а вплив від множини  $X$

$$B = \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^m \frac{1}{y_{j0}} \int_{x_{k\text{min}}}^{x_{k\text{max}}} \Delta y_j(x_k) dx_k$$

За врахування  $x_k \in X$  будемо мати  $R = \{R_k; k = 1, 2 \dots l\}$ , тому мірою стійкості конструкції від  $k$ -того впливу буде  $R_k^{\text{відн}} = \frac{R_k}{\sum_{k=1}^l R_k}$ , де  $R_k^{\text{відн}}$  – нормована стійкість від впливу. Показники стійкості, таким чином, також мають визначатися, як векторні гіпервипадкові функції.

### Висновки

1. Найбільш адекватно всі фізичні процеси, які відбуваються у технічних пристроях, можуть бути описані за допомогою теорії гіпервипадкових явищ.
2. Пристрої РЕА виділяються своєю унікальністю (передусім, складніс-



тю) серед всіх технічних об'єктів, всі процеси у них повинні розглядатися, як гіпервипадкові; тому й функціональні показники РЕЗ необхідно визначати, як векторні гіпервипадкові функції.

3. Методи проектування будь-якого технічного об'єкту, а у першу чергу РЕЗ, повинні бути побудовані на використанні математичного апарату теорії гіпервипадкових явищ.

4. Потрібно чітко уявляти, що під час проектування для кожного з функціональних показників РЕЗ буде одержана множина значень, яка визначається відповідним законом розподілу; межі, у яких знаходиться ця множина, також мають свої закони розподілу.

#### Література

1. Rivett P., Principles of model building. The construction of models for decision analysis, [Chichester] – 1972.
2. Лыков А.В. Теплообмен (Справочник). 2-е изд. М.: Энергия – 1978. – 480 с.
3. Горбань И.И. Теория гиперслучайных явлений. – Киев: НАНУ / Институт проблем математических машин и систем – 2007. – 184 с.
4. Горбань И.И. Представление физических явлений гиперслучайными моделями // Математичні машини і системи. – № 1, 2007. – с. 34 – 41.

*Зиньковський Ю.Ф., Уваров Б. М. Радіоелектронна апаратура як об'єкт теорії гіпервипадкових явищ. Розглянуті проблеми визначення показників функціонального призначення радіоелектронних засобів під час проектування на основі теорії гіпервипадкових явищ*

**Ключові слова:** теорія гіпервипадкових явищ, радіоелектронна апаратура,

*Zinkovskiy Yu.F., Uvarov B. M. Радіоелектронная апаратура как объект теории гиперслучайных явлений. Рассмотрены проблемы определения показателей функционального назначения радиоэлектронных средств при проектировании на основе теории гиперслучайных явлений*

**Ключевые слова:** теория гиперслучайных явлений, радиоэлектронная апаратура,

*Zinkovsky J.F., Uvarov B.M. The radioelectronic equipment as object the theories hyperbolic-accidental of the phenomena. The problems of definition of parameters of functional assignment radioelectronic apparatus are considered at designing on the basis of the theory hyperbolic-accidental of the phenomena*

**Keywords:** the theory hyperbolic-accidental of the phenomena, the radioelectronic equipment

УДК 691.391.052

## ПРОЕКТУВАННЯ ПРОФІЛЮ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ В ПЛАНАРНИХ МЕТАЛОДЕЛЕКТРИЧНИХ ХВИЛЕВОДАХ

*Левандовський В.Г.*

Головною спрямовуючою структурою багатьох пристроїв радіоелектроніки є тонкоплівковий хвилевід. Враховуючи високу вартість технологічного пошуку хвилеводів з потрібними для конкретних практичних потреб характеристиками, застосований в [1] метод, використовується для проектування профілю показника заломлення (ППЗ) в планарному металодіелектричному хвилеводі (МДХ) з оптимальними характеристиками. Застосування МДХ поширить функціональні можливості пристроїв.