

ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕТА СВЕТОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Описывается необходимость учета действующего на поверхность космического аппарата (КА) давления солнечного света и теплового излучения Земли. Рассматривается необходимость более точного определения характерной площади КА и её применение. Описывается технология расчета характерной площади современных КА, создание модели поверхности КА и формирование на её основе исходных данных. Оценивается возможность ускорения вычислительного процесса и варианты развития технологии расчета.

Ключевые слова: давление света, характерная площадь, модель поверхности, коэффициент отражения, элементарная площадка, направление падения света, тепловое излучение Земли, затенение, ускорение вычислительного процесса.

Одним из требований для создания современных моделей функционирования навигационной системы является учет давления, оказываемого на поверхность КА тепловым излучением Земли, а также прямым и отраженным от Земли солнечным светом. Под влиянием этих воздействий происходит ощутимое возмущение орбиты КА [1]. Величина возмущения, создаваемая любым из этих воздействий, зависит от его направления, площади и коэффициента отражения поверхности действия. Во время движения навигационного КА по орбите ориентация его корпуса относительно Солнца и солнечных батарей относительно Земли постоянно меняется. КА имеет сложную конструкцию, имеющую ряд подвижных элементов. Внешняя поверхность включает множество элементов с различными формами и коэффициентами отражения. При попадании КА в тень Земли воздействие на него прямого и отраженного солнечного света прекращается. В связи с чем, происходит постоянное изменение направления воздействия, а также площадь и структура поверхности, на которую оно оказывается. В полутенях ситуация промежуточная. Для учета этих воздействий была разработана методика, создана модель поверхности КА и реализован программный комплекс (ПК). ПК позволяет рассчитывать реальную площадь проекции КА (умноженную на коэффициенты отражения незатененных элементов) на плоскость, перпендикулярную заданному направлению (характерную площадь). Эта площадь используется при учете светового давления и прогнозе вектора состояния КА.

В процессе организации расчета реальный КА разбивается на заранее подобранные поверхности и фигуры с заданием коэффициента отражения материала изготовления. Подбор их количества и типа осуществляется последовательным приближением с учетом ограничений вычислительного процесса и погрешности расчета, необходимых при вычислении величины светового и теплового давлений. Для осуществления разбиения используется модель внешней поверхности КА. При ее создании поверхность КА упрощается, сложные поверхности представляются набором простых. Поверхности площадью ниже 25 мм², а также внутренняя структура КА не учитываются.

Для создания модели была применена САПР высокого уровня САТИА (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application). Это комплексная система авто-

матизированного проектирования (САД), технологической подготовки производства (САМ) и инженерного анализа (САЕ), включающая в себя передовой инструментарий трехмерного моделирования, подсистемы программной имитации сложных технологических процессов, развитые средства анализа и единую базу данных текстовой и графической информации [2].

Система САТИА имеет модульную структуру. В процессе разработки модели поверхности КА был использован модуль механического проектирования, в частности 3 его подмодуля:

- Sketcher (эскиз);
- Part Design (проектирование деталей);
- Assembly Design (проектирование сборок).

Для каждого видимого элемента КА разрабатывается эскиз, из которого средствами модуля Part Design создается деталь. Затем группа деталей средствами модуля Assembly Design собирается в сборку путем накладывания ограничений (совпадение, контакт, фиксация компонента, фиксация вместе). Собранная деталь может являться частью другой сборки или же быть частью основной. В модели установлена точка центра масс (ЦМ) КА, к которой привязана система координат. Относительно ЦМ производятся сборки и измерения всех элементов модели. Разработка модели поверхности производится в натуральную величину [3].

Модель КА имеет древовидную структуру. В ее основе лежит сборка, состоящая из двух больших подборок. Каждая подборка содержит более чем 100 элементов, многие из которых, в свою очередь, являются сборками. Помимо проведения расчетов модель поверхности КА необходима для отладки программного комплекса и позволяет произвести проверку результатов его работы.

Разбиение на поверхности проводится таким образом, чтобы каждая из них состояла из материалов с одинаковым коэффициентом отражения. Используемая модель КА включает 11 видов поверхностей, общее число которых составило 1 500. Из них 698 прямоугольников, 47 треугольников, 297 цилиндров, 38 частей цилиндра, 31 усеченный конус, 167 окружностей, 14 частей окружностей, 8 частей сферы, 180 колец и 21 часть кольца. Для проведения расчетов исходные данные каждой поверхности необходимо загрузить в ПК. Для их формирования используются средства системы САТИА.

С помощью команд «Измерение элемента» и «Измерения между» определяются координаты точек и параметры поверхности, необходимые для ее описания в программном комплексе. Измерения точек проводятся в системе координат, связанной с центром масс КА. Команда «Измерение элемента» позволяет получить размеры и координаты, связанные с выбранным элементом (точки, кромки, поверхности и целые изделия) относительно указанной системы координат. Команда «Измерения между» позволяет измерять расстояние между заданными элементами, минимальное расстояние и угол между двумя поверхностями.

Полученные измерения сохраняются в дереве спецификаций, откуда переносятся в считываемый ПК текстовый файл.

Первоначально перенос ИД из САПА в текстовый файл осуществлялся в интерактивном режиме. В настоящий момент разработано вспомогательное ПО, позволяющее частично автоматизировать этот процесс. Сборка, содержащая необходимые ИД, сохраняется в виде файла в формате vtml. Файл открывается вспомогательным ПО как текстовой и обрабатывается. В результате обработки формируется файл, содержащий ИД, необходимые для работы ПК. Это значительно ускоряет процесс сбора ИД и снижает вероятность ошибки.

После загрузки в ПК каждая поверхность разбивается на элементарные площадки. Для каждой площади находится вектор нормали и координаты центра [4]. В целях ускорения вычислительного процесса для плоских поверхностей вектор нормали вычисляется один раз и используется для каждой элементарной площадки. Ориентировочный размер элементарной площадки определяется перед началом расчета и влияет на скорость и точность его проведения. При разбиении каждой поверхности на элементарные площадки размером около 25 мм^2 их общее количество составило более 7 млн точный размер элементарной площадки определяется для каждой поверхности. Разбиение производится таким образом, чтобы поверхности разбивались на равные площадки без остатка.

Каждая элементарная площадка проверяется на затенение всеми поверхностями согласно вычисленному направлению воздействия. Для этого из центра элементарной площадки проводится прямая, параллельная заданному направлению. Затем находится точка пересечения (если такая существует) этой прямой и предположительно затеняющей поверхности. Если точка пересечения принадлежит поверхности, а поверхность находится между затеняемой площадкой и источником света, то площадка считается затененной [4]. Для затененной площадки ставится соответственный признак, и она больше не проверяется на затенение с текущего направления.

Перед началом основной проверки проводится этап предварительного затенения. Положение всех поверхностей проверяется относительно вектора воздействия. Поверхности, не видимые с данного направления, считаются полностью затененными, и для всех принадлежащих им элементарных площадок ставится признак затенения.

После проверки каждой площадки на затенение всеми поверхностями находится проекция каждой незатененной площадки на плоскость, перпендикулярную век-

тору воздействия, и определяется площадь этой проекции, которая при необходимости представляется в графическом виде.

Во время движения КА по орбите он всегда ориентирован относительно Земли и Солнца определенным образом [1]. В программном комплексе реализован алгоритм, определяющий положение КА в пространстве относительно Земли по координатам его ЦМ и Солнца. Это позволяет определить направления действующего на КА теплового излучения Земли, прямого и отраженного солнечного света. Солнечные батареи КА всегда должны быть ориентированы на Солнце максимальной площадью, в связи с чем в ПК реализован алгоритм, меняющий их ориентацию согласно полученному направлению падения солнечного света.

Требуемая точность расчетов порядка сантиметра получается при размере элементарной площадки менее 16 мм^2 . При таком размере элементарной площадки среднее время единичного расчета на ПВМ Intel(R) Core2 Duo CPU E4500 2.2 ГГц, с операционной системой Microsoft Windows XP для ПК, написанного на Microsoft Visual C++ 6.0, составило около 5 минут. В связи с необходимостью расчетов большого количества вариантов была произведена оптимизация технологии и ПК.

Средствами операционной системы с использованием пакетов Microsoft Visual C++ 6.0 и Microsoft Visual C++ 2005 были определены самые используемые части программного комплекса, для которых и проводилась основная оптимизация, включавшая оптимизацию алгоритмов расчета и программного кода, добавление новых компонент, применение более скоростной ПВМ и использование языка программирования Assembler. Это позволило повысить быстродействие ПК примерно в 8 раз.

Перед началом проверки элементарной площадки на затенение проверяется взаимное расположение элементарной поверхности, которой она принадлежит, и предположительно затеняющей поверхности. Если предположительно затеняемая поверхность находится перед затеняющей, или их проекции на плоскость, перпендикулярную вектору воздействия, не пересекаются, то все принадлежащие затеняемой поверхности элементарные площадки не проверяются на затенение.

При учете воздействия прямого и отраженного от Земли солнечного света значение характерной площади некоторых элементов КА остается неизменным. В процессе проведения множественных расчетов характерная площадь этих элементов рассчитывается только один раз и впоследствии используется как постоянная величина. Это дает возможность существенно ускорить вычислительный процесс.

Средства системы САПА позволяют рассматривать возможность полностью автоматизированного формирования исходных данных.

Во время эксплуатации КА коэффициенты отражения его внешней поверхности под воздействием внешней среды подвергаются деградации. Уровень деградации отражающей способности поверхности зависит от материала ее изготовления и времени воздействия солнечного света. Деградация отражающих поверхностей приводит к существенному изменению силы оказывае-

мого на неё светового давления, в связи с чем возникает необходимость учета деградации в процессе расчета светового давления.

В результате проведенной работы была создана методика учета воздействия солнечного света или теплового излучения Земли на поверхность КА. Для реализации этой методики была разработана модель КА, состоящая из 2 750 поверхностей, и ПК. На основании разработанной модели ПК позволяет определить характерную площадь КА для любого направления воздействия с точностью 5–10 см². Кроме того, была произведена оптимизация ПК, что позволило снизить среднее время расчета для одного направления с 5 мин до 20 с.

Использование разработанной методики позволит учесть воздействие теплового поля Земли, прямого и отраженного солнечного света на КА в любой точке орбиты.

Библиографические ссылки

1. Болдин В. А., Зубинский В. И., Зурабов Ю. Г. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. М. : ИПРЖР, 1998.
2. Assemble Design // Dassult Systemes. 2002.
3. Твердотельное моделирование // Dassult Systemes. 2003.
4. Выгорский М. Я. Справочник по высшей математике. М. : Наука, 1977.

I. I. Shilko

THE ORGANIZATION OF THE LIGHT PRESSURE ON THE SATELLITE SURFACE ACCOUT

The necessity of a sunlight pressure and the Earth heat emission, acting on a satellite surface recording is presented. The necessity of the characteristic satellite area more exact definition and its application are considered. The modern satellites characteristic area calculating method, the satellite surface model creation and the initial data formation on its basis are described. The possibility of the computing process acceleration and the alternatives of the calculating method development are estimated.

Keywords: light pressure, characteristic area, surface model, reflection factor, elemental area, incidence of light direction, the Earth heat emission, shading, computing process acceleration.

© Шилко И. И., 2011