



## ► PATRAN-SINDA-MSC THERMICA – СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОРБИТАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО АНАЛИЗА КОНСТРУКЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

**П**роектирование современной сложной конкурентоспособной техники немыслимо без проведения комплекса натуральных и виртуальных испытаний. Если дело касается проектирования космического аппарата (КА), то возникает ряд трудностей при подготовке и проведении испытаний, в первую очередь связанных с адекватным моделированием той среды, тех условий, при которых будет функционировать изделие.

Среди виртуальных исследований изделия, наряду с прочностными статическими и динамическими испытаниями, довольно существенную роль играют тепловые расчеты. Находящийся на орбите КА подвержен очень сильным тепловым нагрузкам. Для его нормального функционирования на орбите необходимо обеспечить тепловой режим аппарата в достаточно жестких ограничениях, связанных прежде всего с работоспособностью его электронной начинки. Поэ-

тому для достоверной оценки характеристик изделия на всех этапах его работы должен быть проведен комплекс исследований тепловых режимов КА. Для выполнения этой задачи необходим качественный программный инструмент, позволяющий построить адекватную тепловую модель КА и выполнить комплекс расчетов виртуальной модели изделия в условиях максимально приближенных к орбитальным.

Корпорация MSC Software имеет долгую историю и богатый опыт разработки ПО для проектирования изделий, в частности, их прочностного анализа, оценки динамики конструкции, исследования тепло-прочностного нагружения и отклика конструкции на него. Пятьдесят лет назад история MSC Software началась с разработки системы прочностного анализа конструкций для NASA на основе метода конечных элементов – NASTRAN. За полвека возможности этой системы выросли многократно. Сейчас это ком-

### О корпорации MSC Software

MSC Software в этом году исполнилось 50 лет и на протяжении своей полувековой истории компания разрабатывает программное обеспечение для производителей космической, авиационной, автомобильной и железнодорожной техники, медицинского и энергетического оборудования. Программные решения MSC Software широко используются в судостроении, вертолетостроении, двигателестроении, электронной промышленности и биомедицине.

С помощью программных продуктов компании предприятия в кратчайшие сроки и с минимальными издержками выводят на рынок высокотехнологичные изделия, обладающие высочайшими эксплуатационными характеристиками и отвечающие самым строгим требованиям по безопасности и ресурсу.

MSC Software постоянно совершенствует существующую линейку расчетных инженерных комплексов и предлагает абсолютно новые подходы для решения все более сложных инженерных задач, обеспечивающие предприятиям еще большую конкурентоспособность их продукции.

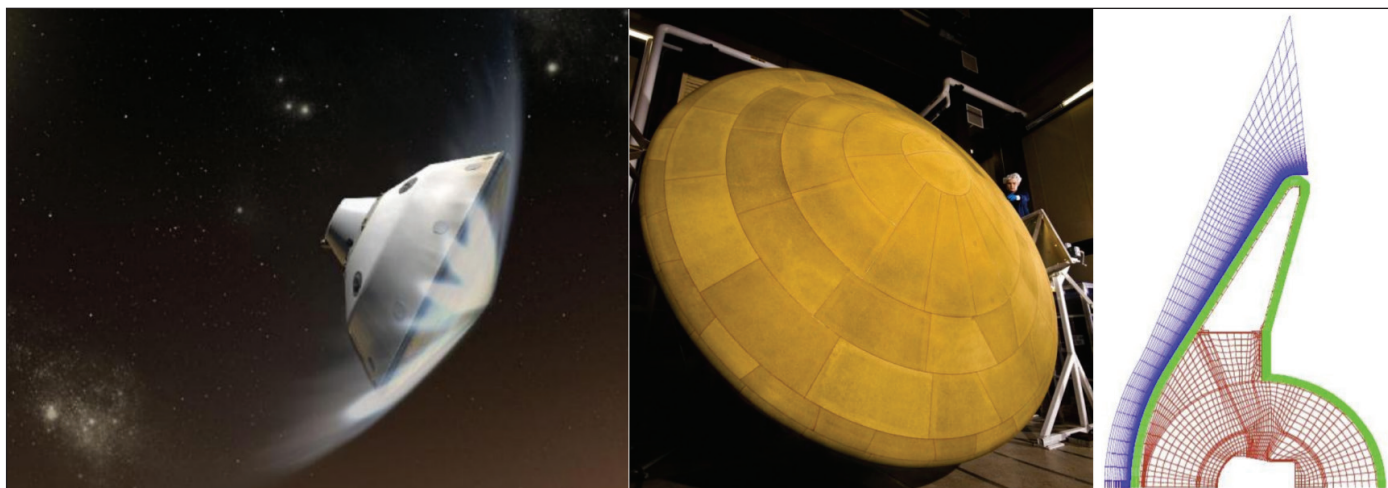


Рис. 1. Теплозащитный экран спускаемого аппарата миссии Curiosity

мерческий продукт с узнаваемым именем — MSC Nastran. С момента своего появления и до сих пор эта система во многих отраслях является лидирующей, а в авиационной и космической — признанным технологическим стандартом. Чтобы картина предоставляемых программным обеспечением MSC Software возможностей была полной, прежде чем говорить о специализированных системах теплового анализа Sinda и MSC Thermica, рассмотрим основные системы, которые содержат инструменты теплового анализа конструкций.

### Особенности тепловых модулей MSC Nastran и Marc

MSC Nastran имеет в своем арсенале инструментарий для выполнения теплового анализа конструкций, а также связанного тепло-прочностного анализа. Расчет выполняется методом конечных элементов. В тепловом модуле MSC Nastran для моделирования и анализа доступны все основные режимы теплопередачи в конструкции: теплопроводность, естественная и вынужденная конвекция, течение в канале с теплообменом жидкости со стенками конструкции (адвекция), а также теплопередача за счет излучения. Имеется возможность решать задачи и в трехмерной, и в плоской осесимметричной постановках. Последнее особенно важно, так как при определенных условиях позволяет существенно снизить размерность задачи, повысить точность ее решения и при этом сократить общее время счета.

Помимо MSC Nastran в линейке программных продуктов MSC Software имеются и другие системы, позволяющие выполнять тепловой расчет. К ним относятся Marc и Sinda.

Так же как и MSC Nastran, конечно-элементная система Marc изначально ориентирована на решение задач с высокой степенью нелинейности, а кроме того, имеет специализированный тепловой модуль, позволяющий решать широкий спектр тепловых, тепло-прочностных, связанных тепло-магнито-прочностных задач. Так же как и в MSC Nastran, в Marc доступны для анализа основные режимы теплообмена: теплопроводность, конвекция, излучение. Помимо этого, тепловой модуль Marc имеет ряд особенностей. К ним можно отнести возможность анализа теплового излучения с применением нескольких вариантов сэмпинг-методов, метод Монте-Карло, Hemicube, Hemisphere, а также анализ режимов термодиффузии, пиролиза, абляции в 3D-постановке, анализ индукционного нагрева и другие. Технология трехмерного моделирования и анализа процесса абляции в Marc, в частности, активно применялась при проектировании теплозащитного экрана спускаемого аппарата миссии Curiosity (рис. 1).

Однако наибольший спектр возможностей по тепловому анализу конструкций космической тематики, в частности, КА, с учетом его движения по орбите и выполнения сложных межпланетных миссий предоставляет сочетание программных продуктов Sinda, Patran и MSC Thermica (рис. 2).

### Patran – единый пре- и постпроцессор для подготовки моделей и обработки результатов расчетов

Patran является универсальным (среди программных продуктов MSC Software) пре- и постпроцессором для решателей

MSC Nastran, Marc, Sinda и др. В качестве препроцессора Patran позволяет импортировать геометрические модели из большого числа известных коммерческих CAD-систем и из большинства стандартных форматов обмена геометрическими данными. Кроме того, он дает возможность выполнять вспомогательные операции над геометрией, генерировать конечно-элементную сетку, а также готовить конечно-элементную модель для последующего анализа в выбранном решателе. В качестве постпроцессора Patran позволяет загружать и обрабатывать результаты расчетов из решателей, отображать их в наиболее удобном для пользователя виде, строить графики, изображения и анимации, а также сравнивать результаты расчетов и генерировать отчеты. Patran позволяет максимально использовать подготовленную для одного решателя модель для выполнения последующего расчета в другом решателе, более того, результаты расчета в одном решателе могут быть применены в Patran как нагрузки и граничные условия для подготовки модели и решения задачи в другом решателе. По сути, Patran является универсальной графической средой пользователя, с помощью которой можно решать комплексные междисциплинарные задачи.

### Sinda – специализированный тепловой решатель

Sinda появилась в конце 60-х годов прошлого века под именем SINDA/G. Ее разработчик — компания Network Analysis Corp. — положил в основу работы новой системы метод Джерри Гаски: SINDA/G — Systems Improved Numerical Differencing Analyzer by Gaski. В 2008 году Network Analysis Corp. вошла в состав



MSC Software и тогда программный продукт получил свое современное название — Sinda.

Пакет Sinda является модульным специализированным решением, состоящим непосредственно из теплового решателя Sinda, собственного специального внешнего решателя диффузного излучения SindaRAD, который предназначен для расчета угловых геометрических коэффициентов (viewfactors) в моделях с внутренними камерами и отсеками для оборудования. Модели для решателя Sinda можно готовить в Patran. Для подготовки простых моделей и правки любых ранее созданных моделей может использоваться простой, но в то же время очень эф-

фективный текстовый пре- и постпроцессор Thermal Studio. Модуль Sinda Patran Plug-in предназначен для взаимодействия Patran и решателя Sinda и обеспечивает трансляцию модели из внутреннего представления Patran в формат входного файла решателя.

Sinda использует в своей работе не метод конечных элементов, как MSC Nastran и Marc, а метод конечных разностей, построение тепловых сетей (RC-Network, рис. 3) и метод сосредоточенных параметров. Эти подходы в совокупности позволяют тепловому решателю Sinda выполнять расчет быстрее и эффективнее. Входной файл Sinda оформляется в виде текстового файла, содержащего структу-

рированную информацию о модели. Sinda имеет широкий спектр организованных в библиотеке специальных подпрограмм для вызова их в ходе решения задачи. Пользователь может вносить изменения в модель в оперативном режиме непосредственно во входном файле, в том числе вызывая необходимые подпрограммы на языке программирования Fortran. Это обеспечивает непревзойденную гибкость процесса подготовки и отладки модели для теплового расчета — пользователь очень быстро вносит изменения в модель, повторно запускает ее для расчета, получает результат, оценивает его. Собственные пользовательские подпрограммы могут быть добавлены в

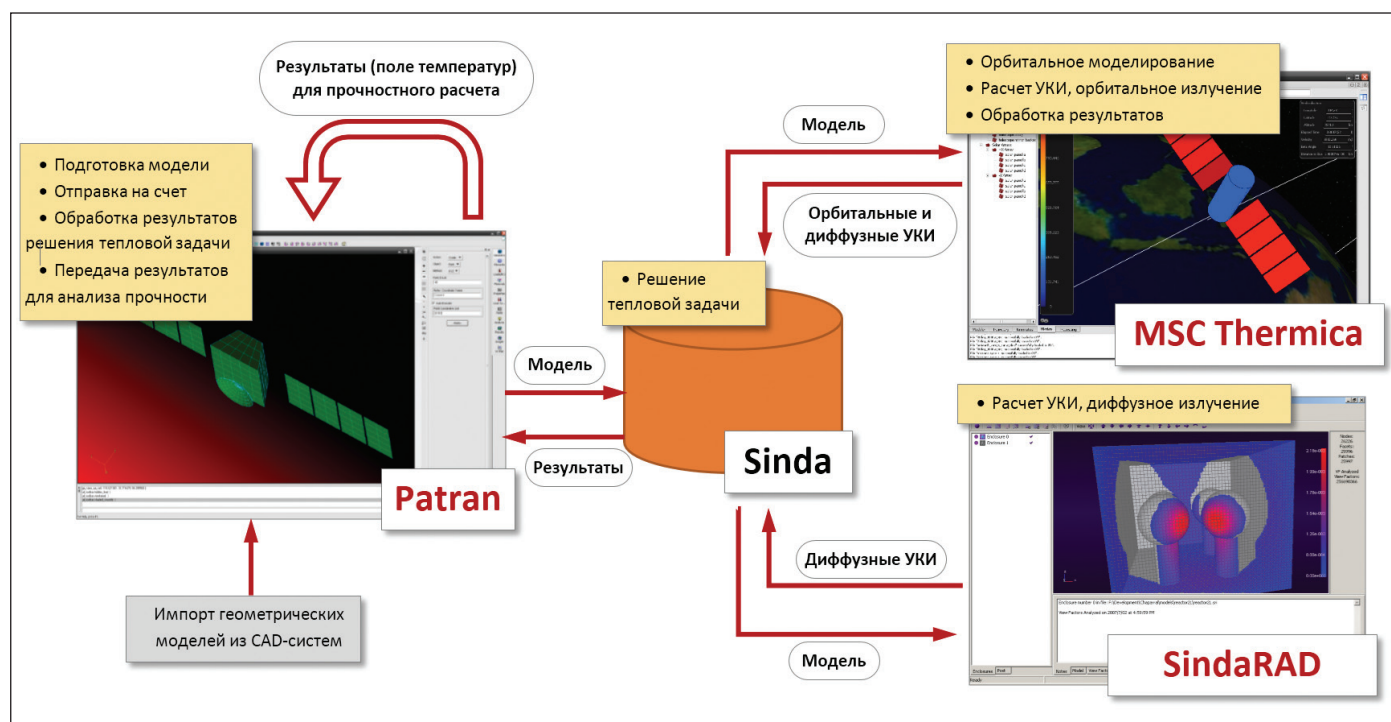


Рис. 2. Специализированный комплекс орбитального теплового анализа конструкции КА

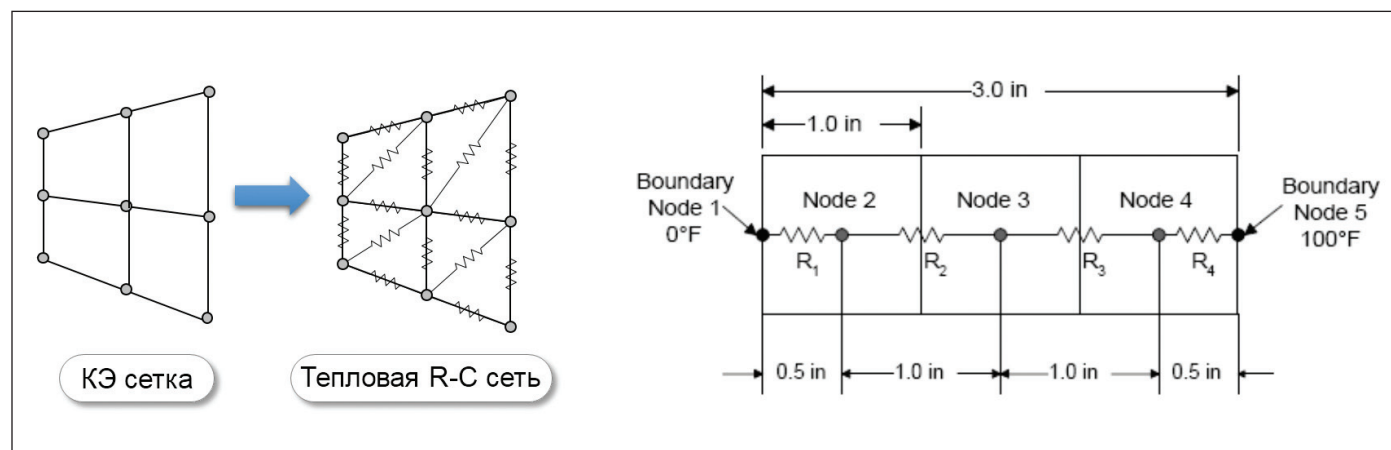


Рис. 3. Метод сосредоточенных параметров и построение RC-Network



расширяемые библиотеки или же вызываться напрямую из входного файла.

Sinda позволяет выполнять тепловой анализ конструкций на все виды теплопередачи: теплопроводность, свободная или вынужденная конвекция, адвекция, излучение. В Sinda доступен учет таких эффектов, как абляция и термоконтакт между одномерными, двумерными и трехмерными телами. Возможна визуализация контактных проводников (рис. 4). Расширяемые библиотеки полных тепловых характеристик твердых материалов и жидкостей/газов, а также

специализированные подпрограммы Sinda позволяют существенно сократить время подготовки модели к расчету. В качестве примера приведем подпрограмму расчета параметров тепловой трубки с переменной проводимостью (рис. 5).

В Sinda реализована библиотека из 44 корреляционных схем для вычисления коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  (или  $h$  в западной литературе), которая существенно сокращает время выполнения тепловых расчетов с учетом конвекции. Коэффициент теплоотдачи является по-

казателем интенсивности теплообмена между стенками конструкции и окружающей ее средой. Коэффициент теплоотдачи зависит от многих параметров: характеристик среды, которая окружает конструкцию, скорости течения, вида течения — турбулентное, ламинарное, переходное, а также от формы и протяженности конструкции.

Точные значения коэффициента теплоотдачи определяются решением уравнений газодинамики, в частности, уравнений Навье-Стокса, то есть требуют решения задачи гидрогазодинамики с помощью специализированных программных систем. Точное решение весьма длительное (часы, дни, недели!), а требования к подготовке модели и особенно к машинным ресурсам чрезвычайно высоки.

С практической точки зрения для решения тепловых задач часто высокая точность коэффициента теплоотдачи не нужна, наоборот, в процессе проектирования важно в кратчайшие сроки провести максимальное число вариантных исследований различных конфигураций изделия с различными условиями нагружения, пусть даже с несколько меньшей точностью.

Библиотека корреляционных схем в Sinda является как раз тем инструментом, который позволяет в ходе подготовки модели и решения задачи получать приближенные, вычисленные посредством корреляционных формул и харак-

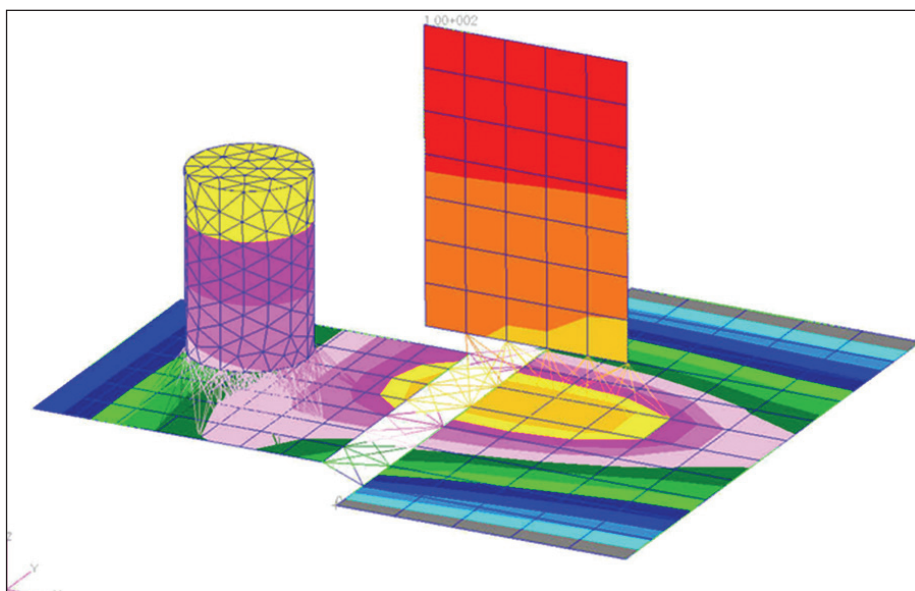


Рис. 4. Термоконтакт между одномерными, двумерными и трехмерными элементами и его визуализация

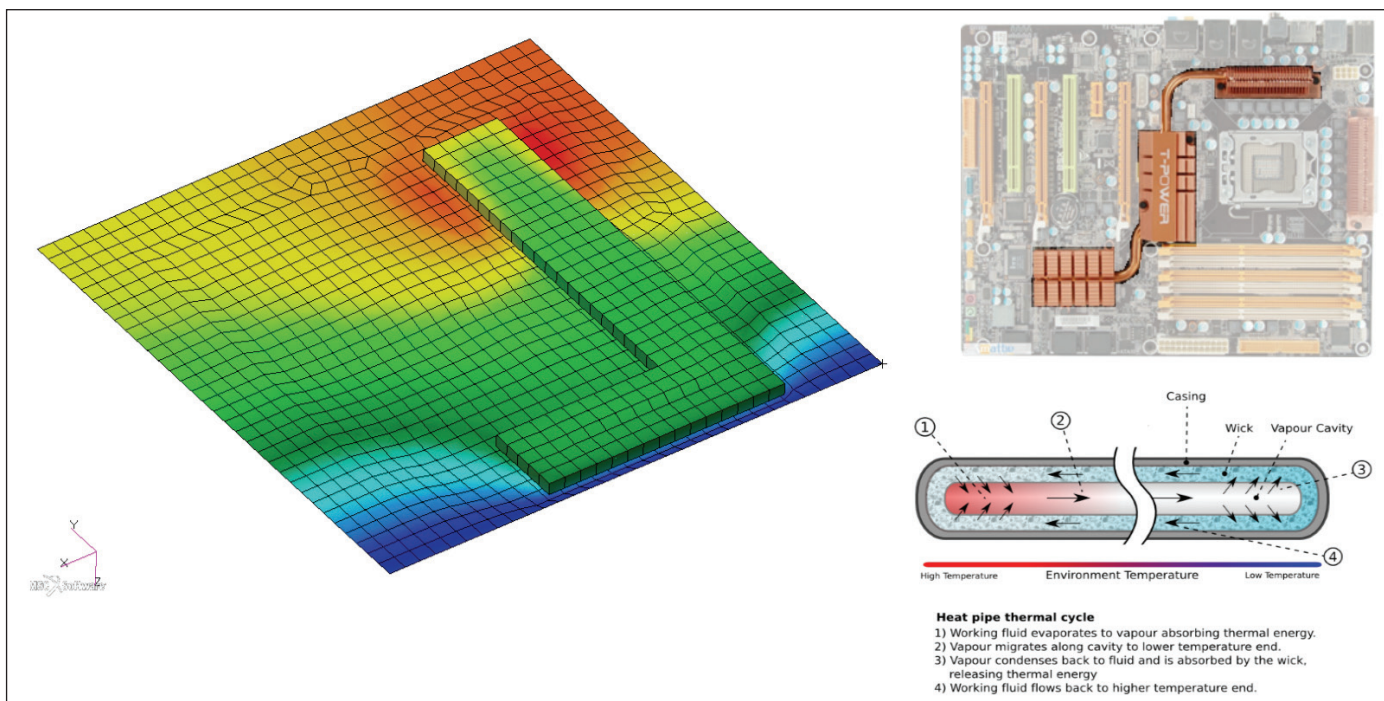


Рис. 5. Моделирование и расчет тепловых трубок



теристических чисел значения коэффициента теплоотдачи (рис. 6).

### MSC Thermica – состав, назначение, возможности и основные принципы работы

MSC Thermica (на базе Systema™ и Thermica™ EADSAstrium) – это специализированный программный комплекс для моделирования орбитального поведения космических аппаратов, проектирования космических миссий (программ полета КА), а также для анализа геометрических коэффициентов излучения поверхностей КА при движении по орбите с учетом конкретного положения, ориентирования, теней и полутеней от планет, альбедо (влияния вторичного излучения отраженной солнечной энергии от поверхностей планет и их спутников), времени года и т.д.

Программный комплекс MSC Thermica включает в себя базовую программную платформу и графическую среду пользователя – Systema и непосредственно MSC Thermica – набор узкоспециализированных модулей (плагинов) для выполнения расчетов или взаимодействия с внешними программами, такими, например, как тепловой решатель Sinda (рис. 7).

MSC Systema – основная среда для моделирования космической миссии КА, построения траектории движения, кинематической модели, а также средство для создания и редактирования специализированных процессов расчета характеристик КА.

MSC Thermica – набор прикладных модулей к Systema, предназначенный для трансформации геометрической модели из Systema в математическую модель для выполнения теплового расчета КА, движущегося по орбите или по межпланетной траектории. Тепловым решателем для MSC Thermica является Sinda. Модуль взаимодействия теплового решателя Sinda и пре-/процессора Patran – Sinda Patran Plug-in – интегрирован с MSC Thermica. Поэтому подготовленные в Patran и отправленные на расчет в Sinda тепловые модели автоматически могут быть переданы в MSC Thermica для расчета геометрических коэффициентов излучения (ГКИ, viewfactors). В свою очередь, результаты расчета ГКИ в MSC Thermica могут быть переданы в Sinda для теплового расчета конструкции КА.

Systema имеет современный графический пользовательский интерфейс, содержащий наборы инструментов для по-

строения модели и оперирования с ней, которые разбиты на пять основных вкладок-модулей – Modeler, Trajectory, Kinematics, Mission и Processing – в соот-

ветствии с основными этапами процесса моделирования поведения аппарата на орбите. Модули, несмотря на разделение, тесно связаны между собой.

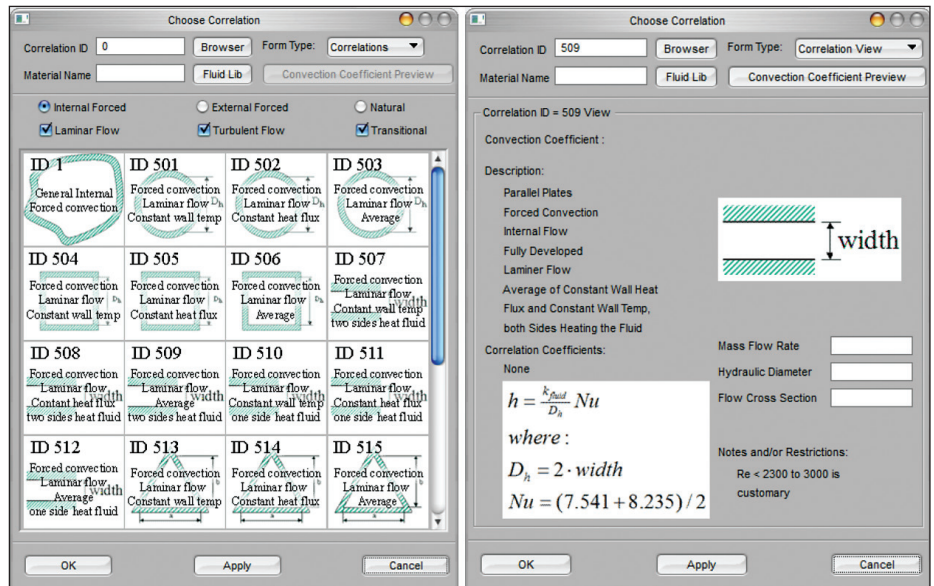


Рис. 6. Библиотека корреляционных схем Sinda

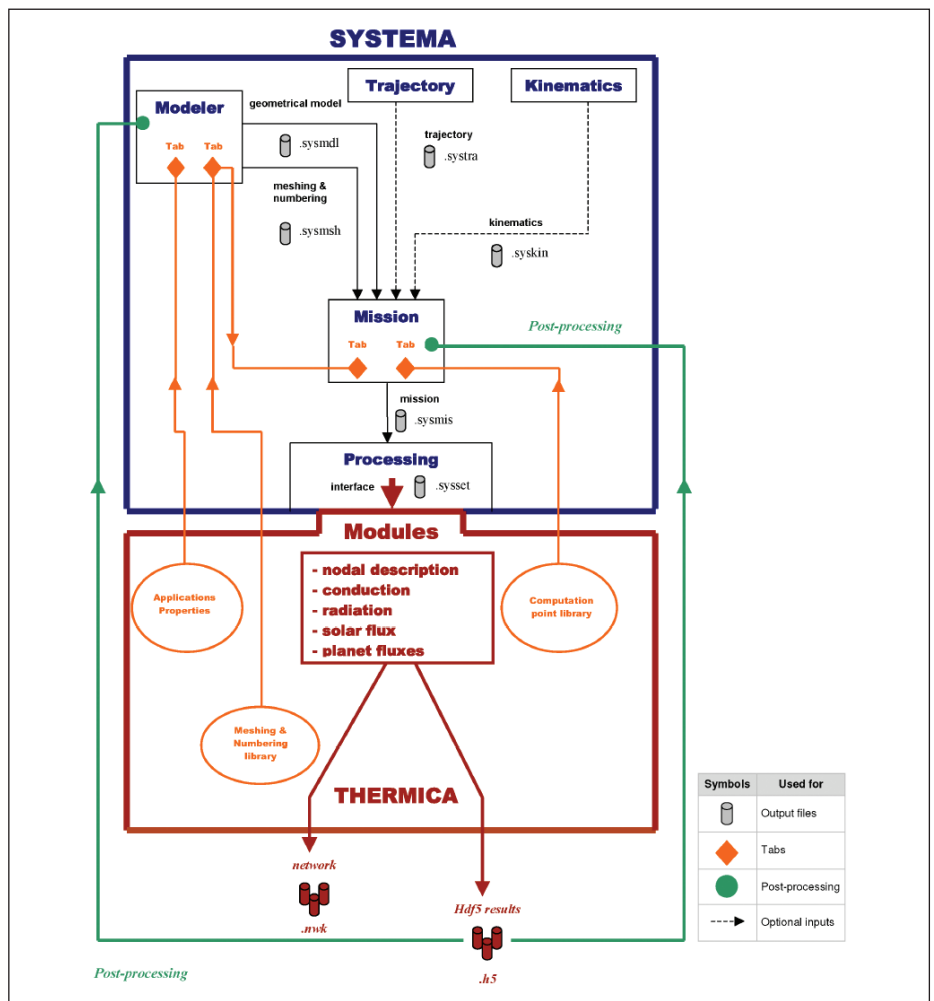


Рис. 7. MSC Systema и MSC Thermica

**Modeler** — это интерактивный пакет инструментов, предназначенных для построения расчетной геометрической модели (Model) (рис. 8), генерации параметрической сетки (Mesh) на геометрической модели для последующей трансляции ее в узловую модель, которая передается на расчет, и задания физических свойств на модели с возможностью назначить нужный материал или покрытие из библиотеки материалов (Material).

Моделлер имеет широкий набор инструментов для создания геометрической модели из описанных параметрически поверхностей непосредственно в среде Systema. Также используя скриптовый язык программирования Python, пользователь может автоматизировать создание

и позиционирование повторяющихся участков модели.

Systema Modeler позволяет импортировать файлы с геометрическими моделями из CAD-систем через стандартный формат обмена геометрической информацией — STEP AP203. Помимо этого, моделлер может импортировать модели в форматах входного файла MSC Nastran, I-Deas или IGES, а также в собственных стандартных форматах SYSBAS и SYSEXP предыдущих версий Systema.

Моделлер позволяет работать одновременно с несколькими моделями, полученными из разных форматов. Каждая из них имеет не только графическое представление, но и дерево модели. Доступны стандартные операции копирования и вставки для любой части моде-

ли. Графический интерфейс пользователя легко настраивается для комфортной работы с максимальной рабочей площадью, доступны полноэкранный и многодисплейный режимы.

Для повышения производительности труда пользователя с моделью предусмотрены возможности построения различных вспомогательных геометрических элементов: точек, линий, пересечений линий, центра дуги, середины отрезка и т.д.

Отдельные элементы модели наследуют свойства, определенные для частей модели. Если необходимо, пользователь может легко устанавливать специфичные свойства для отдельных элементов модели.

В Systema вычислительной единицей являются узлы, а для формирования узлов используется понятие сетки (Mesh). Сетка в Systema всегда параметрическая и разбивает поверхности, из которых состоит геометрическая модель, на отдельные элементы. Затем при выполнении расчета каждый элемент сетки приводится к узлу, и задача решается с помощью метода сосредоточенных параметров. Результаты расчета могут быть выведены на сетку, но не на геометрическую модель.

**Trajectory** — это модуль задания траектории, который представляет собой легкий в освоении и удобный в использовании построитель траекторий полета КА различной сложности. Пользователь может настраивать конфигурацию планет Солнечной системы, Солнца и Луны в любой комбинации, необходимой для задачи. Это позволяет строить траектории не только для движения КА по орбите вокруг планеты, но и сложные комбинированные межпланетные траектории (рис. 9).

Модуль Trajectory предоставляет набор типовых космических орбит: Кеплера, гелиоцентрические, геостационарные, Ariane 5 GTO или таблично-заданные в виде "время-позиция-скорость". Эти орбиты могут быть использованы как основа для создания комплексной траектории КА для дальнейшего анализа. Имеется возможность импорта траектории из ранее созданного файла этого модуля или же созданного в других специализированных системах, например, STK.

Systema имеет широкие функциональные возможности по визуализации модели, траектории, отслеживанию ориентации КА на этой траектории с учетом положения всех объектов, участвующих в описании задачи. При необходимости

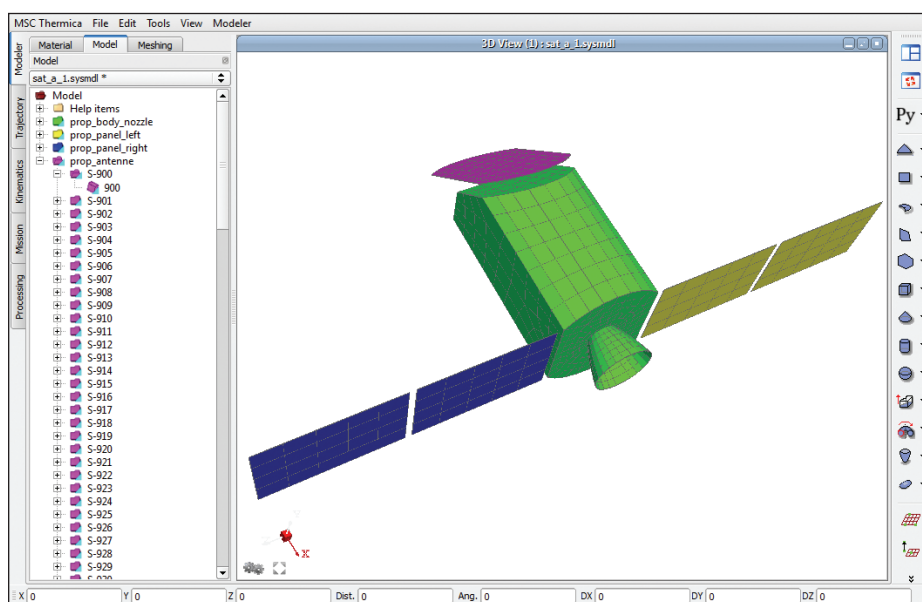


Рис. 8. MSC Systema Modeler: режим отображения геометрической модели (Model)

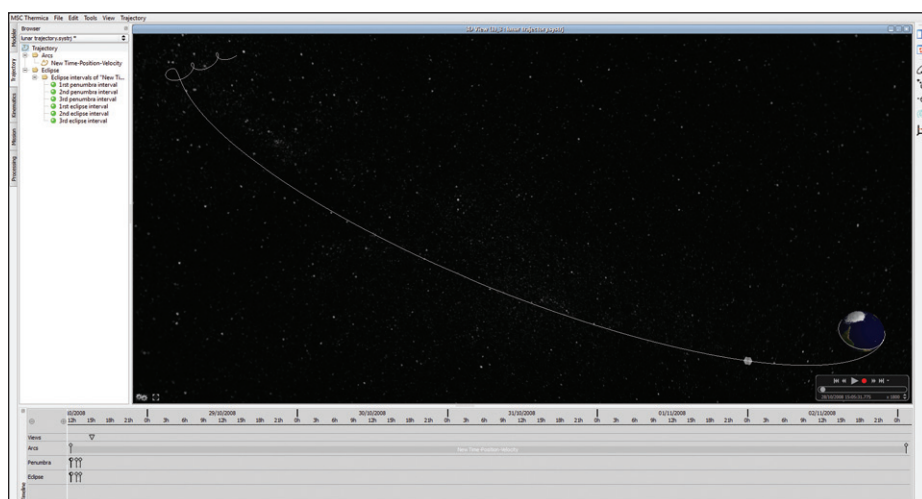


Рис. 9. MSC Systema Trajectory: пример составной траектории с Земли на Луну



могут быть отображены орбиты планет, их названия, конус тени.

Имеются мощные возможности для анимации процесса движения аппарата по траектории с учетом особенностей и возможностью вывода рассчитанных параметров. Пользователь может менять скорость проигрывания движения по орбите, ракурс, масштаб. Анимацию процесса движения аппарата можно сохранять в видеофайлах высокого разрешения (поддерживается формат HD). Автоматически рассчитываются и выводятся на шкале времени интервалы попадания аппарата в тени (eclipse) и полутени (penumbra) от планет.

**Kinematics** — это специализированный модуль для задания кинематических взаимосвязей частей КА между собой. С помощью этого модуля пользователь может построить дерево кинематических тел, в котором описаны все кинематические взаимные связи частей конструкции. Кинематические тела описываются в Systema независимо от геометрии. Каждое тело связано с родителем/потомком посредством стандартных кинематических связей (ось, шаровое соединение, шарнир и т.п.).

Описание кинематических связей в модели не ограничено их стандартными типами. Законы движения одних частей относительно других могут быть связаны и уравнениями различной сложности, заданными пользователем. Например, моделирование процесса раскрытия составной панели солнечных батарей КА, — каждая панель в момент раскрытия совершает сложное пространственное движение относительно корпуса КА. Кинематический модуль позволяет использовать большой набор классических законов позиционирования и слежения за объектами на каждом участке траектории (например, солнечная батарея отслеживает направление на солнце, а блок целевой аппаратуры при этом сохраняет направление на интересующий участок поверхности планеты и т.п.). Поддерживается импорт описаний законов движения из внешних файлов.

Кинематическая модель может быть визуализирована с анимацией в интерактивном 3D-режиме для проверки правильности описания законов движения и кинематических связей (рис. 10).

**Mission.** Этот модуль позволяет собрать воедино всю разнородную информацию о модели (геометрическую модель, траекторию, кинематическую модель) для формирования полного сценария поведения аппарата на орбите. Затем этот

сценарий используется для вычисления характеристик в расчетном модуле Processing. Модуль Mission также управляет связями между кинематическими телами и геометрическими объектами.

После того как все компоненты собраны в описании миссии, расчетный сценарий поведения аппарата на орбите может быть наиболее полно визуализирован в графическом виде с учетом позиционирования КА, его конфигурации на каждом участке траектории и относительных движений элементов конструк-

ции вследствие наложенных кинематических связей. Геометрическая модель позиционируется на траектории и действует в соответствии с ассоциированной кинематической моделью (рис. 11).

Так же как и для моделилера, в режиме миссии в реалистичном окружении можно отобразить результаты расчетов и анимацию движения аппарата, а также сохранить их в виде видеофайлов высокого качества.

**Processing.** Этот модуль предназначен для описания расчетного процесса. Он

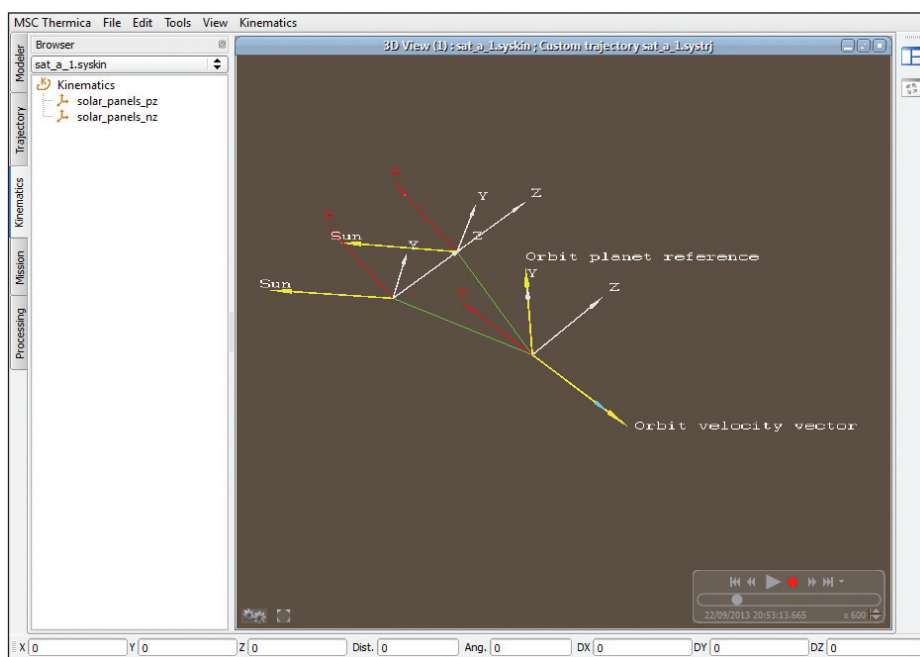


Рис. 10. MSC Systema Kinematics: пример кинематической схемы орбитального телескопа

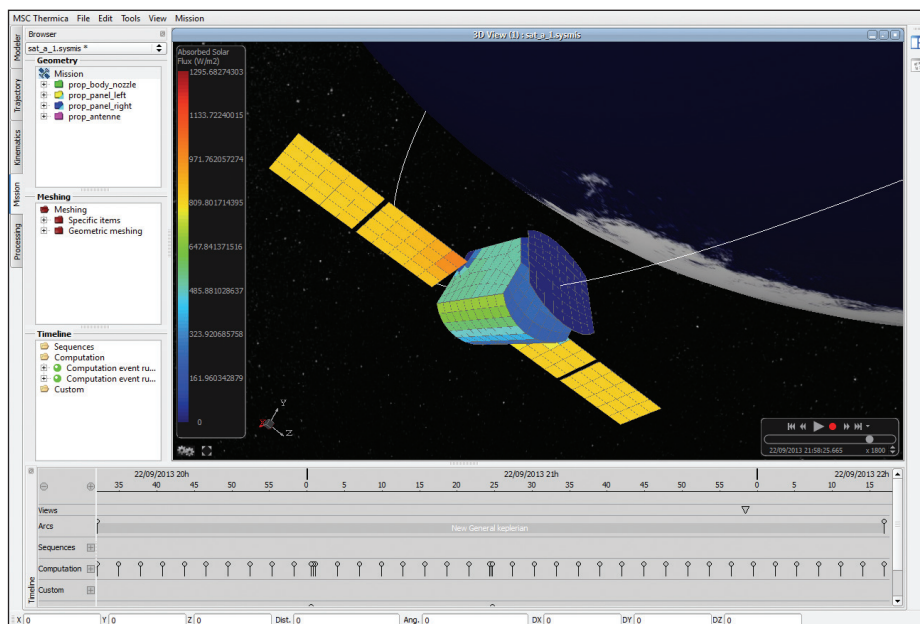


Рис. 11. MSC Systema Mission: вывод результатов, поглощенный солнечный поток

позволяет пользователю, применяя модульный подход и построение блочной схемы, описать расчетный процесс, сохранить его и запустить на расчет. В описании процесса пользователь задает, какие модули должны выполняться при расчете конструкции, их очередность, входные данные и параметры, а также определяет, какие необходимо получить типы результатов (рис. 12).

**MSC Thermica.** Благодаря модульной архитектуре Systema пользователь может связать цепочку расчетных блоков для задания комплексного расчетного процесса. Расчетные блоки в модуле Processing – это набор плагинов MSC Thermica.

Задача MSC Thermica – трансляция комплексного геометрического описания со специфичным тепловым окружением в узловую модель для последующего теплового расчета методом сосредоточенных параметров (RC-Network). Между узлами, представляющими участки поверхности конструкции, автоматически прокладываются виртуальные тепловые проводники, образующие связи в модели (тепловая сеть). Тепловые проводники отражают характеристики конструкции с точки зрения теплопроводности. Помимо этого к модели прикладываются граничные условия в виде внешних поглощаемых тепловых потоков.

MSC Thermica выполняет все необходимые предварительные расчеты и построения для последующего расчета температурного поля на конструкции КА. Непосредственно расчет температурного

поля выполняется специализированным тепловым решателем, в качестве которого выступает Sinda.

MSC Thermica состоит из следующих модулей:

- **Nodal\_Description** – описание узлов, характеризующих отдельные тепловые массы – участки конструкции с однородными физическими характеристиками;
- **Conduction** – описание теплопроводников, теплопроводных связей между узлами;
- **Radiation** – вычисление угловых коэффициентов излучения на узлах;
- **Solar\_Flux** – вычисление солнечных тепловых потоков, получаемых каждым узлом;
- **Planet\_Fluxes** – вычисление потоков теплового излучения от планет в инфракрасном диапазоне длин волн и переотраженных потоков от планет (альбедо), поглощаемых каждым узлом;
- **Skeleton, MSC Sinda, Sinda Interface.**

Трансляция геометрической модели в узловую тепловую сеть выполняется в следующем порядке.

**Nodal\_Description.** Геометрическая модель разбивается на несколько узлов, каждый из которых представляет типовую по форме часть конструкции, достаточно малую, чтобы с допустимой точностью выполнить тепловой расчет в предположении, что температура в любой точке на этом участке конструкции одинакова. Для каждого такого узла записывается уравнение теплового баланса. В результате для конструкции в це-

лом записывается система дифференциальных уравнений, описывающих тепловой режим этой конструкции.

В узловой схеме температуры узлов являются неизвестными переменными, от носительно которых выполняется тепловой расчет.

Задача блока Nodal\_Description – преобразовать информацию о модели в узловый вид и транслировать ее в формат теплового решателя Sinda, а также вычислить для каждого узла площадь (геометрическую и излучения), теплоемкость и основные термооптические коэффициенты –  $\alpha$  и  $\epsilon$  (коэффициенты поглощения и излучения в ИК, оптическом и УФ-диапазонах длин волн).

**Radiation.** Блок излучения основан на технике трассировки лучей Монте-Карло. Этот метод учитывает истинные геометрические формы при попадании на них лучей, а также зеркальное и диффузное отражения, проницаемость и преломление. Множество настроек модуля можно варьировать, в том числе количество пробных лучей в методе Монте-Карло, напрямую влияющее на качество результатов.

Расчет теплопроводников излучения может быть как статическим, так и динамическим в случае наличия подвижных деталей у КА.

**Solar\_Flux.** Для вычисления приходящих на КА тепловых потоков от солнца используется практически та же техника, что и в модуле излучения. Солнце может быть смоделировано как бесконечно удаленный точечный объект (параллельные лучи) или же как сфера на конечном расстоянии до КА (учет непараллельности лучей). В расчете учитываются эффекты тени и полутени в интервалах времени, вычисленных в Systema Trajectory.

**Planet\_Fluxes.** Переотраженные тепловые потоки от планет вычисляются на основе результатов расчета коэффициентов радиационного обмена между КА и площадками виртуальной сферы, описанной вокруг аппарата. Каждая площадка этой сферы проецируется на поверхность планеты для вычисления приходящих на нее тепловых потоков от планеты. Затем поток с площадки передается на узлы модели КА путем построения вспомогательных теплопроводников в ИК и УФ-диапазонах длин волн.

**Skeleton.** Это модуль, содержащий шаблон структуры входного файла решателя Sinda. Благодаря этому модулю данные, получаемые из MSC Thermica,

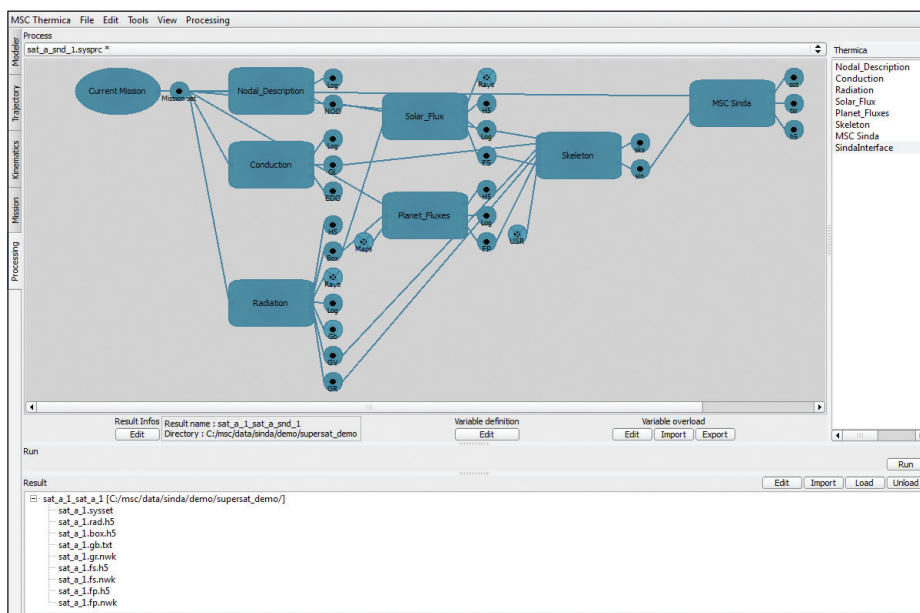


Рис. 12. MSC Systema Processing: расчетный процесс с участием Sinda



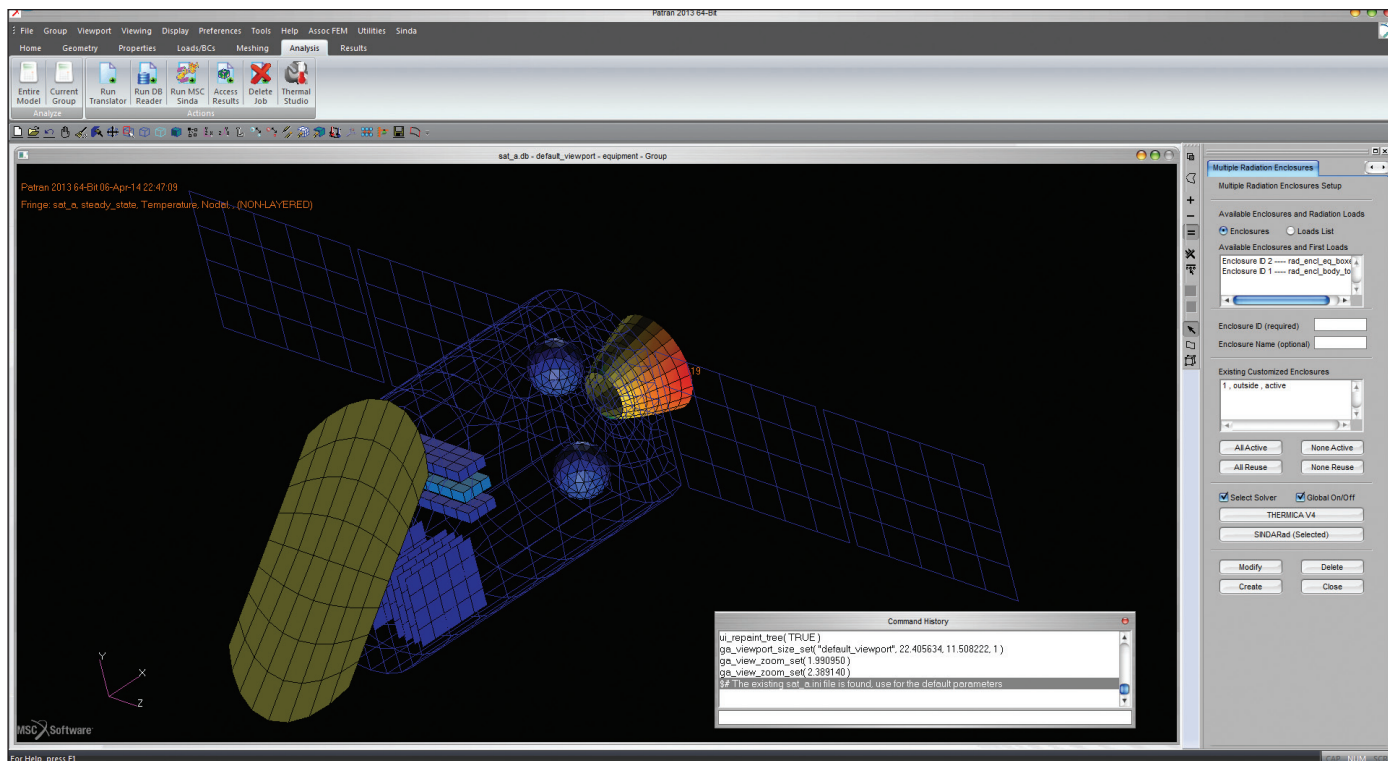


Рис. 13. Результаты теплового анализа в нескольких камерах одновременно: SindaRAD – отсек оборудования, MSC Thermica – внешние поверхности КА

транслируются в оформленный входной файл теплового решателя, который можно запустить на расчет.

**MSC Sinda.** Это модуль, отвечающий за вызов решателя Sinda и передачу ему сформированного модулем Skeleton входного файла. Здесь определяется, какие дополнительные результаты нужно получить во время теплового расчета.

**Sinda Interface.** Это модуль, отвечающий за трансляцию результатов расчета из представления теплового решателя Sinda в формат MSC Thermica. Трансляция осуществляется к двоичному формату H5.

MSC Thermica может выполнять расчет в фоновом режиме без отображения графического интерфейса пользователя, а также удаленно по сети. На компьютерах с многоядерными процессорами возможно распараллеливание расчетного процесса.

## Применение MSC Thermica

MSC Thermica является полностью идентичным Thermica (EADSAstrum) программным обеспечением. Отличие состоит лишь в условиях распространения программного продукта в различных странах мира, а также в том, что MSC Thermica комплектуется набором модулей для теплового анализа с помощью решателя Sinda.

Thermica используется компанией EADSAstrum на протяжении уже около 20 лет во многих проектах, таких как:

- Телекоммуникационные проекты: Alphabus, Amazonas, Anik, Arabsat, Hot Bird, Inmarsat, Intelsat;
- Проекты орбитальных обсерваторий: Alsat, Coms, Cryosat, Envisat, Metop, Pléiades, Rocsat, Spot, Theos;
- Проекты научных миссий: MarsExpress, VenusExpress, Rosetta, Gaia.

Помимо применения MSC Thermica для проектирования космической техники, этот программный комплекс используется для некосмических проектов, таких как электрическое и электронное оборудование, автомобили и т.п.

## Специализированный комплекс ПО для решения тепловых задач КА на орбите

Интерфейс взаимодействия Patran и Sinda обеспечивает возможность комбинирования в одном тепловом расчете сразу нескольких внешних решателей геометрических коэффициентов излучения. Например, для анализа излучения снаружи КА может использоваться MSC Thermica, а для исследования теплового режима отсека с оборудованием и полезной нагрузкой КА

может быть задействован решатель SindaRAD, обладающий высокоэффективными скоростными алгоритмами анализа диффузного излучения, характерного для таких частей аппарата (рис. 13).

Указанные программные продукты по отдельности предоставляют широкие возможности специалисту, который занимается проектированием и тепловым анализом конструкции КА на орбите. Однако необходимо отметить, что применение этих программных систем – Patran-Sinda-SindaRAD-MSC Thermica – в комплексе позволяет получить гораздо больший эффект, особенно если учесть, что результаты теплового анализа затем должны быть переданы специалистам по расчету КА на прочность.



**Александр Гумениук,**  
старший технический эксперт  
**MSC Software RUS**  
Тел.: (495) 363-0683  
E-mail: Alexander.Gumenyuk@  
MSCSoftware.com



# РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЖИЗНИ

## ПРОИЗВОДСТВО ДЕТАЛЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ АТОМНОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

### ► 3D-ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ, ОТЛИВОК И ЛИТЕЙНОЙ ОСНАСТКИ

NX Mach 2 Advanced FEM

### ► АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СЛИТКА ИЛИ ОТЛИВКИ

СКМ ЛП "ПолигонСофт"\*

### ► ПРОЕКТИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

СКМ ЛП "ПолигонСофт"

### ► ОСТАТОЧНЫЕ ТЕРМИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ЗАГОТОВКЕ

Модуль "Гук-3D"

СКМ ЛП "ПолигонСофт"

### ► СОЗДАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

InventorCAM

### ► МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СТАНКА С ЧПУ

VERICUT

### В комплект включено:

- трехмерное проектирование;
- генератор конечно-элементных сеток;
- моделирование заполнения литейной формы расплавом;
- моделирование температурных полей отливки;
- прогноз усадочных раковин, макро- и микропористости;
- расчет остаточных напряжений, прогноз образования трещин;
- традиционные и специальные литейные технологии;
- база данных по отечественным литейным сплавам и материалам литейных форм;
- лучшая техническая поддержка в России.

\* СКМ ЛП «ПолигонСофт» – торговая марка CSoft Development



Литье стального слитка в изложницу (ООО «Сименс»)

Позвоните: +7 (495) 913-2222

Напишите: [sales@csoft.ru](mailto:sales@csoft.ru)

Посетите: [www.csoft.ru](http://www.csoft.ru)