УДК 629

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ КОНСТРУКЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

© 2011 Е.В. Космодемьянский

Самарский государственный аэрокосмический университет

Поступила в редакцию 21.03.2011

Рассматривается проблема разработки и ведения трехмерной модели конструкции космического аппарата дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ) на этапах концептуального проектирования и подготовки рабочей документации. Проанализированы особенности КА ДЗЗ как объекта моделирования. Приведены основные требования, предъявляемые к электронному макету изделия.

Ключевые слова: трехмерная модель, космический аппарат, электронный макет изделия, PDM-система, габаритные модели, бортовая аппаратура

При разработке любого сложного изделия существует необходимость в тщательной отработке документации перед началом единичного или серийного изготовления. В случае разработки космического аппарата (КА) эта необходимость подчеркивается невозможностью ремонта и обслуживания аппарата после запуска. Одним из способов такой отработки является макетирование изделия, которое может проводиться, как в процессе разработки изделия, так и уже на этапе его отработки. В случае разработки космического аппарата целями данных работ, как правило, является следующее:

- проверка правильности конструктивных решений, заложенных в конструкторской документации (КД);
- отработка монтажа и демонтажа бортовой аппаратуры;
- отработка монтажа бортовой кабельной сети и пневмогидрокоммуникаций;
- проверка технологичности изготовления и сборочных работ;
- контроль зоны размещения конструкции изделия;
- оценка достаточности зазоров между комплектующими изделия, элементами конструкции, в том числе подвижными;
- проверка удобства работы с приборами при испытаниях;
- оценка массовых и центровочных характеристик.

Космодемьянский Евгений Владимирович, аспирант. E-mail: kosmos1957@mail.ru

В процессе макетирования обычно выявляется необходимость коррекции конструкторской документации. Результатом макетирования является выдача заключения о готовности к изготовлению штатного изделия. Процесс проведения макетирования весьма долгосрочный и дорогостоящий. Он может начинаться сразу после запуска КД на элементы КА, подлежащие макетированию и завершиться уже в процессе сдачи изделия в эксплуатацию. В случае разработки КА, изготавливать который предполагается серийно, или в случае отсутствия необходимости экономии средств, для проведения макетирования может изготавливаться отдельный образец, который полностью отвечает условиям проведения макетирования. Такой подход применялся при разработке различных серийных КА с шестидесятых по девяностые годы. В настоящее время при разработке КА стараются совместить различные виды испытаний на 1-2 образцах. Например, образцы для статических и динамических испытаний, как правило, удовлетворяют условиям проведения макетирования и позволяют частично или полностью и провести. Часть задач макетирования возможно отработать уже на летном изделии.

С развитием компьютерных технологий в области трехмерного моделирования появилась возможность начать макетирование до начала изготовления изделия, практически в процессе разработки КД. Это позволяет выявить ошибки и недоработки на более ранних этапах, а, следовательно, уменьшает общее время изготовления изделия. Значительный объем задач макетирования возможно решить на электронном макете изделия (ЭМИ), однако

на данный момент полностью исключить макетирование на физических образцах не представляется возможным. В дальнейшем в процессе развития компьютерных технологий весьма вероятно, что все задачи макетирования будут решаться с помощью компьютерного моделирования. В данной статье рассмотрены два вопроса: требования, предъявляемые к электронному макету изделия и особенности процесса его создания.

Цифровые данные, приведенные в данной статье, опираются на опыт разработки документации в ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» по КА «Ресурс-ДК1» и картографическому КА.

Требования, предъявляемые к электронному макету изделия. Электронным макетом изделия (ЭМИ) является трехмерная модель изделия, построенная и хранящаяся в PDM-системе с заполнением соответствующих атрибутов и присвоением различных статусов статуса, соответствующих состоянию компонентов модели. Создание такой модели сложная инженерная задача для большого количества специалистов. Началом решения такой задачи является формирование технических требований к ЭМИ. Исходя из условий обеспечения выполнения задач макетирования и разработки конструкторской документации, к электронному макету изделия можно предъявить следующие требования:

- 1. ЭМИ должен максимально возможно соответствовать конструкторской документации на штатное изделие. К сожалению, добиться полного соответствия очень трудно при разработке трехмерной модели по различным причинам допускается некоторое количество упрощений и отличий. Все отличия ЭМИ от документации на штатное изделие должны быть оговорены.
- 2. Трехмерная модель изделия должна в соответствии с требованиями, изложенными в ГОСТ 2.052-2006.
- 3. Создание ЭМИ должно осуществляться с помощью одной САD-системы с использованием единой системы управления инженерными данными (PDM-система). Возможно создание отдельных узлов и блоков в различных САD-системах с последующим конвертированием моделей.
- 4. Модели подвижных элементов должны позволять отображать их штатное срабатыва-ние.
- 5. Помимо приборов, агрегатов, систем, должны быть смоделированы технологические процессы их установки в изделие в тех случаях, когда большие габариты и масса приборов, агрегатов, систем, минимальные зазоры в

зонах установки или отсутствие возможности визуального контроля переводят технологические процессы в разряд критических.

- 6. При моделировании технологических процессов должны быть созданы модели технологического оборудования в случае его применения при монтаже приборов, агрегатов, систем.
- 7. Трехмерная модель изделия должна позволять отображать разборку его на модули и агрегаты. При этом создаваемые материалы могут войти в эксплуатационную документацию, в частности в интерактивные электронные технические руководства (ИЭТР).
- 8. При разработке моделей предусмотреть упрощения, повышающие быстродействие системы и облегчающие проведение макетирования.

Особенности процесса создания электронного макета изделия. В первую очередь сложность создания ЭМИ обуславливается объемом создаваемой модели. Даже с учетом упрощений и ограничений на количество компонентов, которые не играют значительной роли при МКИ (крепеж, элементы метализации, маркировка), объем модели может составить более 50000 компонентов. Для работы с такими сборками требуется особый подход как в организационно-методической части, так и в материально-технической. Прежде всего, это организация работы с использованием системы управления инженерными данными (PDM-система): создание основы модели в виде электронной структуры изделия с соответствующими связями между компонентами, распределение элементов модели по ответственным специалистам и раздача прав доступа, создание элементов модели, отслеживание и устранение ошибок и неувязок. При создании электронной структуры необходимо учитывать как требования ГОСТ 2.053-2006, так и специфические особенности космической техники.

Для планирования и организации работ по моделированию конструкции необходимо создание графика моделирования, который может быть реализован в виде диаграммы Ганта, в табличной форме или с помощью инструментария PDM-системы. Контроль выполнения работ и изменение при необходимости сроков должно осуществляться централизованно. Самым современным способом для этого является ERP-система (англ. Enterprise Resource Planning System — Система планирования ресурсов предприятия). На рис. 1 представлен график создания ЭМИ картографического КА в табличной форме. Помимо конструкции в данном графике отражены и сроки разработки бортовой аппаратуры.

Разработка моделей конструкции, монтажа БА, БКС и гидрокоммуникаций

| Пункт | Сборочная единица | Исполнитель | Срок | Примечание |
|-------|-------------------|-------------|-------------------------------|------------------------------------|
| 1 | .0000-0 | 1201 | 30.03.11 | |
| 2 | .0100-0 | 1201 | 28.02.11 | |
| 3 | .0200-0 | 1201 | 28.02.11 | |
| 4 | .8600-0 | 1201 | 15.02.11 | |
| 5 | .8650-0 | 1206 | 28.02.11 | |
| 6 | .8700-0 | 1201 | 15.02.11 | |
| 7 | .8750-0 | 1206 | 28.02.11 | |
| 8 | .0500-0 | 1206 | 28.02.11 | |
| 9 | .0510-0 | 1206 | 28.02.11 | |
| 10 | .0520-0 | 1206 | 28.02.11 | |
| 11 | .0530-0 | 1206 | 28.02.11 | |
| 12 | .9500-0 | 1206 | 28.02.11 | |
| 13 | .0900-0 | 1206 | 15.03.11 | |
| 14 | .1000-0 | 1201 | 30.01.11 | |
| 15 | .1010-0 | 1201 | 30.11.10 -15.12.10 | |
| 16 | .1011-0 | 1201 | 15.11.10 15.12.10 | |
| 17 | .1020-0 | 1201 | 15.11.10 28.02.10 | |
| 18 | .1021-0 | 1201 | 15.11.10 15.12.10 | |
| 19 | .1024-0 | 1203 | 28.02.11 | |
| 20 | .1025-0 | 1206 | 15.03.11 | |
| 21 | .1026-0 | 1203 | 31.01.11 | |
| 22 | .1027-0 | 1203 | 31.12.10 | |
| 23 | .1300-0 | 1201 | 15.11.10 | Готова |
| 24 | .1310-0 | 1201 | 30.10.10 | Готова |
| 25 | .1311-0 | 1201 | 30.10.10 | The second second |
| 26 | .1320-0 | 1201 | 30.10.10 | Готова |
| 27 | .1321-0 | 1201 | 30.10.10 | Готова |
| 28 | .1323-0 | 1201 | 15.09.10 | Готова |
| 29 | .1324-0 | 1201 | 15.09.10 | Готова |
| 30 | .1325-0 | 1201 | 15.09.10 | Готова |
| 31 | .1100-0 | 1201 | 30.11.10 15.12.10 | Готова, будет дорабатываться по |
| 32 | .1110-0 | 1201 | 15.11.10 15.12.10 | Готова, будет дорабатываться по |
| 33 | .1111-0 | 1201 | 15.11.10 15.12.10 | Готова, будет дорабатываться по |
| 34 | .1112-0 | 1201 | 15.11.10 | Готова |
| 35 | .1113-0 | 1201 | 30.10.10 | Готова, будет дорабатываться по |

Рис. 1. Элемент графика создания ЭМИ

Помимо элементов конструкции в состав КА входит обширный набор бортовой аппаратуры (БА), которую также необходимо моделировать. Как правило, модели БА создаются предприятием-разработчиком аппаратуры и поставляются разработчику КА совместно с документацией на аппаратуру. Для структурирования и приведения данных моделей к единому виду к ним предъявляются специальные требования, которые сводятся к следующему:

1. Модель должна выполняться или конвертироваться в среду разработки модели КА. Это необходимо для включения модели в состав сборки КА и корректной работы с PDM-

системой.

- 2. Модель должна быть выполнена одной деталью. Исключение составляют только подвижные или съемные части прибора или агрегата. Защитные колпаки и крышки, транспортировочные приспособления моделируются отдельными деталями, но лишь те из них, которые используются на приборе или агрегате в составе изделия.
- 3. Файлы моделей должны наименоваться по единым правилам, должны быть заполнены необходимые атрибуты. Пример такого правила приведен в таблице 1.

Таблица 1. Правило заполнения атрибутов и названия файла

| Имя файла | [Индекс разработчика, аналогично обозначению в ГЧ] ГМ.m3d | |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|--|
| Поле Обозначение | [Индекс разработчика, аналогично обозначению в ГЧ] ГМ | |
| Поле Наименование | [Аналогично наименованию в ГЧ] | |

- 1. Все приборы, относящиеся к какой-то определенной системе КА, должны быть окрашены в один и тот же цвет для последующей визуальной идентификации в модели общей сборки.
- 2. Моделирование массовых характеристик должно осуществляться путем задания массы и координирования центра масс. Как правило, приборы имеют неоднородную плотность и моделирование массовых характеристик прибора варьированием его плотности невозможно.
- 3. При моделировании БА необходимо разъемы показывать максимально упрощенно,

сохранив при этом их внешний узнаваемый облик и реальные габариты. Для моделирования кабельной сети необходимо предусмотреть в составе модели прибора элементы облегчающие присоединение модели разъемов кабелей, например, присоединительную точку в месте подстыковки кабеля и контрольную точку в месте расположения ключа. Также должна быть осуществлена маркировка разъемов, производимая выдавливанием текста в теле модели в соответствии с реальным размещением маркировок. Пример реализации требований по разъемам приведен на рис. 2.

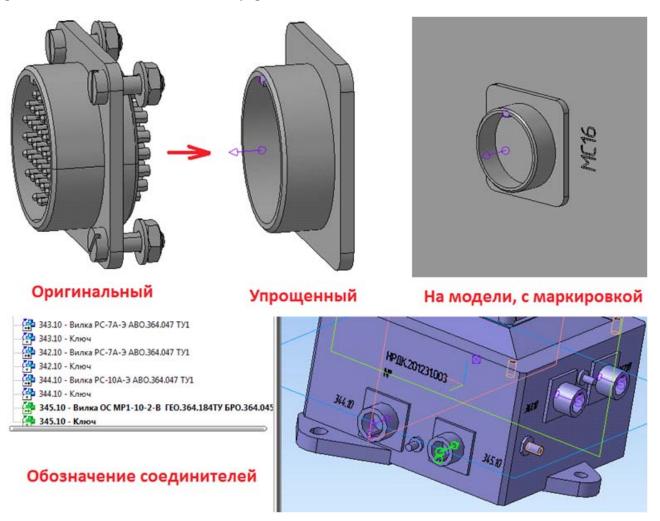


Рис. 2. Реализация требований к разъемам

7. В случае наличия у прибора зоны обзора или незатенения, она должна моделироваться с использованием поверхностного моделирования, поверхность должна иметь прозрачность не меньше 50-70%.

Во многих организациях ракетно-космической отрасли, в том числе и в ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» принято разделение проектных и конструкторских подразделений. Первые занимаются концептуальным проектированием,

разработкой эскизных материалов и увязкой исходных данных об изделии, в том числе по конструкции КА. Конструкторские подразделения разрабатывают конструкторскую документации и сопровождают ее в процессе изготовления элементов КА. Соответственно при разработке КА создается 2 модели, которые должны быть взаимосвязаны между собой — проектная и конструкторская. На рис. 3 приведен внешний вид данных моделей.

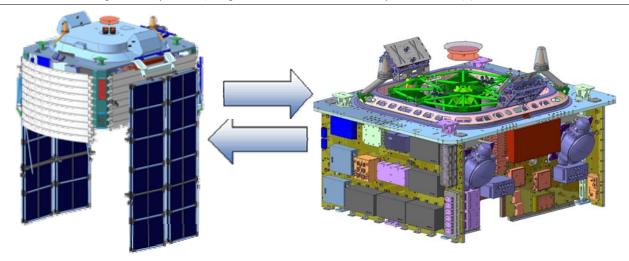


Рис. 3. Проектная и конструкторская модель

Взаимосвязь проектных и конструкторских моделей осуществляется рядом специиальных мер, которые в совокупности позволяяют говорить о параметризации моделей. Среди этих мер можно выделить следующие:

- шаблоны для всех моделей;
- зоны для размещения элементов конструкции;
- инструментарий CAD-системы для реалиизации метода нисходящего проектирования (опорная геометрия, управляющие модели, скелетоны, мастер-геометирия).

На рис. 4 приведена совокупность зон размещения элементов конструкции изделия. Эти зоны общие для проектных и конструкторских подразделений. Помимо увязки работы различных специалистов они позволяют контролировать геометрические размеры элементов КА и их взаимное расположение. Для ряда элементов конструкции в состав зон вводятся оси и вспомогательные плоскости.

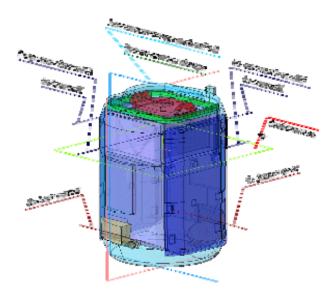


Рис. 4. Зоны для размещения элементов конструкции

Среди составляющих элементов трехмерной модели в особую группу необходимо выделить бортовую аппаратуру. Как правило, у предприятия-разработчика КА имеется обширная кооперация предприятий-разработчиков бортовой аппаратуры, которые совместно с габаритными чертежами должны поставлять и трехмерные модели бортовой аппаратуры. Данные модели должны быть наряду с моделями конструкции размещены в PDMсистеме и использоваться при построении модели КА. Особой сложностью при этом являяется то, что предприятия разработчики используют разное программное обеспечение и для размещения моделей бортовой аппаратуры в трехмерной модели КА эти модели требуется привести к единому виду. Для этого, прежде всего, необходимо создать единые для всех предприятий-разработчиков требования моделям и при получении данных моделей переводить их в формат САД-программы, используемой при создании модели КА. Следующим шагом при работе с предприятиями кооперации является включение их в единое информационное пространство - теоретически специалисты удаленных предприятий могут работать над единой моделью КА посредством PDM-системы, подключение к которой осуществляется с помощью сети Интернет или другой сети, однако на практике решение данной задачи сопряжено с большими трудностями как организационного, так и технического характера.

Отдельной проблемой при отсутствии предварительно проведенных подготовительных работ может стать отсутствие достаточного количества подготовленных специалистов. Работа с трехмерной моделью с использованием PDM-системы требует от специалистов применения стандартных подходов и

своеобразной культуры моделирования. Зачастую данные требования вызывают у опытных и грамотный специалистов отторжение и непонимание. Для создания качественной модели изделия необходимо формирование на предприятии группы специалистов-энтузиастов моделирования — инициативной группы. Соотношение количества специалистов в инициативной

группе к общему количеству специалистов должно быть равно приблизительно 1 к 10. Среди прочих требований в модели долж-но быть реализовано отображение штатного срабатывания подвижных элементов, процесса установки критичных элементов, процесс сборки-разборки КА. Иллюстрация реализации этого требования приведена на рис. 5.

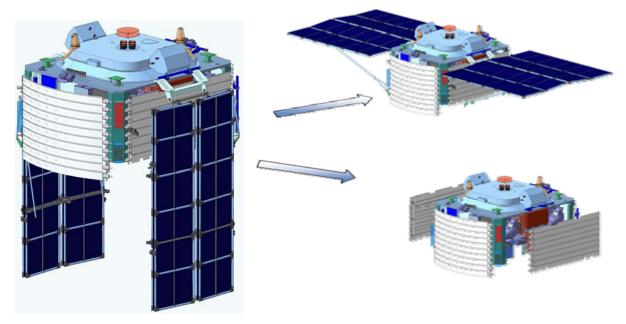


Рис. 5. Отображение в модели раскрытия батареи солнечной и снятия панелей радиатора-охладителя

Выводы: применение комплексного подхода в моделировании сокращает срок разработки документации по изделию и уменьшает время ее согласования. Эффективность моделирования пропорциональна приложенным усилиям. Применение визуализации моделирования операций над изделием повышает эффективность взаимодействия подразделений при разработке документации. Данные технологии

позволяют создавать более эффективные современные презентации для представления заказчику, а также для участия в конкурсах и тендерах

Выполнено с поддержкой по ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы» и Гранта №239-04 Всероссийского конкурса - поддержка высокотехнологичных инновационных молодежных проектов.

FEATURES OF CREATION PROCESS THE 3D-MODEL OF SPACE VEHICLE DISTANT SOUNDING CONSTRUCTION

© 2011 E.V. Kosmodemyansky Samara State Aerospace University

The problem of working out and conducting 3D-model of construction of space vehicle distant sounding of the Earth (SVDSEC) at stages of conceptual designing and preparation of working documentation is considered. Features of SVDSEC as object of modeling are analysed. The basic requirements to electronic breadboard model of a product are resulted.

Key words: three-dimensional model, space vehicle, electronic breadboard model of a product, PDM-system, dimensional models, onboard equipment

Evgeniy Kosmodemyanskiy, Post-graduate Student.

E-mail: kosmos1957@mail.ru