

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ПРИ ТЕПЛОВОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГЕРМЕТИЧНЫХ БЛОКОВ

В. Н. Крищук, Г. Н. Шило, Ю. А. Лопатка, Н. П. Гапоненко

*Запорожский национальный технический университет,  
69063, Запорожье, Украина  
E-mail: emiliax@mail.ru*

Рассматривается влияние принципа размещения печатных плат на тепловой режим герметичных блоков этажерочной конструкции. Описаны особенности теплоотвода в герметичных блоках. Предложен метод оптимизации размещения плат с учетом различной мощности рассеяния теплоты функциональными узлами, разработанный с использованием программных средств инженерного анализа для моделирования тепловых процессов.

**Ключевые слова:** *тепловое проектирование, размещение печатных плат, герметичный блок, оптимизация, программные средства.*

Важной задачей при проектировании радиоэлектронной аппаратуры является обеспечение максимальной плотности компоновки электрорадиоэлементов с сохранением высокой степени надежности [1]. Увеличение плотности компоновки и мощности рассеяния теплоты электрорадиоэлементами существенно ухудшает тепловой режим и, как следствие, приводит к увеличению массогабаритных показателей радиоэлектронной аппаратуры. Вопрос минимизации объема и массы особенно важен для бортовой авиационной аппаратуры, где используются герметичные блоки этажерочной конструкции [2].

Улучшить тепловой режим герметичных блоков этажерочной конструкции возможно за счет уменьшения перепада температуры между поверхностью корпуса и внешней средой, а также перепада температуры в блоке, который определяется как сумма перепадов температур плат и внутренних теплоотводящих элементов. На перепад температуры на внутренних теплоотводящих элементах влияет взаимное расположение источников тепла в блоке, что при нерациональном размещении функциональных узлов может привести к значительному перегреву блоков.

Задача размещения функциональных узлов в блоке до настоящего времени рассматривалась только с точки зрения оптимизации связей между ними [3, 4]. Разработка методов размещения функциональных узлов для оптимизации тепловых режимов затруднена в связи с тем, что традиционные методы расчета тепловых режимов основываются на модели трех тел и статистической обработке результатов измерения температур реальных блоков. Для повышения точности теплового проектирования необходимо в тепловых моделях учитывать конструкции блоков. Такие расчеты могут проводиться с использованием средств инженерного анализа [5, 6], которые в последнее время применялись, в частности, для оптимизации тепловых режимов радиаторов [7, 8]. Известны результаты исследования массогабаритных и тепловых характеристик герметичных блоков этажерочной конструкции [9]. Однако вопросы оптимизации размещения печатных плат в блоках с учетом мощности рассеяния теплоты каждой платой ранее не рассматривались.

В настоящей статье предложен метод оптимизации размещения печатных плат в герметичных блоках этажерочной конструкции с учетом мощности рассеяния каждой из них, разработанный с применением программных средств моделирования тепловых процессов.

Реализация предлагаемого метода предусматривает выполнение следующих задач:

- создание тепловой модели герметичного блока этажерочной конструкции;
- анализ особенностей теплоотвода в герметичных блоках;
- разработка алгоритма оптимизации размещения печатных плат в блоке;
- обсуждение особенностей применения метода.

Исследования тепловых режимов герметичных блоков этажерочной конструкции проводились с использованием тепловой модели, при этом учитывалось, что блок содержит большое количество конструктивных элементов, в том числе: печатные платы с электрорадиоэлементами, элементы крепления печатных плат, соединители, элементы объемного монтажа и т.д. Размеры этих элементов могут различаться в сотни и тысячи раз. Достаточная точность моделирования тепловых процессов в таких конструкциях не может быть описана современными компьютерными средствами. Поэтому при создании тепловой модели были исключены:

- конструктивные элементы, которые не влияют на распределение температур в блоке;
- локальные возмущения температур в печатных платах вблизи электрорадиоэлементов;
- элементы крепления блоков в аппаратуре.

Принятые допущения позволяют в тепловой модели не учитывать элементы объемного монтажа и соединители и рассматривать равномерное распределение мощности по поверхности печатной платы. Габариты электрорадиоэлементов компенсируются соответствующим расстоянием между печатными платами. В конструкции также отражено, что все платы имеют одинаковые размеры. Влияние металлизации печатной платы на тепловые процессы учитывается анизотропным коэффициентом теплопроводности. При моделировании теплообмен между блоком и внешней средой задавался только конвекцией и излучением. Предполагалось, что влияние на распределение температур внутри блока оказывала также теплопередача теплопроводностью по элементам крепления функциональных узлов.

Модель герметичного блока с принятыми допущениями приведена на рис. 1, где 1 — крышка корпуса, 2 — печатные платы, 3 — стойка, 4 — основание корпуса; стрелками показаны основные направления отвода тепла.

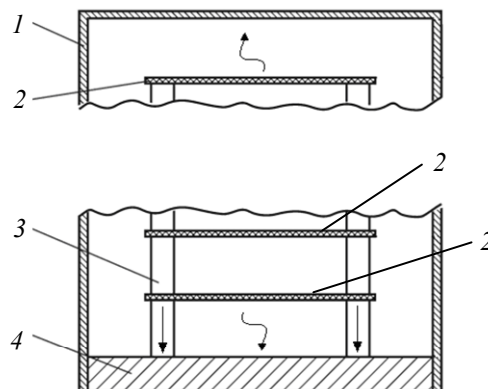


Рис. 1

Исследование тепловых режимов проводилось с помощью программного комплекса SolidWorks, модуль Flow Simulation. В результате анализа температуры плат установлено, что ее максимальное значение зависит от мощности рассеяния и принципа размещения плат. Теплопередача от верхней (наружной) поверхности платы происходит конвекцией и излучением к поверхности корпуса со значительно меньшей температурой, что улучшает теплоотвод и, как следствие, способствует снижению температуры верхней платы. Теплоотдача конвекцией и излучением от внутренней поверхности плат осуществляется в пространстве с более высокой температурой, что обуславливает повышение температуры плат. Также установлено, что температура корпуса практически одинакова при любом варианте размещения плат в блоке.

Поэтому для оптимизации их размещения целесообразно учитывать лишь перепад температуры в блоке, который определяется разностью его максимальной температуры и температуры основания корпуса.

Задача оптимизации размещения плат в блоке с учетом их теплового режима может быть решена методом перебора, что приводит, однако, к значительным временным затратам на проектирование блока. Для сокращения времени проектирования следует учитывать особенности теплопередачи в блоке: в частности, платы с повышенной мощностью рассеяния следует располагать в верхней и нижней частях блока. Этот метод используется в алгоритме сортировки [10], который адаптирован к задаче размещения функциональных узлов. Для оптимизации размещения могут использоваться также алгоритмы сортировки с последующим исключением плат, для которых оптимальное расположение определено с помощью критерия

$$T_{\max j} = \min \{T_{\max ji}\},$$

где  $T_{\max ji}$  — максимальное значение температуры в блоке при  $i$ -м варианте размещения плат в  $j$ -м наборе.

С учетом особенностей распределения температур в блоке и выбранного критерия предлагаемый алгоритм оптимизации размещения печатных плат с учетом мощности рассеяния имеет следующий вид.

*Шаг 1.* Производится ранжирование печатных плат по мощности рассеяния.

*Шаг 2.* Задается вариант размещения наиболее мощного элемента в верхней части ранжированного ряда и определяется максимальная температура в блоке.

*Шаг 3.* Анализируются максимальные температуры в блоке при последовательной установке следующих мощных элементов на верхнюю позицию ряда. Если анализ максимальных температур в блоке при последовательном изменении элемента, располагаемого на верхней позиции, не завершен, то осуществляется переход к шагу 2. Иначе — в соответствии с вышеприведенным критерием — выбирается плата и устанавливается на верхнюю позицию ранжированного ряда.

*Шаг 4.* Из ряда печатных плат исключаются платы, для которых выбрано оптимальное расположение. Если установка всех элементов не завершена, то осуществляется переход к шагу 2, иначе — окончание работы алгоритма.

Объем вычислений может быть уменьшен, если на шаге 2 проводить сравнение температур в блоке при каждом этапе перемещения плат на верхнюю позицию ряда. В случае когда температура в блоке при последующем варианте перемещения плат превышает температуру при предыдущем варианте, необходимость в перемещении оставшихся плат отсутствует. Определение оптимального расположения плат в блоке осуществляется в соответствии с шагом 3. Позиции плат, находящихся ниже платы, для которой определено оптимальное расположение, устанавливаются как оптимальные, и эти платы также исключаются из ряда печатных плат, подлежащих оптимизации.

Реализация алгоритма рассмотрена на модели герметичного блока этажерочной конструкции при следующих заданных параметрах: количество печатных плат  $n = 5$ ; расстояние между платами  $l_{\text{п}} = 20$  мм; диаметр стоек  $d = 10$  мм; толщина основания корпуса  $h_0 = 7$  мм, толщина крышки корпуса и плат  $h_{\text{к}} = h_{\text{п}} = 2$  мм; расстояние от края платы до крышки корпуса  $l = 10$  мм; общая монтажная площадь электрорадиоэлементов  $S = 0,04$  м<sup>2</sup>; коэффициент черноты поверхностей  $\varepsilon = 0,91$ ; коэффициент теплопроводности стоек и корпуса  $\lambda_{\text{к}} = 140$  Вт/м·К, коэффициент теплопроводности печатных плат  $\lambda_{\text{п}} = 3(40)$  Вт/м·К в аксиальном и радиальном направлениях соответственно; мощность рассеяния  $P_1 = 3,0$  Вт,  $P_2 = 2,5$  Вт,  $P_3 = 2,0$  Вт,  $P_4 = 1,5$  Вт,  $P_5 = 1,0$  Вт. Температура окружающей среды  $T = 50$  °С.

Результаты применения предложенного алгоритма приведены на рис. 2, где показано распределение мощности по блоку (рис. 2, а) и соответствующее ему распределение температуры в блоке (рис. 2, б), а обозначения 1, 2 и 3 соответствуют наихудшему, ранжированному и оптимальному варианту расположения плат. Перепад температуры в блоке относительно температуры корпуса при варианте 1 составляет 21,5 °С, при варианте 2 — 15,2 °С, при варианте 3 — 14,0 °С. Оптимальный вариант размещения плат в блоке позволяет уменьшить перепад температуры по сравнению с наихудшим вариантом на 7,5 °С (54 %), а ранжированный вариант — на 6,3 °С (41 %).

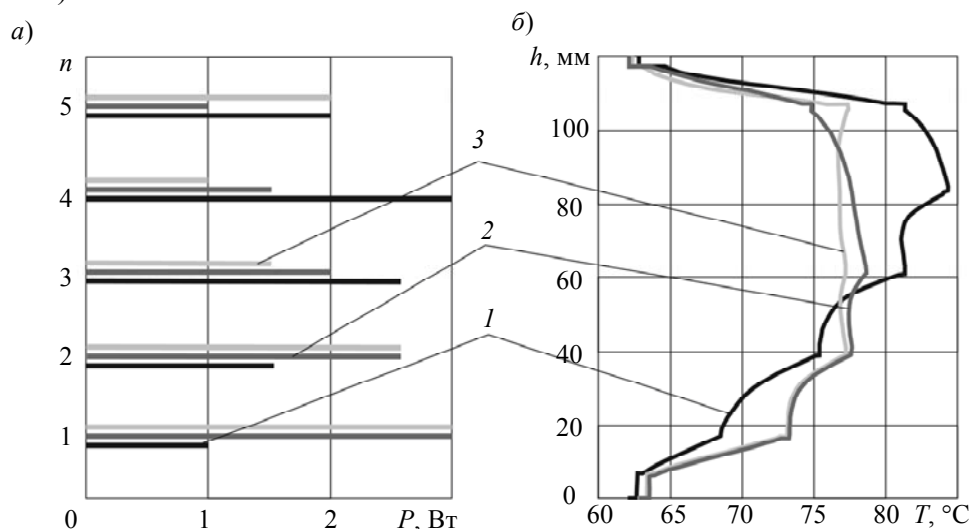


Рис. 2

Приведенный алгоритм может использоваться как один из этапов оптимизации объема блока в случае, когда распределение мощности в блоке неоднородно. Для оптимизации тепловых режимов блока необходимо учитывать локальные распределения температур вблизи электрорадиоэлементов, а также оптимизировать выбор расстояний между платами, диаметра стоек и количества печатных плат. Следует учитывать, что применение алгоритма может быть ограничено в связи с невозможностью изменить размещение плат в блоке вследствие увеличения длины межсоединений и увеличения электромагнитных помех.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кольтюков Н. А., Белоусов О. А. Проектирование несущих конструкций радиоэлектронных средств. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2009.
2. Белоусов Е. Л., Ушкар М. Н. Конструирование блоков бортовой авиационной аппаратуры связи. Нижний Новгород: НГТУ, 2005.
3. Пирогова Е. В. Проектирование и технология печатных плат. М.: Форум, Инфра-М, 2005.
4. Меркухин Е. Н. Использование графовых моделей пространства допустимых решений в задаче размещения электронных элементов // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 5. С. 56—61.
5. Алямовский А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК-Пресс, 2010.
6. Lombard M. SolidWorks 2013 Bible. John Wiley & Sons Inc., 2013.
7. Гапоненко Н. П., Огренич Е. В. Проектирование пластинчатых радиаторов с оптимальными массогабаритными параметрами // Радиоэлектроника. Информатика. Управление. 2007. № 1. С. 32—35.
8. Шило Г. Н., Гапоненко Н. П., Огренич Е. В. Проектирование радиаторов с оптимальными массогабаритными параметрами // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2011. № 1—2. С. 30—33.
9. Шило Г. М., Сиротюк О. В., Савелло О. С., Лопатка Ю. А., Арсикін Є. К., Гапоненко М. П. Дослідження массогабаритних і теплових характеристик герметичних блоків радіоелектронної апаратури // Радиоелектроніка. Інформатика. Управління. 2013. № 2. С. 42—47.

10. Седжвик Р. Элементарные методы сортировки // Алгоритмы на C++. М.: Изд. дом „Вильямс“, 2011. С. 246—247.

**Сведения об авторах**

- Владимир Николаевич Крищук** — канд. техн. наук, профессор; ЗНТУ, кафедра информационных технологий электронных средств
- Галина Николаевна Шило** — канд. техн. наук, доцент; ЗНТУ, кафедра информационных технологий электронных средств; E-mail: shilo.gn@gmail.com
- Юлия Анатольевна Лопатка** — аспирант; ЗНТУ, кафедра информационных технологий электронных средств; E-mail: emiliax@mail.ru
- Николай Прокофьевич Гапоненко** — канд. техн. наук, доцент; ЗНТУ, кафедра информационных технологий электронных средств

Рекомендована кафедрой  
информационных технологий  
электронных средств

Поступила в редакцию  
26.03.15 г.

**Ссылка для цитирования:** Крищук В. Н., Шило Г. Н., Лопатка Ю. А., Гапоненко Н. П. Оптимизация размещения печатных плат при тепловом проектировании герметичных блоков // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 7. С. 576—580.

**PLACEMENT OPTIMIZATION OF PRINTED CIRCUIT BOARDS  
IN THERMAL DESIGN OF HERMETICALLY SEALED UNIT**

**V. N. Krishchuk, G. N. Shilo, Yu. A. Lopatka, N. P. Gaponenko**

*Zaporizhian National Technical University,  
69063, Zaporozhye, Ukraine  
E-mail: emiliax@mail.ru*

The influence of placing of printed circuit boards on thermal conditions of stack package is considered. Peculiarities of heat removal in hermetically sealed unit are described. A method for optimizing the boards placing with due regard for differences between heat power dissipated by separate functional units is developed with the use of a CAE system for simulation of thermal conditions.

**Keywords:** thermal design, placing printed circuit boards, hermetically sealed unit, optimization, software.

**Data on authors**

- Vladimir N. Krishchuk** — PhD, Professor; Zaporizhian National Technical University, Department of Information Technologies of Electronic Devices
- Galina N. Shilo** — PhD, Associate Professor; Zaporizhian National Technical University, Department of Information Technologies of Electronic Devices; E-mail: shilo.gn@gmail.com
- Yuliya A. Lopatka** — Post-Graduate Student; Zaporizhian National Technical University, Department of Information Technologies of Electronic Devices; E-mail: emiliax@mail.ru
- Nikolay P. Gaponenko** — PhD, Associate Professor; Zaporizhian National Technical University, Department of Information Technologies of Electronic Devices

**Reference for citation:** *Krishchuk V. N., Shilo G. N., Lopatka Yu. A., Gaponenko N. P.* Placement optimization of printed circuit boards in thermal design of hermetically sealed unit // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroyeniye*. 2015. Vol. 58, N 7. P. 576—580 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-7-576-580