

УДК 563.6

# МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО ОРЕБРЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ ТЕПЛООБМЕНА МЕХАНОТРОННЫХ СИСТЕМ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

**А.И. Борисова**

*Воронежский государственный технический университет*  
Россия, 394026, Воронеж, Московский проспект, 14  
E-mail: [alinka\\_borisova93@mail.ru](mailto:alinka_borisova93@mail.ru)

**В.Л. Бурковский**

*Воронежский государственный технический университет*  
Россия, 394026, Воронеж, Московский проспект, 14  
E-mail: [bvl@vorstu.ru](mailto:bvl@vorstu.ru)

**Ю.В. Писаревский**

*Воронежский государственный технический университет*  
Россия, 394026, Воронеж, Московский проспект, 14

**Ключевые слова:** ребра, процесс теплопередачи, теплорациональный обмен, электро-механотронные конструкции, ресурс.

**Аннотация:** Анализируются эффективности различных форм ребер путем численного моделирования процесса теплопередачи, в котором целесообразно задаться тепловым потоком, проходящим через основание ребра и определить температуру соответствующих поверхностей в факторах указанных совместимостей с задачей теплорационального обмена и теплозащиты интегрированных электромеханотронных конструкций по структурным контурам проблемного поля функциональной напряженности микроконтроллерных бесконтактных экстремальноустойчивых электроприводов, класса цифровой механотроники, вакуумно-объектовой категории с повышенным ресурсом. Рассматриваются условия теплообмена с учетом изменения внешних условий, предопределяя наличие в тепловой системе трёх видов теплообмена: теплопроводность или кондукция в твёрдых телах; конвекция и радиация на границе твёрдых тел с внешней средой.

## 1. Введение

Достижение целей, характеризующих научно-техническую направленность и производственно-технологические аспекты создания аппаратуры нового поколения, в факторах указанных совместимостей, выделяет задачу теплорационального обмена и теплозащиты интегрированных электромеханотронных конструкций, наиболее эффективным методом математического моделирования при описании процесса теплопередачи по структурным контурам проблемного поля функциональной напряженности высокоресурсных вакуумных механотронных систем.

Проекционный подход к решению задач такого теплообмена ограничиваются сложностью протекания электромагнитных процессов в элементах с разнофизическими свойствами, а также трудностями учета совокупностей сборочных единиц сложной конфигурации при наличии взаимных затемнений элементов поверхностей, что приводит к необходимости новых подходов их решения на принципах математического моделирования. В этих условиях особенности теплового проблемного поля механотронных систем, прежде всего, связана с необходимостью сохранений теплового баланса активных частей электромеханики и электронной составляющей, ограничиваемые недостаточностями теплоизлучающих процессов в вакуум-климатических условиях.

## 2. Теплообмен оболочки механотронной системы

Для оценки эффективности различных форм ребер путем численного моделирования процесса теплопередачи целесообразно задаться тепловым потоком, проходящим через основание ребра, и определить температуру соответствующих поверхностей.

Основной принцип организации и размещения теплостокков, который должен учитываться при проектировании механотронных систем сводится к следующим положениям:

1) теплосток должен быть разделён на несколько стоков в соответствии с числом источников тепла;

2) стоки следует размещать в непосредственной близости от источников тепла, избегая наличия между ними пассивных тел. При условии максимально развитой поверхности контакта.

Эффективность теплообмена оболочки механотронной системы во многом определяется наличием ребренных поверхностей. Ребра на поверхности оболочки позволяют значительно увеличить площадь охлаждения. Исследования влияния их охлаждения на температуру электротехнического объекта показывают, что эффект от увеличения поверхности охлаждения объекта за счет ребер оказывается меньше ожидаемого.

С увеличением густоты ребер коэффициент заметно снижается. Кроме этого тепловой поток, отводимый с поверхности охлаждения ребра, преодолевает его сопротивление, которое зависит от коэффициента теплопроводности материала ребра. Очевидно, что в условиях космического пространства рассмотренные негативные факторы усиливаются, а процесс теплоотдачи ухудшается. Конвективный теплообмен исчезает и определяющими становятся лучистый и кондуктивный. Кондуктивный теплообмен осуществляется за счёт контакта механотронного устройства с конструктивными элементами космического аппарата. Такой тип теплообмена требует дополнительных исследований. Кроме этого, исследования, выполненные в нормальных условиях земли [1, 2], показывают, что форма ребер также влияет на теплообмен ребренной поверхности и окружающей среды.

Распределение температуры вдоль оси ребра описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{d^2\Theta}{dx^2} - \frac{2\alpha}{\lambda b} \cdot \Theta = 0,$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи охлаждаемой поверхности, Вт/(м<sup>2</sup>К);  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала ребра, Вт/(м·К);  $\Theta$  – превышение температуры ребра над температурой окружающей среды.

Формы ребер для моделирования подобраны таким образом, что площадь их сечения сохраняется равной  $30 \text{ мм}^2$ . Это позволяет сохранить массу ребер постоянной при сравнении по коэффициенту эффективности, где в начале определяется наиболее эффективная форма элемента поверхности, а, затем, из этих элементов строится поверхность охлаждения, что позволяет сформировать оболочку механотронного модуля и выполнить исследование, с учётом контакта оболочки с конструктивными элементами космического аппарата.

В условиях космического пространства конвекция отсутствует, и теплообмен ребренной поверхности осуществляется за счёт излучения. Моделирование ребер, имеющих пространственную симметрию, выполнялось при условии, что удельный тепловой поток в основании ребра остаётся без изменения и равен  $1000 \text{ Вт/м}^2$ . Кроме этого радиация становится определяющим фактором теплообмена ребренной поверхности. При моделировании температурного поля ребра коэффициент поглощения поверхности  $\beta = 0.9$  принят одинаковым для всех моделей.

Таким образом, теплообмен с окружающей средой в нормальных условиях и наличии конвекции наиболее эффективен при объемных ребрах, которые составляют поверхность определенной формы. Поверхность может быть приспособлена к условиям теплообмена за счёт радиации. Однако в условиях космического пространства этого оказывается недостаточно. Для создания эффективной системы охлаждения объекта необходимо определить главные процессы, определяющие термическое состояние объекта [3].

### 3. Заключение

В докладе рассмотрены вопросы построения математической модели и выбора формы ребер. Развитие математического моделирования процесса теплообмена механотронной системы обусловлено не столько недостаточностью математических методов и вычислительного обеспечения, сколько сложностью и неопределенностью внутри агрегатных процессов в совокупности, с необходимостью интерактивного экспериментального их подтверждения при доведении до инженерных расчетов, обеспечивающих необходимую надежность за счет рациональной системосхемотехники при оптимальном распределении суммарных потерь, компенсируемых методами теплопроводности и теплового излучения, способных в десятки раз интенсифицировать тепловой обмен за счет интеграционно-конструктивных достижений с использованием покрытия из материалов повышенной теплопроводности.

### Список литературы

1. Сипайлов Г.А., Санников Д.И., Жадан В.А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчёты в электрических машинах / Учеб. для вузов по спец «Электромеханика». 1989. 239 с.
2. Борисенко А.И., Костиков О.Н., Яковлев А.И. Охлаждение промышленных электрических машин. 1983. 276 с.
3. Писаревский Ю.В., Борисова А.И. Теплообмен оболочек механотронных систем с окружающей средой. Научно-технический отчет по этапу № 1. Шифр НИР «База-Алгоритм». 2018.