

УДК 629.7.054.847

**В.Г. Бутов, Т.В. Васенина, Н.Е. Кувшинов,
Г.И. Овечкин, А.А. Яшук**

ОРГАНИЗАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Разработана специализированная многофункциональная САД-САЕ-система «Градиент», которая предназначена, в том числе, и для численного моделирования температурных полей элементов конструкции перспективных спутников связи. При создании конструктивно-компоновочной схемы космического аппарата используется база данных элементов конструкции и их физических характеристик. Для геометрической модели космического аппарата (КА) с заданными физическими параметрами проводится расчет многомерных нестационарных тепловых полей и стационарных температур элементов конструкции и КА в целом с учетом внешних тепловых потоков в заданные промежутки времени и на заданной орбите.

Ключевые слова: база данных; численное моделирование; температурные поля; интегрированная система; космический аппарат.

В настоящее время для решения задач, возникающих при проектировании КА, широко используются универсальные пакеты механического и теплового анализа конструкций, такие, как ANSYS, NASTRAN, ABAQUS и другие. При проведении анализа в универсальных пакетах основную сложность представляет создание расчетной модели. Данная операция очень трудоемка, так как универсальные пакеты не позволяют в автоматическом режиме строить конечно-элементные модели для конкретных классов задач. В связи с этим представляется актуальным разработка специализированной САПР, предназначенной для анализа конкретных классов КА.

Интегрированная многоуровневая система (ИМС) «Градиент» разработана для обеспечения выбора по заданным критериям основных проектных параметров различных вариантов конструктивно-компоновочных схем (ККС) КА [1]. Выбор осуществляется на основе разработанной геометрической модели КА и расчетов для этой ККС многомерных нестационарных температурных полей и стационарных температур элементов конструкции и КА в целом.

Система «Градиент» позволяет проектанту на этапе эскизного проектирования создать упрощенную геометрическую модель элементов конструкции и выбрать ККС конструкции на основе результатов проведенных оценочных тепловых расчетов.

В данной статье приводится описание структуры базы данных (БД), используемой для проведения расчетов нестационарных температурных полей в панелях солнечных батарей, в приборном отсеке с учетом радиационного теплообмена внутри приборного отсека, внешних тепловых полей, анизотропного механизма теплопроводности по сотовым панелям, в которые могут быть встроены жидкостной контур и/или тепловые трубы.

1. Структура базы данных

База данных системы «Градиент» предназначена для хранения различных типов данных. В системе используется реляционная БД, работа с которой осуществляется через протокол ODBC, поэтому сама БД может быть в любом формате, например MS Access либо MySQL. Целостность данных в БД обеспечивает сама система «Градиент». Структура БД приведена на рис. 1. В БД содержится:

- конструктивно-компоновочная схема КА;
- наборы типовых узлов. Типовой узел представляет собой объект предметной области, обладающий некоторыми отличительными свойствами и выполняющий определенные функции в конструкции КА. В системе «Градиент» типовые узлы выделяются исходя из той роли, которую они играют в математических моделях решаемых задач. В настоящее время выделены следующие типовые узлы: сотопанель, прибор, тепловая труба, труба жидкостного контура, трубы каркаса солнечных батарей (БС) и др.;
- дополнительная информация о типовых узлах: свойства материалов, геометрические параметры, чертежи, циклограммы работы приборов, сечения труб;
- дополнительные данные для расчетов: параметры орбит, альbedo Земли, параметры расчетов, сетки конечных элементов и др.

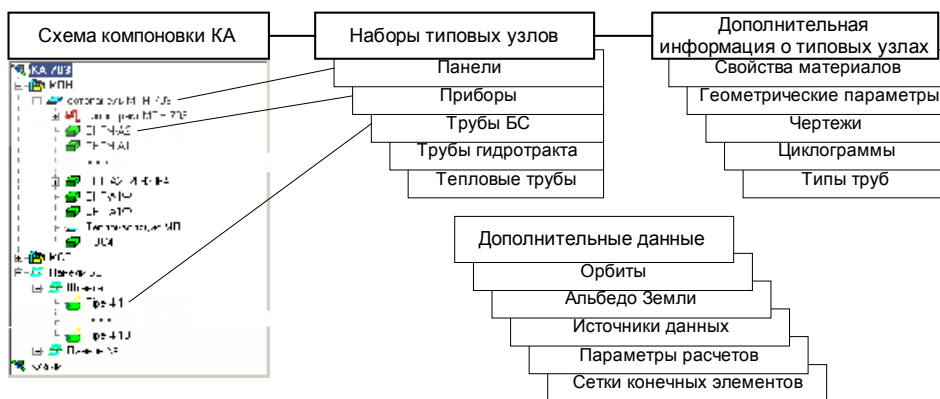


Рис. 1. Структура базы данных ИС «Градиент»

Конструктивно-компоновочная схема КА представляет собой иерархическую структуру – дерево и хранится в отдельной таблице, при этом иерархическая структура воспроизводится введением специального поля, ссылающегося на первичный ключ данной таблицы, соответствующий записи родительского узла. Корнем дерева является собственно КА, элементами дерева являются так называемые компоновочные узлы, т.е. функционально выделенные элементы конструкции КА (например, модуль, приборный отсек, сотопанель, прибор, тепловая труба и т.п.). Для каждого компоновочного узла в БД хранятся точка вставки и углы поворотов локальной системы координат (СК) относительно СК родительского узла, которые задают его геометрическое положение. Также для каждого компоновочного узла указан его тип и может быть указана ссылка на соответствующий типовой узел.

Наборы типовых узлов и дополнительные данные хранятся в отдельных таблицах.

В БД упрощенное описание геометрии типовых узлов, используемое в математических моделях (например, длина и ширина посадочных мест приборов, размеры сотопанелей), хранится в параметрическом виде как свойства соответствующих типовых узлов. В то же время каждому типовому узлу можно назначить более подробный чертеж, который будет отображаться в графическом окне и может использоваться конструктором, например, при компоновке КА.

2. Пользовательский интерфейс для заполнения базы данных

Пользовательский интерфейс системы предназначен для задания исходных данных, создания компоновочной схемы КА, геометрической модели и параметров функционирования КА и его узлов.

В качестве графического ядра используется библиотека OpenCASCADE.

Пользовательский интерфейс (рис. 2) представлен набором окон. В окне «Менеджер БД» в виде дерева узлов представлена компоновочная схема спутника. Через контекстное меню узлов можно добавлять или удалять типовые узлы или редактировать имеющиеся. При выборе компоновочного узла появляется окно, показывающее его координаты относительно родительского узла и окно, показывающее параметры типового узла. Таким образом, каждое окно предназначено для отображения информации о текущем компоновочном узле конструкции КА (сотопанель модуля полезной нагрузки (МПН) на рис. 2), которая содержится в БД ИС «Градиент». В графическом окне отображается трехмерный вид редактируемого компоновочного узла и всех его дочерних узлов.

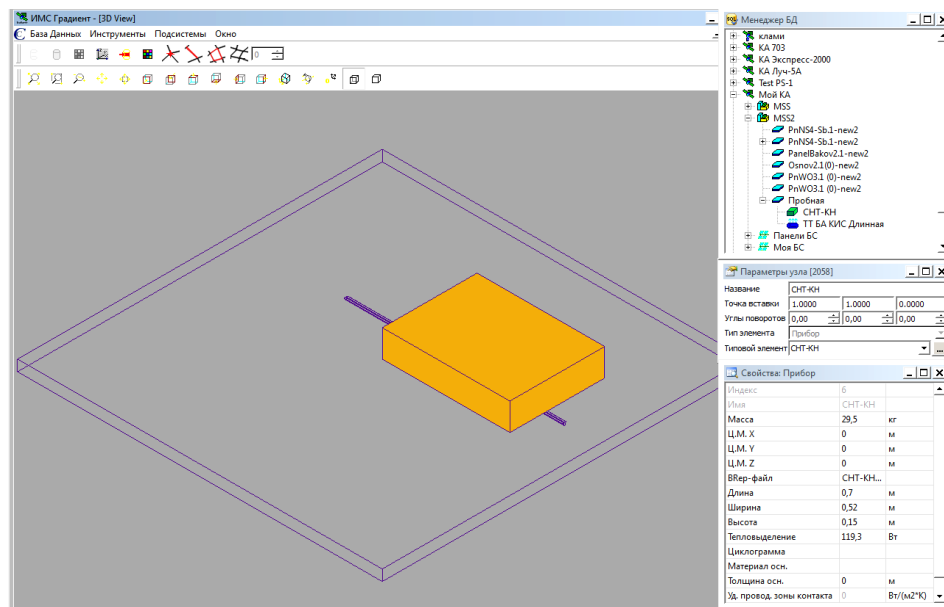


Рис. 2. Типовой узел «Панель» с прибором и тепловой трубой

Интерфейс на основе единого графического ядра позволяет:

- создавать, модифицировать и удалять типовые элементы конструкции КА;
- включать новые узлы в компоновку спутника и изменять их расположение;

- работать с архивом модулей;
- задавать граничные, начальные условия и параметры расчетов;
- вызывать расчетные подсистемы и отображать результаты проведенных расчетов.

На рис. 2 показан типовой узел «Панель», на которую поставлен типовой узел «Прибор» и в которую проложен типовой узел «Тепловая труба» в рамках оболочки «Градиент», а в правом нижнем углу показаны свойства типового узла «Прибор». В математической модели ИМС используются следующие параметры приборов:

- длина и ширина (м) – задают геометрические размеры посадочного места прибора;
- тепловыделение (Вт) – суммарное тепловыделение прибора, равномерно распределяется по посадочному месту [2];
- циклограмма – если указана, то используется для задания переменного во времени тепловыделения вместо предыдущего параметра.

Для задания или редактирования циклограммы прибора вызывается диалог «Выбор и редактирование: Циклограммы» (рис. 3).

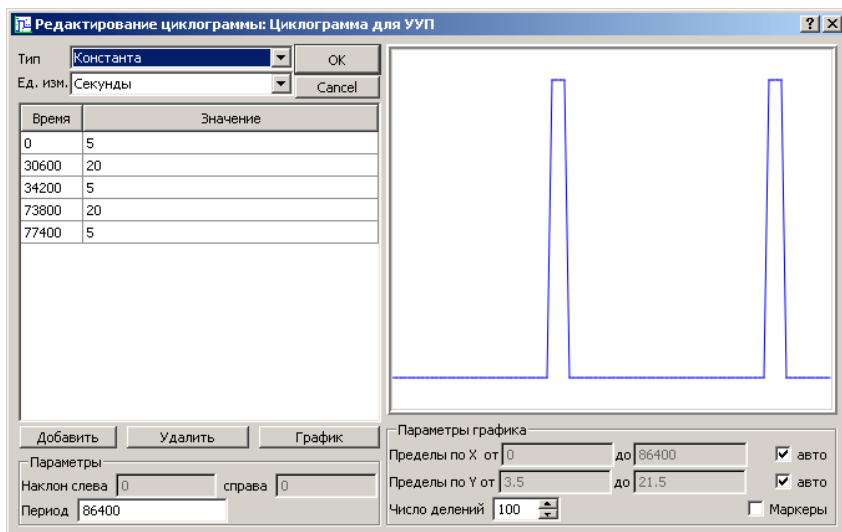
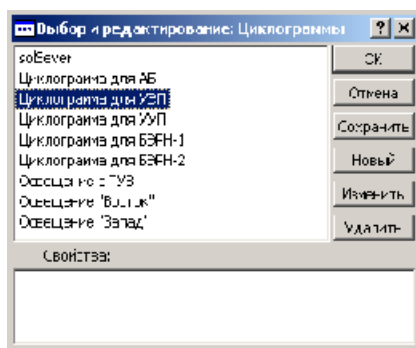


Рис. 3. Выбор (вверху) и редактирование (внизу) циклограмм

Циклограммы хранятся в отдельной таблице БД и могут быть следующих типов:

- константа, при этом тепловыделение остается постоянным между точками циклограммы (рис. 4);
- линейная, при этом тепловыделение изменяется линейно между точками циклограммы;
- сплайн, при этом строится кубический сплайн по точкам циклограммы и наклонам слева и справа;
- функция, при этом тепловыделение между точками циклограммы меняется по аналитической заданной функциональной зависимости. Функциональная зависимость должна быть записана относительно переменной t , с использованием стандартных математических операций (+, -, /, ×, ...) и функций (sin, cos, log, exp, sqrt, ...).

3. Результаты тестового расчета

Численно тепловая модель элементов конструкции реализуется методом конечных элементов. Один из результатов расчета нестационарного теплового поля для задачи, описанной в [3], приведен на рис. 4.

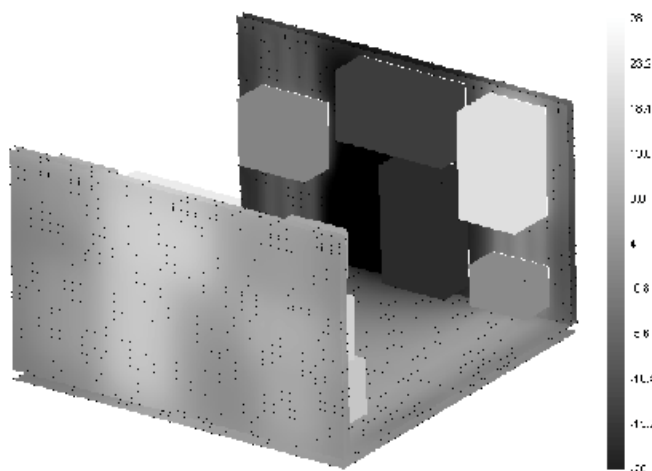


Рис. 4. Температурное поле отсека КА с системой терморегулирования на основе нерегулируемых тепловых труб в момент $t = 6$ ч

Разбиение на конечные элементы обшивок сотопанелей производится таким образом, чтобы точно учесть границы приборов, радиационных поверхностей и полок тепловых труб. Для моделирования кондуктивного теплообмена в обшивках панелей используются двумерные элементы первого порядка. Радиационное остывание реализуется набором нелинейных двумерных элементов радиационного теплообмена. Теплообмен в сотозаполнителе моделируется одномерными элементами, соединяющими соответствующие узлы верхней и нижней обшивок. Конечно-элементная модель тепловой трубы строится из массового элемента, представляющего собой область пара, набора двумерных элементов контактного теплообмена, обеспечивающих теплообмен с обшивкой, и одномерных элементов для теплообмена в связке труб.

Более подробное описание математической модели теплообмена сотопанели с приборами и нерегулируемыми тепловыми трубами, конечно-элементной модели и результаты расчетов приведены в [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутов В.Г., Васенина Т.В., Кожухов В.П. и др. Интегрированная система «Градиент» проектирования элементов конструкций космических аппаратов // Изв. вузов. Физика. 2007. Т. 50. № 9/2. С. 218–222.
2. Бутов В.Г., Васенина Т.В., Кожухов В.П. и др. Тепловая математическая модель модуля негерметичного приборного отсека геостационарных космических аппаратов // Совместный выпуск по материалам Международной конференции «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании» Вычислительные технологии. Т. 13. Вестник КАЗНУ им. Аль-Фараби. Серия математика, механика, информатика. Алматы – Новосибирск, 2008. № 3. С. 332–337.
3. Бураков В.А., Корчагин Е.Н., Кожухов В.П. и др. Тепловая математическая модель U-образного блока негерметичного приборного отсека геостационарных космических аппаратов // ИФЖ. 2007. Т. 80. № 6. С. 9–17.
4. Бутов В.Г., Васенина Т.В., Кожухов В.П. и др. Тепловой анализ негерметичного приборного отсека космических аппаратов // Изв. вузов. Физика. 2010. № 12/2. С. 49–54.

Статья поступила 10.10.2011 г.

Butov V.G., Vasenina T.V., Kuvshinov N.E., Ovechkin G.I., Yashchuk A.A. DATABASE ORGANIZATION FOR NUMERICAL SIMULATION OF TEMPERATURE FIELDS OF THE ELEMENTS OF SPACECRAFT DESIGN. A specialized multifunctional Gradient CAD-CAE-system which is intended, in particular, for numerical simulation of temperature fields of promising design elements of communication satellites is developed. In the process of creation of a design-assembly scheme of the spacecraft, the database of design elements and their physical properties is used. For a given geometric model of the spacecraft and its physical parameters, the calculation is carried out for multi-dimensional unsteady temperature fields and steady-state temperature of structural elements and the spacecraft as a whole with allowance for external heat flows at specified intervals and on a given orbit.

Keywords: database; numerical simulation; temperature fields; integrated system; space satellite.

BUTOV Vladimir Georgievich (Tomsk State University)

E-mail: bvg@niipmm.tsu.ru

VASENINA Tatyana Veniaminovna (Tomsk State University)

E-mail: tvv@niipmm.tsu.ru

KUVSHINOV Nikolay Evgen'evich (Tomsk State University)

E-mail: kvshn@niipmm.tsu.ru

OVECHKIN Gennadiy Ivanivich

(The JSC “Academician M.F. Reshetnev “Information Satellite Systems“)

E-mail: loganov@iss-reshetnev.ru

YASHCHUK Aleksey Aleksandrovich (Tomsk State University)

E-mail: rainbow@niipmm.tsu.ru