

УДК 621.3

Некоторые аспекты моделирования систем термостатирования космических аппаратов

А. С. Макарова, Г. А. Иванова, В. И. Завелион

Дніпропетровський державний університет

Надійшла до редакції 28.12.96

Розглянуто основні вимоги, що їх повинні задовольняти загальні математичні моделі розрахунку систем терморегулювання. Показано, що найперспективнішими є комбіновані моделі, які включають як інженерні методики, так і постановки крайових задач для рівнянь в частинних похідних.

Системы терморегулирования (СТР) являются неотъемлемой частью технических комплексов, обеспечивающих жизнедеятельность космических аппаратов различного назначения. Их разработка и проектирование невозможны без прогнозирования и проверки предлагаемых технических решений. Основным способом анализа разрабатываемых СТР до настоящего времени является их экспериментальная проверка. Этот путь, как правило, сопряжен со значительными техническими и материальными затратами. При этом экспериментальные исследования в большинстве случаев проходят на модельных СТР, которые, вообще говоря, не вполне адекватны своим реальным прототипам. Следует также отметить, что введение в современные СТР каких-либо новых структурных элементов потребует модификации имеющихся испытательных стендов.

В этих условиях с учетом интенсивного развития средств вычислительной техники возрастающее значение приобретает математическое моделирование СТР. Имеющиеся в настоящее время инженерные расчетные методики определения гидравлических и тепловых характеристик СТР основаны на простейших балансовых соотношениях и не достаточно адекватно отражают физические процессы, происходящие в системах терморегулирования. Основной причиной неполной адекватности инженерных методик, по-видимому, является то, что они не учитывают неравномерность распределения темпе-

ратуры в наиболее важных структурных элементах, к числу которых относятся прежде всего теплообменники. Для устранения этого недостатка представляется целесообразным включить в общие расчетные методики математические модели подобных структурных элементов, сводящиеся к краевым задачам теплопереноса. Такой комплексный подход, при котором каждый структурный элемент моделируется своей системой уравнений (балансовых, обыкновенных дифференциальных или в частных производных), отражающей его тепловое состояние, позволяет построить общую математическую модель, обладающую свойствами адекватности и относительной простоты.

Типы математических моделей СТР определяются условиями протекания процессов теплопереноса в структурных элементах этих систем, а также в системах в целом.

Функциональное назначение СТР для большинства систем космических аппаратов состоит в поддержании заданного температурного режима определенных объектов в течение длительного периода времени. В этих условиях параметры, определяющие процессы теплопереноса в автономных СТР, практически не изменяются во времени, поэтому математические модели, описывающие подобные системы терморегулирования, могут рассматриваться как статические [2]. Вместе с тем в процессе эксплуатации КА возможны ситуации, при которых СТР подвергаются воздействию дополнитель-

ных тепловых потоков. В этих случаях практический интерес представляет анализ процесса установления параметров после окончания локально-временного воздействия, а также определение времени выхода СТР на новый стационарный режим. Очевидно, что прогнозирование работы СТР в таких переходных режимах требует разработки динамических моделей систем терморегулирования [2].

Большинство разработанных до настоящего времени моделей составляют модели с сосредоточенными параметрами [1]. С математической точки зрения эти модели являются наиболее простыми, методы их решения достаточно хорошо разработаны [1, 2]. Вместе с тем широкое использование таких моделей для анализа тепловой работы реальных систем терморегулирования сопряжено с определенными трудностями, поскольку для адекватного описания СТР с помощью модели с сосредоточенными параметрами данную систему необходимо разбить на большое число фрагментов (узлов), в пределах которых было бы можно пренебречь пространственным изменением параметров теплопереноса. Кроме того, это разбиение всегда носит субъективный характер и зависит от опыта работы и квалификации разработчика. Следует также отметить наличие в составе СТР структурных элементов (например, теплообменники), для которых характерна существенная пространственная неоднородность температурного поля.

Для оптимального выбора типа модели того или иного элемента СТР необходим обстоятельный априорный анализ имеющейся информации о работе типовых структурных элементов рассматриваемого класса. Накопленный опыт исследований позволяет отнести к элементам, допускающим применение моделей с сосредоточенными параметрами, датчики температуры, давления, элементы автоматики, имеющие малые габариты и, как следствие, допускающие замену пространственного распределения температуры некоторой усредненной по поверхности (объему) температурой, изменяющейся только во времени. Кроме того, априорный анализ позволяет выделить те участки магистрали СТР, на которых изменением температуры рабочих жидкостей можно пренебречь. Последними из структурных элементов, к которым применим анализ на основе моделей с сосредоточенными параметрами, являются термостатируемые объекты. Здесь необходимо отметить вынужденность такого упрощенного подхода, связанную с тем, что эти объекты включаются в СТР, имея заданный на соответствующих предприятиях-разработчиках весьма ограниченный набор интегральных гидравлических и тепловых характеристик. При этом закономерно возникает

вопрос о степени адекватности моделей и точности методов расчета для термостатируемых объектов и собственно СТР. Эта проблема характерна для всех задач расчета СТР независимо от математической модели.

Необходимость учета пространственных изменений параметров теплопереноса в некоторых структурных элементах СТР требует использования моделей с распределенными параметрами. Помимо теплообменников к таким элементам могут быть отнесены смесители различных конструкций, в которых происходит пересечение магистралей теплоносителя и холодоносителя. В системе трубопроводов СТР могут быть участки, на которых температура рабочей жидкости существенно изменяется, что должно учитываться.

На основе вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Разрабатываемая математическая модель СТР должна быть гибридной, т. е. включать элементы всех рассмотренных выше моделей.

2. Определяющее значение приобретает априорный анализ структурных элементов СТР, на основе которого разрабатываются «частные» математические модели теплопереноса в отдельных элементах системы.

3. Применение гибридной математической модели потребует создания комплексного вычислительного алгоритма, в состав которого войдут различные для разных структурных элементов методики расчета, которые должны быть связаны между собой с помощью соотношений, моделирующих тепловые связи составных частей СТР.

Практическая реализация данных выводов позволит утвердить математическое моделирование как эффективное средство совершенствования проектно-конструкторских работ по созданию СТР КА различного назначения.

1. Дульнев Г. Н., Парфенов В. Г., Сигалов А. В. Методы расчета теплового режима приборов. — М.: Радио и связь, 1990.—312 с.
2. Малоземов В. В. Тепловой режим космических аппаратов. — М.: Машиностроение, 1980.—367 с.

SOME ASPECTS OF THE SIMULATION OF TEMPERATURE CONTROL SYSTEMS FOR SPACE VEHICLES

A. S. Makarova, G. A. Ivanova, and V. I. Zavelion

We discuss the essential features required of the general mathematical models for calculating temperature control systems. The most promising models showed combine engineering methods and boundary-valued problems formulated for partial differential equations.