

# Проектування радіоелектронного апарату з оптимальними показниками надійності

Уваров Б.М., Нікітчук А.В.

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

E-mail: a.nikitichuk@kivra.kpi.ua

Розглянуто проблему досягнення максимальної надійності елементів електронної структури чарунок і всього радіоелектронного блоку при дії теплових дестабілізуючих факторів. Надійність всього пристрою суттєво залежить від теплового режиму електронних компонентів, вібрації та ударної стійкості. Оптимізація теплового режиму чарунки може бути досягнута шляхом відповідного розміщення тепловиділяючих елементів електронної структури, оскільки температура кожного з них визначається конвективними, кондуктивними та радіаційними зв'язками з елементами конструкції та один з одним. Описаний розрахунок усереднених температур чарунок у блоці. Усереднені температури чарунок визначаються температурою теплоносія (у більшості випадків – повітря), розміщенням чарунок у корпусі блока та температурами їх елементів електронної структури. Розглянуто розрахунок температур елементів електронної структури, а також надійності чарунок і блока в цілому. У кожній чарунці зазвичай встановлюють десятки елементів електронної структури, для яких необхідно розрахувати температури, а по останніх – показники надійності. Пропонується оптимізація розміщення чарунок у блоці. Тепловиділення в чарунках в більшості конструкцій неоднакові, залежать від теплової потужності встановлених в них елементів електронної структури, тому можна оптимізувати показники надійності, раціонально розташовуючи чарунки. Для кожного варіанту розміщення проводиться розрахунок температур елементів електронної структури і показників надійності. Це досягається завдяки спеціально створеному програмному забезпеченню. Розроблені та описані програмні модулі для оптимального розміщення чарунок у блоці для забезпечення максимальної надійності елементів електронної структури. При великому числі чарунок в корпусі блока раціонального їх розміщення домогтися складно, оскільки число неповторюваних варіантів розміщення чарунок в блоці дорівнює числу перестановок, і навіть для невеликого числа чарунок, варіантів їх розміщення досить багато.

*Ключові слова:* надійність; показники надійності; радіоелектронний блок; чарунка; елементи електронної структури; програмне забезпечення

DOI: [10.20535/RADAP.2018.75.48-53](https://doi.org/10.20535/RADAP.2018.75.48-53)

## Вступ. Постановка задачі

Показники надійності радіоелектронного апарату (РЕА) у більшості випадків повинні бути найвищими, тому вже на етапі його проектування повинні прийматися технічні рішення, що такі показники забезпечать.

За даними відкритого друку в космічній галузі та медицині період часу протягом якого виріб зберігає свої властивості досягає 30 років, у військовій та цивільних галузях — коливається в межах 15-25 років, а дослідження причин відмов показали, що найбільш ненадійним елементом пристроїв є електронні компоненти [1]. Статистичний аналіз показує, що найбільше відмов спричинено механічними та тепловими факторами.

Серед факторів, що визначають надійність РЕА, дуже впливовими є теплова дія зовнішнього середовища та внутрішнє тепловиділення у його чарунках

чи мікрозбірках (МЗб), що призводить до збільшення температур їх елементів електронної структури (ЕЕС). Як відомо, ці температури прямо пов'язані з показниками надійності, а як наслідок — надійністю всього апарату. Ця залежність між температурою елемента та його надійністю (наприклад, ймовірністю безвідмовної роботи) — пропорційна, хоча й нелінійна. Отже, вже на етапі проектування необхідно намагатися створити конструкцію РЕА такою, щоб забезпечити у ньому мінімальні температури ЕЕС у процесі експлуатації, а як наслідок — найвищу надійність.

Зазвичай, у блоці РЕА встановлюють декілька чарунок, але тепловиділення у них різні й розміщувати їх у його корпусі доцільно так, щоб усереднені температури у них були мінімальними, що повинно забезпечити найвищу надійність всього апарату. Тому під час проектування блоку РЕА виникає проблема оптимізації розміщення чарунок, яке забезпе-

чує мінімальні середні температури у них. На жаль, у існуючих системах автоматизованого проектування, які застосовують при проектуванні РЕА [2, 3], методи оптимізації розміщення чарунок відсутні.

Дана стаття присвячена оптимальному розміщенню чарунок у корпусі блока зі щільною компоновкою, яке забезпечує мінімальні усереднені температури чарунок та максимальну надійність всього РЕА.

## 1 Розрахунок усереднених температур чарунок у блоці

Усереднені температури  $T_{cpj}$  чарунок визначаються температурою теплоносія (у більшості випадків — повітря), розміщенням чарунок у корпусі блока та температурами  $T_i$  їх ЕЕС:

$$T_{cpj} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k T_i,$$

де  $k$  — кількість ЕЕС у чарунці.

У свою чергу, температури  $T_i$  є результатом тепловиділень у кожному з ЕЕС та топології друкованої плати чарунки [5]. Для більшості типових конструкцій блоків чарунки у них розміщуються вертикально, а зазори між чарунками — мінімальні, визначаються розмірами ЕЕС максимальної висоти. У такий конструкції чарунки створюють т. зв. нагріту зону — це блоки зі щільною компоновкою. Тепловий режим у блоці формується тепловиділеннями ЕЕС, характером конвекції у зазорах — природної чи вимушеної (у останньому випадку циркуляція теплоносія забезпечується вентилятором).

Для розрахунку температур стінок корпусу, повітря в зазорах, середньоповерхневої температури нагрітої зони можуть використовуватися існуючі комп'ютерні продукти, наприклад, що входять до складу комплексу SolidWorks [2], або більш компактна програма BlockTermo2 [5]. Критерії конвективної тепловіддачі від відповідних поверхонь в блоці цією програмою розраховуються на основі критеріальних рівнянь конвективного теплообміну, радіаційний теплообмін між чарунками і стінками корпусу і між самими чарунками — за законом Стефана-Больцмана [6].

Деталізація усереднених температур  $T_{cpj}$  чарунок у нагрітій зоні може бути проведена, якщо визначити температури стінок корпусу  $T_k$  та повітря в корпусі  $T_n$ . Якщо загальна теплова потужність нагрітої зони  $Q_\Sigma$  відома, зовнішня температура стінки:

$$T_k = \frac{Q_\Sigma}{k_k F_k} + T_{oc},$$

де  $F_k$  — площа поверхні корпусу блока;  $T_{oc}$  — температура оточуючого середовища;  $k_k$  — критерій конвективно-радіаційної тепловіддачі від поверхні

корпуса, що розраховується за відомими методами [6].

Нехтуючи перепадом температур у матеріалі стінки корпусу, можемо вважати, що й внутрішня температура стінки корпусу дорівнює  $T_k$ .

Далі з умов теплового балансу можна знайти й температуру повітря у корпусі, якщо вважати, що теплота від нагрітої зони передається конвекцією до цього повітря й радіацією до стінок корпусу.

Конвективна тепловіддача:

$$Q_{kз} = k_k F_{kз} (T_з - T_n), \quad (1)$$

де  $k_k$  — критерій конвективної тепловіддачі від поверхні зони до повітря;  $F_{kз}$  — площа поверхні нагрітої зони, від якої теплота передається конвекцією;  $T_з$  — усереднена температура нагрітої зони.

Радіаційна тепловіддача:

$$Q_{pз} = c_{12} F_{pз} \left[ \left( \frac{T_з}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_k}{100} \right)^4 \right], \quad (2)$$

де  $c_{12}$  — критерій радіаційного теплообміну між радіаційною поверхнею  $F_{pз}$  зони та поверхнею корпусу  $F_k$ ;  $T_з$  — усереднена температура нагрітої зони.

У сукупності

$$Q_\Sigma = Q_{kз} + Q_{pз}. \quad (3)$$

Крім того, вся теплота, що віддається від зони до повітря, потім від цього повітря повинна бути передана конвекцією до стінки корпусу:

$$Q_{kn} = Q_{kз} = k_n F_k (T_n - T_k), \quad (4)$$

де  $k_n$  — критерій конвективної тепловіддачі від повітря до внутрішньої стінки.

З системи рівнянь (1) — (4) знайдемо температури  $T_n$  та  $T_з$ .

Зазвичай в блоках чарунки розташовані вертикально для інтенсифікації конвекційних потоків; крім того, для двох крайніх чарунок, що знаходяться біля бічних стінок корпусу, охолодження поліпшується завдяки радіаційному тепловідводу від ЕЕС до більш холодної стінки корпусу.

Тепер можна знайти для кожної чарунки її усереднену температуру  $T_{cpj}$ , сформувавши систему рівнянь, що враховують конвективні теплові потоки від кожної чарунки до повітря всередині корпусу, конвективно-радіаційні від чарунок до стінок корпусу, конвективно-радіаційні між самими чарунками:

$$\left. \begin{aligned} & (\alpha_1 S_1)_k (T_1 - T_n) + (c_{1k} S_{1k})_p (T_1^4 - T_k^4) + \\ & \quad + (c_{12} S_{12})_p (T_1^4 - T_2^4) - Q_1 = 0; \\ & \quad \dots \\ & (\alpha_j S_j)_k (T_j - T_n) + (c_{jk} S_{jk})_p (T_j^4 - T_k^4) + \\ & \quad + (c_{j,j-1} S_{j,j-1})_p (T_j^4 - T_{j-1}^4) + \\ & \quad + (c_{j,j+1} S_{j,j+1}) (T_j^4 - T_{j+1}^4) - Q_j = 0; \\ & \quad \dots \\ & (\alpha_m S_m)_k (T_m - T_n) + (c_{mk} S_{mk})_p (T_m^4 - T_k^4) + \\ & \quad + (c_{m,m-1} S_{m,m-1})_r (T_m^4 - T_{m-1}^4) - Q_m = 0. \end{aligned} \right\} (5)$$

Складові у кожному рівнянні системи (5):  $(\alpha_j S_j)_к (T_j - T_к)$  — конвективна тепловіддача від чарунки до повітря;  $(c_{jk} S_{jk})_р (T_j^4 - T_к^4)$  — радіаційна тепловіддача від чарунки до корпусу;  $(c_{j,j-1} S_{j,j-1})_р (T_j^4 - T_{j-1}^4)$  — радіаційна тепловіддача від середньої чарунки до лівої;  $(c_{j,j+1} S_{j,j+1})_р (T_j^4 - T_{j+1}^4)$  — радіаційна тепловіддача від середньої чарунки до правої;  $S_{j,j-1}$ ,  $S_{j,j+1}$ ,  $S_{jk}$  — поверхні взаємного радіаційного опромінення чарунок та корпусу;  $Q_j$  — тепла потужність чарунки.

Температура стінок корпусу зазвичай нижче, ніж температура будь-якої чарунки, тому умови охолодження двох крайніх чарунок краще, ніж умови тих, що знаходяться між сусідніми.

Для розв'язання системи (5), тобто знаходження значень усереднених температур чарунок  $T_j$ , достатньо ефективним є метод Ньютона, коли формується система лінійних рівнянь із матрицею частинних похідних  $\partial f_j(x_i)/\partial x_i$ , векторами нев'язок  $\Delta x_i$  та самих функцій  $f_j(x_i)$ :

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \dots \\ \Delta x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -f_1 \\ \dots \\ -f_n \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Функції  $f_j(x_i)$  сформовані із відповідних рівнянь системи (5):

$$f_j = \frac{1}{(\alpha_j S_j)_к} \left[ Q_j - (c_{jk} S_{jk})_р (T_j^4 - T_к^4) - (c_{j,j-1} S_{j,j-1})_р (T_j^4 - T_{j-1}^4) - (c_{j,j+1} S_{j,j+1})_р (T_j^4 - T_{j+1}^4) \right] + T_п - T_j.$$

У кожне з цих рівнянь входять три температури, які потрібно знайти:  $T_j$ ,  $T_{j-1}$ ,  $T_{j+1}$ , тому матриця з частинними похідними у системі (6) буде тридіагональною, а визначення  $\Delta x_i$  необхідно провадити за методом прогонки Л.Томаса [7, 8]. Коли досягаються  $\Delta x_i \leq 10^{-3}$ , вважається, що температури  $T_j$  визначені.

Розглянута вище методика розрахунку температур  $T_j$  реалізована у програмі BlockTermo2.

## 2 Розрахунок температур ЕЕС, надійності ЕЕС чарунок і блока

У кожній чарунці зазвичай встановлюють десятки ЕЕС, для яких необхідно розрахувати температури  $T_i$ , а по останніх — показники надійності кожного ЕЕС (найчастіше — імовірність безвідмовної роботи  $P_i(\tau)$ , де  $\tau$  — заданий час експлуатації). Тоді для всієї чарунки така імовірність:

$$P_j(\tau) = \prod_{i=1}^k P_i(\tau).$$

Імовірність роботи всього блока РЕА:

$$P(\tau) = \prod_{j=1}^m P_j(\tau) = \prod_{j=1}^m \left[ \prod_{i=1}^k P_i(\tau) \right], \quad (7)$$

де  $\tau$  — загальна кількість чарунок у блоці.

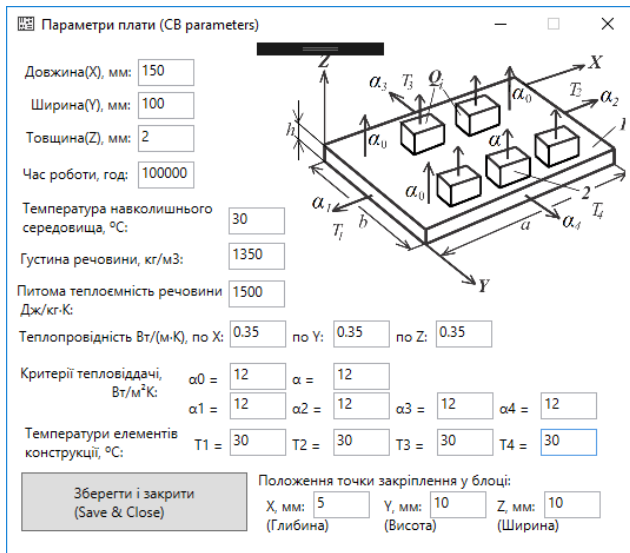
Температури та показники надійності ЕЕС у чарунках (а також надійність всіх чарунок) можна розрахувати за допомогою програми Relia2015 [5]. У цю програму необхідно ввести теплові потужності  $Q_i$  кожного з ЕЕС, й програма визначить їх температури і відповідні цим температурам показники надійності, що, кінець-кінцем, дасть можливість розрахувати  $P(\tau)$  всього блока за формулою (7).

Таким чином, необхідно об'єднати у програмний комплекс роботу програм BlockTermo2 та Relia2015: результати усереднених температур  $T_j$  чарунок, які визначить програма BlockTermo2, є вхідними даними для розрахунків температур та показників надійності ЕЕС кожної чарунки, які будуть розраховуватися програмою Relia2015. Для такого програмного комплексу створений програмний модуль вхідних даних InputData: для кожної з чарунок, що повинні входити у блок, необхідно ввести параметри всіх ЕЕС, що розташовані на друкованій платі цієї чарунки, потім вони будуть використані програмою Relia2015.

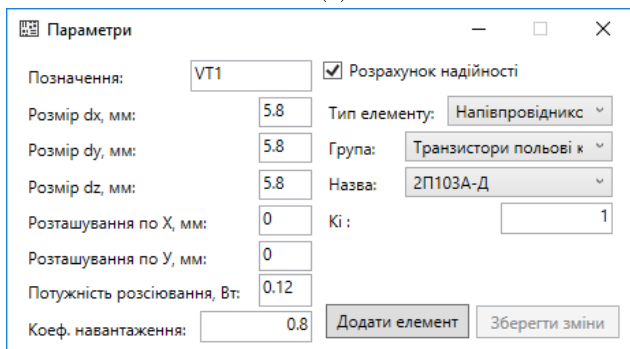
Приклад введення вхідних даних для однієї чарунки у модулі InputData наведений на рис. 1. У першому вікні на рис. 1 а вводять: для основи чарунки — прямокутної плати — розміри  $a \times b \times h$ ; критерії теплопровідності матеріалу плати (вони можуть бути різними в напрямку осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ); тривалість періоду роботи, для якого повинна розраховуватися ймовірність  $P(t)$ . Значення критерію тепловіддачі  $\alpha$  з бічних поверхонь плати розраховані на попередньому етапі і виводиться для уточнення — його можна при необхідності змінити. Необхідно також ввести значення температур  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$  (це можуть бути температури оточуючих чарунок елементів конструкції корпусу блоку) та критеріїв тепловіддачі  $\alpha_i$  до цих елементів.

Далі необхідно ввести параметри ЕЕС плати: розміри елемента, координати положення на платі, теплову потужність (рис. 1 б). У самій програмі записана база даних (БД) ЕЕС, які найчастіше застосовують в електричних схемах РЕА.

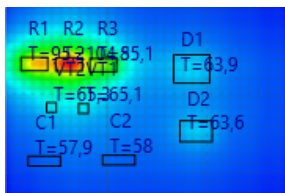
В комірках «Тип елемента», «Група», «Назва» (рис. 1 б) потрібно вибрати з БД згідно електричній схемі потрібний елемент. Значення базової інтенсивності відмов  $\lambda_0$  для обраного елемента знаходяться в БД, програма їх визначає сама, а коефіцієнт навантаження елемента повинен бути заданий. За необхідності врахування додаткових коефіцієнтів  $K_i$ , що визначають розрахункову надійність елемента (вплив механічних навантажень, вологості, висоти апарату над рівнем моря), їх також необхідно задати.



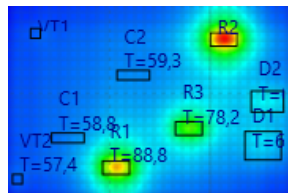
(а)



(б)



(в)



(г)

Перелік елементів на платах							
№	PCB	Вид	Тип	λб	Кг	T, °C	P
D1	1	Інтегральні мікр	1024-4096	3.4E-08	3.05	62.5	0.782
R1	1	Резистори	P1-1	5.3E-08	1.95	88.8	0.782
R2	1	Резистори	P1-1	5.3E-08	3.09	96.3	0.775
R3	1	Резистори	P1-1	5.3E-08	1.05	78.2	0.792
VT1	1	Напівпровідник	2П103А-Д	8.5E-08	0.82	57.3	0.789
VT2	1	Напівпровідник	2П103А-Д	8.5E-08	1.16	57.4	0.783
D2	1	Інтегральні мікр	64-1024 бп	3.4E-08	2.24	63.8	0.787
C1	1	Конденсатори	K26-4	3E-09	3.39	58.8	0.816
C2	1	Конденсатори	K26-4	3E-09	1.8	59.3	0.824

(д)

Рис. 1. Етапи оптимізації чарунки: а — введення параметрів плати; б — введення параметрів ЕЕС; в — розрахунок параметрів чарунки; г — вигляд оптимізованої чарунки; д — скорочена таблиця з результатами розрахунків.

Згідно з цими даними, а також відповідним математичним моделям [3], програма розраховує коефіцієнт режиму  $K_p$  для кожного елемента.

Отримані температури використовуються в програмі для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи  $P_i(t)$  кожного ЕЕС згідно моделі DN-розподілу (дифузійного немонотонного) [9], а по них — ймовірність  $P(\tau)$  всього блока.

### 3 Оптимізація розташування чарунок у корпусі блока

Тепловий режим в блоці, а, отже, і показники його надійності можна оптимізувати, раціонально розташовуючи чарунки одна відносно одної так, щоб температури в них були мінімальні.

Тепловиділення в чарунках в більшості конструкцій неоднакові, залежать від теплової потужності встановлених в них ЕЕС. На перший погляд, чарунки з максимальним виділенням тепла слід розмістити біля бічних стінок, температури яких нижче, ніж поверхні осередків середньої зони, а інші так, щоб домогтися мінімуму температур в них. Однак, навіть при такому розташуванні чарунок в якійсь із них може виявитися ЕЕС, надійність якого мінімальна, і тому слід шукати інше розміщення чарунок, що забезпечує максимальну надійність всього блока.

Це і призводить до необхідності вирішення проблеми оптимізації конструкції блока за показником його надійності.

При великому числі чарунок в корпусі блока раціонального їх розміщення домогтися складно, оскільки це число неповторюваних варіантів  $P_k$  розміщення  $k$  чарунок в блоці дорівнює числу перестановок:  $P_k = k!$ , і навіть для невеликого числа чарунок, варіантів їх розміщення досить багато (для п'яти чарунок  $P_k = 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 = 120$ ).

Оптимальне розміщення чарунок у блоці, що забезпечує максимальне значення ймовірності безвідмовної роботи всього блока, реалізовано в програмному модулі OptimBlock.

Основу алгоритму програми становить програмний модуль, що генерує порядкові номери установки чарунок у блоці. При первинному розміщенні дві чарунки з максимальним виділенням тепла встановлюються у бічних стінок блока. В процесі оптимізації програма забезпечує таке розміщення чарунок у блоці, при якому температури ЕЕС в кожній чарунці мінімальні.

Цільовою функцією (ЦФ) оптимізації, максимальне значення якої програма повинна забезпечити, є ймовірність:

$$[P(\tau)] = \prod_j^m P_j(\tau) = \prod_j^m \left[ \prod_i^n P_i(\tau) \right] \rightarrow \max, \quad (8)$$

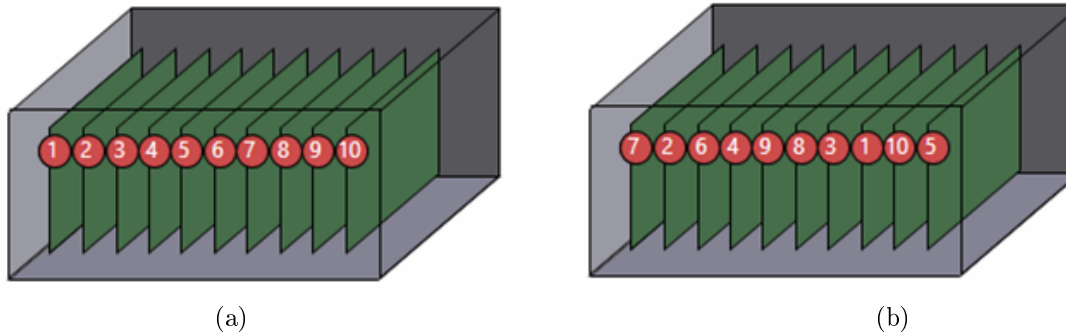


Рис. 2. Компоновка чарунок в блоці: а — вихідна; б — після оптимізації

де  $P_j(\tau)$  — ймовірності роботи чарунок,  $P_i(\tau)$  — ЕЕС, що в неї входять.

В процесі оптимізації координати розташування чарунок в корпусі визначаються за допомогою генератора псевдовипадкових чисел; число варіантів розташування повинно бути таким, щоб воно знаходилося в межах  $P_k$  (зазвичай не менше  $P_r = 64$ ).

Для кожного варіанту розміщення проводиться розрахунок температур ЕЕС і показників надійності кожного осередку. З отриманого масиву  $[P(\tau)]_k$  вибирається варіант, для якого ЦФ (8) максимальна і це значення ЦФ фіксується.

Процедура генерації варіантів, розрахунку температур і показників надійності повторюється до тих пір, поки не буде знайдено варіант з максимальним значенням ЦФ.

Приклад роботи модуля генерації варіантів розміщення десяти осередків в корпусі блоку показаний на рис. 2: а — початкове розміщення осередків, б — отримане в результаті роботи програми і забезпечує максимальне значення  $P(\tau)$ .

Таким чином забезпечуються мінімальні температури ЕЕС в чарунках і максимальна надійність всього радіоапарата.

Програмний комплекс BlockTermo2 + InputData + Relia2015 + OptimBlock забезпечує проектування блоків РЕА (разом з чарунками, що входять до нього) оптимального компонування з максимальними показниками надійності.

## Висновки

Оптимальне розміщення чарунок у корпусі радіоелектронного блока дозволяє одержати конструкцію, у якій забезпечується максимальна надійність. Досягається оптимальне розміщення застосуванням при проектуванні спеціально створеного програмного комплексу, у якому об'єднані чотири програмні модулі: BlockTermo2, InputData, Relia2015, OptimBlock.

## Перелік посилань

1. Харченко В.А. Проблемы надежности электронных компонентов / В.А. Харченко // Известия высших

учебных заведений. Материалы электронной техники. — 2015. — № 18(1). — 52-57 с.

2. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / А.А. Алямовский. — М. : ДМК Пресс, 2010. — 464 с.
3. Автоматизированная система АСОНИКА / Под ред. Ю.Н. Кофанова, Н.В. Малютина, А.С. Шалумова. — М. : Энергоатомиздат, 2007. — 368 с.
4. Прытков С.Ф. Надежность электрорадиоизделий / С.Ф. Прытков, В.М. Горбачева, М.Н. Мартынова, Г.А. Петров. — М. : Электронстандарт, 2004. — 620 с.
5. Уваров Б.М. Оптимізація теплових режимів та надійності конструкцій радіоелектронних засобів з імовірнісними характеристиками / Б.М. Уваров, Ю.Ф. Зінківський. — К. : Корнійчук, 2011. — 201 с.
6. Лабай В. Й. Тепломасообмін / В.Й. Лабай. — Львів : Тріада Плюс, 1998. — 260 с.
7. Ahuja P. Introduction to Numerical Methods in Chemical Engineering. PHI Learning Pvt. Ltd. — 2010. — 304 p.
8. Niyogi P. Introduction to Computational Fluid Dynamics / P. Niyogi, M.K. Laha, S.K. Chakrabartty — Pearson Education India, 2009. — 600 p.
9. Азарсков В.Н. Надежность систем управления и автоматизации / В.Н. Азарсков, В.П. Стрельников. — К. : НАУ, 2004. — 164 с.

## References

- [1] Kharchenko V.A. (2015) Problems of Reliability of Electronic Components. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Materialy Elektronnoi Tekhniki*, Iss. 1, pp. 52. DOI: 10.17073/1609-3577-2015-1-52-57
- [2] Alyamovskii A.A. (2010) *Inzhenernye raschety v SolidWorks Simulation* [Engineering calculations in SolidWorks Simulation], Moscow, DMK Press, 464 p.
- [3] Kofanova Yu.N. ed., Maljutina N.V. and Shalumova A.S. (2007) *Avtomatizirovannaya sistema ASONIKA* [Automated system ASONIKA], Moscow, Energoatomizdat, 368 p.
- [4] Prytkov S.F., Gorbacheva V.M., Martynova M.N. and Petrov G.A. (2004) *Nadezhnost' elektroradioizdelii* [Reliability of radio products], Moscow, Elektronstandart, 620 p.

- [5] Uvarov B.M. and Zinkovskyi Yu.F. (2011) *Optymizatsiia teplovykh rezhymiv ta nadiinosti konstruksii radioelektronnykh zasobiv z imovirnisnymy kharakterystykamy* [Optimization of thermal regimes and reliability of constructions of radio-electronic devices with probabilistic characteristics], Kyiv, Korniiichuk, 201 p.
- [6] Labai V. I. (1998) *Teplomasoobmin* [Heat exchange], Lviv, Triada Plus, 260 p.
- [7] Ahuja P. (2010) *Introduction to Numerical Methods in Chemical Engineering*, PHI Learning Pvt. Ltd., 304 p.
- [8] Laha M. K., Chakrabartty S.K. and Niyogi P. (2009) *Introduction to Computational Fluid Dynamics*, Pearson Education India, 600 p.
- [9] Azarskov V.N. and Strel'nikov V.P. (2004) *Nadezhnost' sistem upravleniya i avtomatiki* [Reliability of control and automation systems], Kyiv, NAU, 164 p.

## Проектирование радиоэлектронных аппаратов с оптимальными показателями надежности

Уваров Б.М., Никитчук А.В.

Рассмотрена проблема достижения максимальной надежности элементов электронной структуры (ЭЭС) ячеек и всего радиоэлектронного блока при действии тепловых дестабилизирующих факторов, то есть обеспечения в нем минимальных температур ЭЭС в процессе эксплуатации. Разработаны и описаны программные модули для оптимизации размещения ячеек в блоке.

*Ключевые слова:* надежность; показатели надежности; радиоэлектронный блок; ячейка; элементы электронной структуры; программное обеспечение

## Radioelectronic Apparatus Design with Optimal Reliability Indicators

Uvarov B. M., Nikitchuk A. V.

**Introduction.** Considered the problem of maximizing the reliability of electronic structure elements of unit cells and entire electronic unit under the action of thermal destabilizing factors. Reliability of all device essentially depends from the thermal regime of electronic components, vibration and shock resistance. Optimization of the thermal

regime of the cell can be achieved by an appropriate placement of the heat-producing elements, because the temperature of each of them is determined by convective, conductive and radiative connections with elements of construction and each other.

**Calculation of the cells average temperatures in the block.** Described calculation of the average temperature of cells in the block. Averaged temperature of the cell is determined by the temperature of the coolant (in most cases, the air), the cells placement in the block and the temperatures of their elements.

**Temperature calculation of the electronic structure elements and the reliability calculations of cells and block.** The calculation of the electronic structure elements temperatures and reliability of the cells and the block is considered. In each cell are usually set dozens of electronic structure elements, for each it is necessary to calculate the temperatures by which it is determined the reliability indicators.

**The optimization of the cells arrangement in the block.** The optimization of the cells arrangement in the block is proposed. Heat generation in the cells in most designs is uneven, depending on the thermal power installed in them electronic structure elements, therefore, reliability indicators can be optimized, rationally placing the cells. For each accommodation option, the electronic structure elements temperature and the reliability of each cell are calculated. This is achieved through the specially created software package. Developed and described software modules for optimal placement of cells in the block to ensure that it has the minimum temperature of the electronic structure elements during operation. The design aim to reduce the temperature of heat-producing elements, and this can be achieved by appropriately placing the latter, removing them from each other to reduce interference and improve heat transfer. With a large number of cells in the block the rational placement it is difficult to achieve, since the number of non-repeatable placement of cells in a block is equal to the number of reconfigurations.

**Conclusions.** The optimal cells arrangement in the block allows to obtain a design in which the maximum reliability is ensured. This is achieved by using a specially created software complex, which combines four software modules: BlockTermo2, InputData, Relia2015, OptimBlock

*Key words:* reliability; electronics; the unit cell; electronic structure elements; thermal model; software