

Д. А. ДАНИЛОВ, В. И. ЕГОРОВ, С. В. ФАДЕЕВА, А. В. ШАРКОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ

Представлены результаты моделирования тепловых и гидродинамических полей в радиоэлектронном аппарате кассетного типа. Сопоставлены результаты расчетов с использованием программы, разработанной на основе метода конечных элементов, и расчетов по программе, реализующей метод поэтапного моделирования.

Ключевые слова: радиоэлектронная аппаратура, моделирование, тепловой режим.

Существующая в настоящее время тенденция к типизации и унификации конструкций радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), обусловленная их разнообразием, ведет к автоматизации проектирования устройств и снижению их стоимости. При этом сохраняется необходимость

обеспечения нормального теплового режима РЭА для проведения моделирования тепловых процессов.

В настоящей статье рассматривается герметичный радиоэлектронный аппарат (блок), содержащий модули одного типоразмера. Такие блоки называются кассетными. Обеспечение теплового режима блока осуществляется за счет естественной конвекции. В связи с этим важным аспектом является анализ движения воздуха внутри блока.

Авторами проведено математическое моделирование теплового режима и поля скоростей воздушного потока внутри прибора с помощью пакета программ (П1), разработанных на основе метода конечных элементов. Результаты моделирования сравнивались с программой (П2), реализующей известную методику расчета [1, 2].

Исследуемый кассетный блок состоит из корпуса и модулей, имеющих лицевые панели и разъемы для присоединения кросс-платы. В блоке имеются воздушные каналы: между соседними модулями, между кросс-платой и задней крышкой корпуса (кабельный канал), между модулями и корпусом — боковые, верхний, нижний. Блок кассетного типа имеет два вида конструктивного исполнения: с передней крышкой корпуса (рис. 1) и без передней крышки.

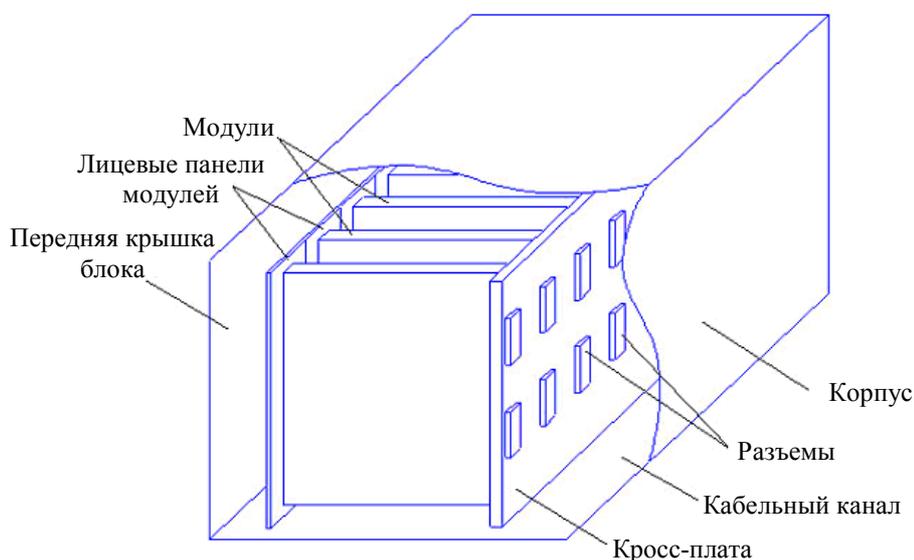


Рис. 1

Геометрические параметры исследуемого блока приведены в таблице.

Элемент блока	Высота h , м	Ширина s (толщина), м	Глубина d (толщина), м
Корпус	0,3	0,47	0,3
Модуль	0,26	0,01	0,28
Кросс-плата	0,26—0,3	0,47	0,002

Воздушные каналы блока имеют следующую ширину: боковые — 0,018 м, верхний и нижний — 0,0175 м, кабельный — 0,013 м, между модулями — 0,015 м.

Температура окружающей воздушной среды $T_{\text{ср}} = 40$ °С. Мощность тепловыделений каждого модуля (P_i) одинакова и составляет 8 Вт. Количество модулей (N) 15. Степень черноты всех поверхностей 0,9.

При моделировании тепловой модели приняты следующие допущения:

- все модули представляют собой пластины определенной толщины с вертикальной лицевой панелью и равномерно распределенными по объему источниками теплоты;
- температура модуля (T_i) соответствует его среднеповерхностной температуре;
- температурное поле металлического корпуса прибора равномерное;
- кондуктивные тепловые связи модулей с корпусом блока не учитываются.

В работах [1, 2] и соответственно в программе П2 принято допущение о том, что воздух движется в вертикальном направлении по каналам между модулями, по каналам между крайними модулями и боковыми стенками корпуса [3], а в горизонтальном направлении — между зоной модулей и верхней и нижней стенками корпуса. При этом не учитывается конвективный теплообмен в кабельном канале и в канале между передней крышкой корпуса и лицевыми панелями модулей.

В результате расчета по программам П1 и П2 выявлен перегрев модулей относительно температуры окружающей среды и получены значения поля скоростей воздушного потока и расхода воздуха в каналах.

На рис. 2 графически показано распределение температуры нагрева модулей (ΔT_i) относительно температуры T_{cp} при $P_i = 8$ Вт для блока с передней крышкой (рис. 2, а) и без нее (рис. 2, б): кривая 1 соответствует расчету по программе П2, а кривые 2 и 3 отражают результаты моделирования (программа П1) соответственно при открытом и закрытом кабельном канале (при ширине канала между модулями 15 мм). Значения $\Delta T_{i, П2}$ (рассчитанные по программе П2) мало различаются для блока с передней крышкой и без нее. При этом $\Delta T_{i, П1} > \Delta T_{i, П2} = 17\%$ для блока без крышки и $\Delta T_{i, П1} < \Delta T_{i, П2} = 5\%$ для блока с передней крышкой; наличие крышки увеличивает перегрев модулей (по программе П1 — на 20 %). Массовый расход воздуха в каналах между модулями (для обоих конструктивов) остается на уровне 0,0001 кг/с (по программе П2) и на уровне 0,0002 кг/с (по программе П1).

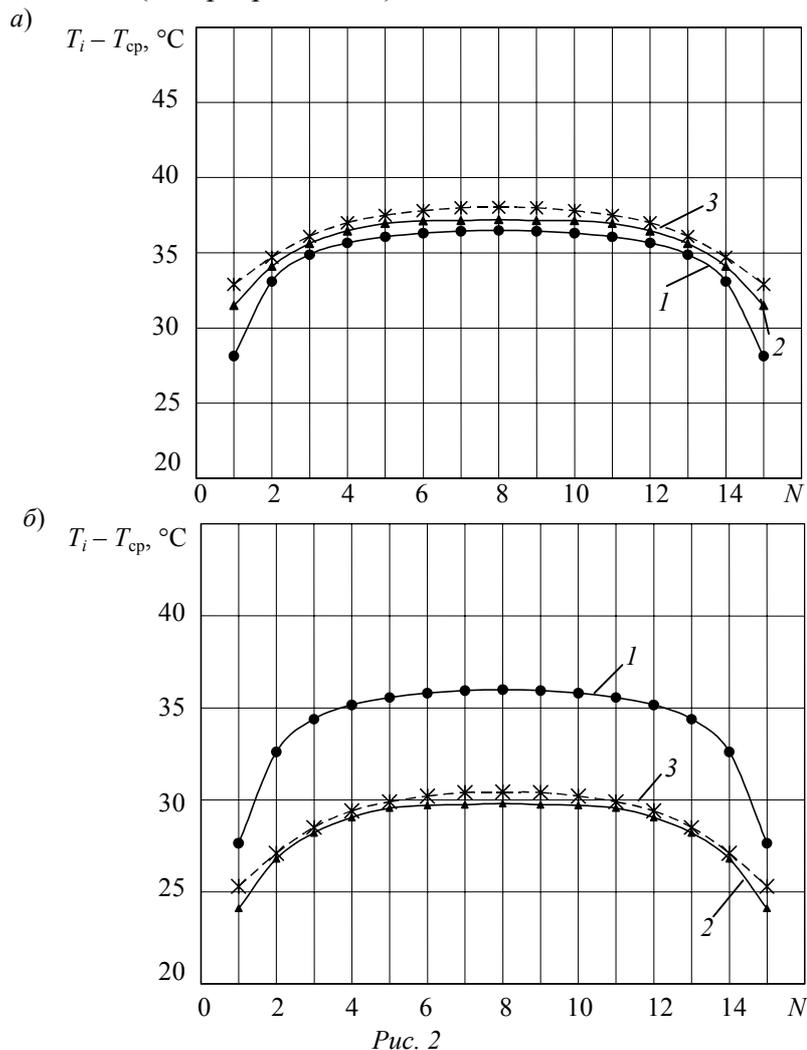


Рис. 2

При моделировании блока без передней крышки выявлено, что в каналах между модулями в зоне, прилегающей к их лицевым панелям, движение воздуха направлено вниз. При

этом образуется область циркуляции воздуха, которая захватывает в среднем 30 % площади модуля (рис. 3).

Для вычисления средних значений массовых расходов воздуха в каналах была проведена серия расчетов при следующих диапазонах изменения параметров: мощность тепловыделений модуля — от 4 до 16 Вт; ширина кабельного канала — от 0 до 0,03 м; ширина верхнего канала — от 0,01 до 0,07 м; ширина нижнего канала — от 0,01 до 0,04 м. Расход воздуха, поступающего снизу в канал между модулями, распределяется следующим образом: 30 % поступает сверху в кабельный канал, 70 % — в направлении соседних каналов.

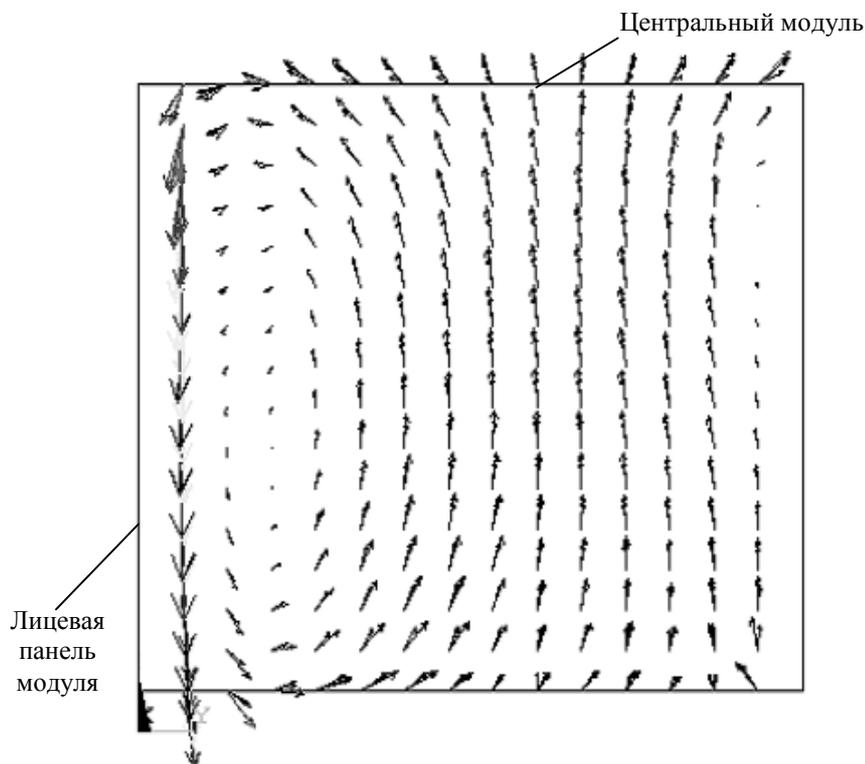


Рис. 3

Было также проанализировано влияние ширины канала между модулями на величину перегрева центрального модуля при неизменной мощности всего блока. Моделирование показало, что с увеличением расстояния между модулями изменяется характер пространственного распределения скорости воздуха в каналах, в частности увеличивается область циркуляции.

В блоке с передней крышкой при закрытом кабельном канале выявляются две области циркуляции в канале между модулями: в одном случае воздух циркулирует в зоне лицевой панели модуля, в другом — в зоне кросс-платы. Результаты расчета перегрева модулей по существующей методике [1] являются заниженными на 5 % для блоков с передней крышкой и завышенными на 20 % для блоков без передней крышки, что обусловлено принятыми допущениями при расчете параметров движения воздуха в каналах РЭА.

В заключение отметим, что учет особенностей движения воздуха в каналах радиоэлектронного аппарата позволяет повысить точность расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дульнев Г. Н., Парфенов В. Г., Сигалов А. В. Методы расчета теплового режима приборов. М.: Радио и связь, 1990.
2. Дульнев Г. Н. Тепло- и массообмен в РЭА. М.: Высш. школа, 1984.
3. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1975.

Сведения об авторах

- Даниил Александрович Данилов* — ФГУП „Аврора“, Санкт-Петербург; инженер
Владимир Иванович Егоров — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютерной теплофизики и энергофизического мониторинга; E-mail: KTF@grv.ifmo.ru
- Светлана Викторовна Фадеева* — студентка; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютерной теплофизики и энергофизического мониторинга
- Александр Васильевич Шарков* — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютерной теплофизики и энергофизического мониторинга; E-mail: ktf@grv.ifmo.ru

Рекомендована кафедрой
компьютерной теплофизики
и энергофизического мониторинга СПбГУ ИТМО

Поступила в редакцию
07.12.09 г.