

## ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ИНТЕРАКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РУКОВОДСТВ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

### Введение

Одной из основных характеристик конкурентоспособности наукоёмкой продукции является время, необходимое от начала концептуального проектирования до ввода в эксплуатацию. В большой степени это касается и космической техники, в частности космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ). Последние несколько лет наблюдается увеличивающаяся конкуренция на рынке коммерческих КА ДЗЗ и ужесточающиеся требования заказчиков к срокам разработки и производства, а также точному их соблюдению. Эти факторы требуют повышенного внимания к ним в процессах создания КА с использованием современных информационных технологий и общей концепции информационной поддержки изделия (ИПИ).

В задачах сокращения времени создания изделия существенную роль могут играть интерактивные электронные технические руководства (ИЭТР). В современных условиях производителям, эксплуатирующим организациям, заказчику необходимо обладать как можно более полной информацией об изделии, начиная с самых ранних стадий его жизненного цикла. Наиболее подходящим инструментом для этой цели является ИЭТР. Основная проблема, возникающая при создании подобных документов, заключается в их параллельной разработке с самим изделием, так как для качественного ИЭТР необходима самая достоверная и актуальная информация об изделии. Такое требование приводит к тому, что материалы, составляющие ИЭТР должны постоянно обновляться или же быть непосредственно связанными – ассоциативными рабочей документации на изделие. В первом случае требуются значительные материальные и временные затраты на постоянное обновление материалов ИЭТР, во втором же – методический подход и современные информационные технологии.

Данная статья посвящена рассмотрению этих двух подходов к созданию ИЭТР.

Статистические данные опираются на опыт разработки документации в ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» (г. Самара) по КА «Ресурс-ДК1» и картографическому КА.

### Учёт стандартов

Основные элементы ИЭТР описаны как российскими, так и зарубежными нормативными документами.

Наиболее полный перечень стандартов, регламентирующих работу с ИЭТР,

представлен на сайте Центра каталогизации и информационных технологий «Каталит» [1]

Среди данных документов следует выделить стандарты MIL-M-87268 «Интерактивные электронные технические руководства: Общее содержание, стиль, формат, требования к средствам обеспечения диалогового режима общения с пользователем» и MIL-D-87269 «Обновляемая и корректируемая база данных для поддержки интерактивных электронных технических руководств». В России действуют следующие аналоги данных стандартов: с Р 50.1.027-2001 по Р 50.1.31-2001.

Стоит отметить, что российские стандарты являются фактически переводом американских без соответствующей адаптации к традициям и условиям российской инженерной культуры

Кроме того, европейской ассоциацией авиаконструкторов АЕСМА разработан стандарт АЕСМА S1000D, который предназначался для области технических публикаций в авиационной промышленности, но сейчас де-факто стал базовым международным стандартом на подготовку любой технической документации, в том числе и электронной [2].

При подготовке электронной документации для конкретных отраслей необходимо учитывать требования, предъявляемые к её структуре и содержанию отдельных частей. Так, для авиационной промышленности действует спецификация АЕСМА S1000D, в автомобильной - J2008.

В соответствии с стандартом Р 50.1.030-2001 [3] выделяют несколько классов ИЭТР, каждый из которых характеризуется определённой функциональностью и стоимостью реализации.

Класс 1 – индексированные цифровые изображения страниц. ИЭТР данного класса представляет собой набор изображений, полученных сканированием страниц документации. Страницы индексированы в соответствии с содержанием, списком иллюстраций, списком таблиц и т.п. Индексация позволяет отобразить растровое представление необходимого раздела документации сразу после его выбора в содержании. Данный тип ИЭТР сохраняет ориентированность страниц и может быть выведен на печать без предварительной обработки. Преимущества: большие объёмы бумажной документации заменяет компактный электронный носитель. Недостатки: не добавляет никаких новых функций по сравнению с бумажными руководствами.

Класс 2 – линейно-структурированные электронные документы. ИЭТР данного класса представляет собой совокупность текстов в формате SGML. Оглавление ИЭТР содержит ссылки на соответствующие разделы технического руководства. ИЭТР мо-

жет содержать перекрёстные ссылки, таблицы, иллюстрации, ссылки на аудио- и видеоданные. Предусматривается функция поиска данных. ИЭТР может быть просмотрен на экране и распечатан без предварительной обработки. Преимущества: возможность использования аудио- и видеофрагментов, графических изображений и возможность осуществлять поиск по тексту документа [4]. Недостатки: ограниченные возможности обработки информации.

Класс 3 – иерархически-структурированные электронные документы. В ИЭТР этого класса данные хранятся как объекты внутри хранилища информации, имеющего иерархическую структуру. Дублирование многократно используемых данных предотвращается системой ссылок на однократно описанные данные. Так как данные в ИЭТР этого класса организованы иерархически, документация не может быть распечатана без предварительной обработки. Преимущества: возможность представления информации в различном виде при использовании многокритериальных выборок и поиска. Недостатки: при создании руководств к сложным промышленным изделиям появляются проблемы управления большим объёмом информации.

Класс 4 – интегрированные ИЭТР. В дополнение к функциям класса 3, ИЭТР данного класса обеспечивает возможность прямого интерфейсного взаимодействия с электронными модулями диагностики изделий. ИЭТР позволяет наиболее эффективно проводить операции по поиску неисправностей в изделии, локализации сбоев, подбору запасных частей. Преимущества: возможность проведения диагностики изделия. Недостатки: очень высокая стоимость создания. Вариант использования конкретного класса ИЭТР, в общем случае, зависит от сложности изделия, от финансовых и технических возможностей пользователя.

Из представленных классов ИЭТР наибольший интерес с точки зрения информативности и сложности создания представляет ИЭТР четвёртого класса. При дальнейшем развитии информационных технологий возможно появление ИЭТР следующих классов.

#### **Создание ИЭТР непосредственно в процессе разработки изделия**

Использование ИЭТР даёт следующие преимущества по сравнению с традиционными бумажными техническими руководствами:

- сокращение на 20-25% сроков освоения новых изделий потребителем;
- в интегрированном ИЭТР организовать обновление информации гораздо проще, чем в бумажных руководствах;
- в ИЭТР высокого уровня встраивается система диагностики неисправностей.

В соответствии с РК-98 процесс создания космической техники делится на различные этапы: концептуальное проектирование, эскизное проектирование, техническое проектирование и разработка рабочей документации. Затем идут этапы производства и эксплуатации. Создание ИЭТР происходит главным образом на стадиях разработки и производства изделия, а применение ИЭТР - на стадии эксплуатации и утилизации. При этом возможно выявление недостатков конструкции изделия с точки зрения эксплуатации, которые приводят к необходимости доработки изделия. В какой-то мере макетирование и моделирование всех основных операций с изделием позволяет выявить эти недостатки. В то же время разработка ИЭТР в процессе проектирования также может способствовать повышению эксплуатационных качеств изделия. Исходя из нашего опыта, можно отметить, что разработка ИЭТР в процессе проектирования изделия занимает время, практически равное времени разработки самого изделия и существенно превышает стоимость разработки ИЭТР на основе уже готовой технической документации по изделию. Однако выгода от уменьшения количества доработок и соответственно уменьшения времени разработки самого изделия, а также качество ИЭТР существенно выше приведённых недостатков такого подхода. Общий вид одной из составляющих трёхмерной модели КА — основы для создания ИЭТР приведён на рис. 1.

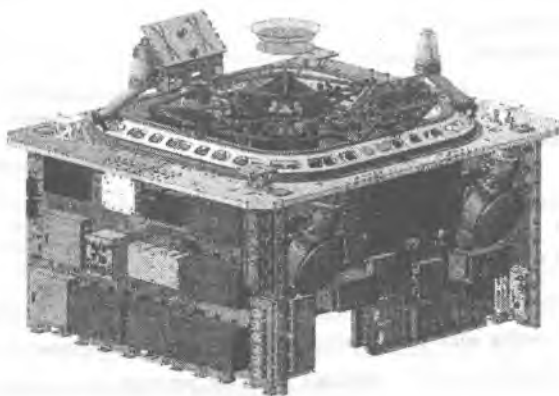


Рис. 1. Элемент трёхмерной модели КА

Численная оценка временных и материальных затрат, полученных при создании картографического КА, приведена в таблице 1. Оценка общего времени создания КА приведена по сравнению с КА «Ресурс-ДК1», при создании которого данный подход не применялся. Необходимо отметить, что существенному сокращению времени способствовал общий подход к информатизации процесса создания изделия, методы парал-

лельного инжиниринга и использование ИПИ-технологий.

Количество итераций разработки технической документации (ТД), необходимость в которых возникла при разработке ИЭТР, существенно выше для случая параллельной разработки. Но благодаря раннему этапу этих коррекций стоимость их существенно ниже по причине отсутствия или малого количества уже изготовленных компонентов КА. Количество итераций с доработкой материальной части равно нулю.

В стоимость разработки ИЭТР на этапе проектирования помимо прочих расходов входит стоимость программного обеспечения для организации коллективной работы и специализированных инструментов САПР. Однако благодаря применению именно этих инструментов качество такого ИЭТР существенно выше и большая часть этих документов представляют собой ИЭТР третьего и четвертого класса, что также повышает их ценность.

Таблица 1 – Численная оценка временных и материальных затрат при создании ИЭТР

	Создание ИЭТР в процессе проектирования изделия	Создание ИЭТР на основе готовой технической документации
Количество коррекций ТД при разработке ИЭТР	~ 120	~ 20
Количество коррекций ТД с доработкой материальной части	0	~ 12
Время разработки ИЭТР	2 года	6 месяцев
Стоимость разработки ИЭТР	~3 млн. рублей	~0,5 млн. рублей
Общее время создания изделия	3,5 года	9 лет
Класс создаваемых ИЭТР	4	1

Таким образом, создание ИЭТР непосредственно в процессе проектирования изделия позволяет снизить количество ошибок при разработке, обеспечивает более эффективную коллективную работу, упрощает принятие решений. И, соответственно, разработка ИЭТР непосредственно влияет на процесс разработки самого изделия.

#### Особенности КА ДЗЗ как объекта для создания ИЭТР

КА ДЗЗ имеют довольно сложную классификацию по размерам, назначению, типу целевой аппаратуры. Но в качестве объекта для создания ИЭТР можно выделить ряд общих для большинства КА ДЗЗ свойств, непосредственно влияющих на методы создания ИЭТР:

- КА ДЗЗ представляют сложную систему с большим количеством взаимосвязанных подсистем различного типа;
- потребителем ИЭТР может являться большое количество организаций с различной структурой и размерами;
- большая кооперация разработчиков, большой объем исходных данных разного типа, представленных различными способами в разных форматах;
- наличие на самых ранних стадиях проектирования постоянно наращиваемой трёхмерной модели КА;
- большое количество систем в составе КА, нуждающихся в различных способах отображения в ИЭТР;
- большое количество подвижных элементов в конструкции КА.

Последние три пункта определяют требование к обязательному использованию в работе над изделием PDM-системы, централизованного хранения данных и высококачественной работы с трёхмерной моделью. При этом моделирование должно осуществляться в соответствии с единой нормативной и руководящей документацией, в частности с ГОСТ 2.052-2006 [5].

Кроме указанных свойств, которые характерны для КА ДЗЗ вне зависимости от страны разработки, можно добавить российские особенности производства: консерватизм в вопросах обеспечения информационной безопасности и применения современных информационных технологий.

Наиболее распространённым способом представления информации об изделии её потребителям в нашей стране является бумажный носитель и бумажно-ориентированные электронные документы.

Примером такого ИЭТР может служить документ, фрагмент которого представлен на рис. 2.

В данном документе описывается технология работ с КА ДЗЗ, начиная с момента доставки на космодром. В нём приведён перечень монтажно-сборочных операций с КА, дано их текстовое описание, а также иллюстрации, разъясняющие суть этих операций. Документ представлен в бумажном и электронном виде (сканированные копии и файлы в формате программы разработки) и предназначен для широкого круга специалистов. Таким способом описываются практически все операции с КА на различных стадиях жизненного цикла. Фактически этот и подобные документы являются ИЭТР класса 1. Как правило, такой документ создаётся на начальном этапе создания изделия и в дальнейшем многократно корректируется. Соответственно, трудоёмкость создания

подобных документов ракетно-космической техники составляет 50-100 человекодней на одну операцию. Количество производимых операций с изделием зависит от его сложности.

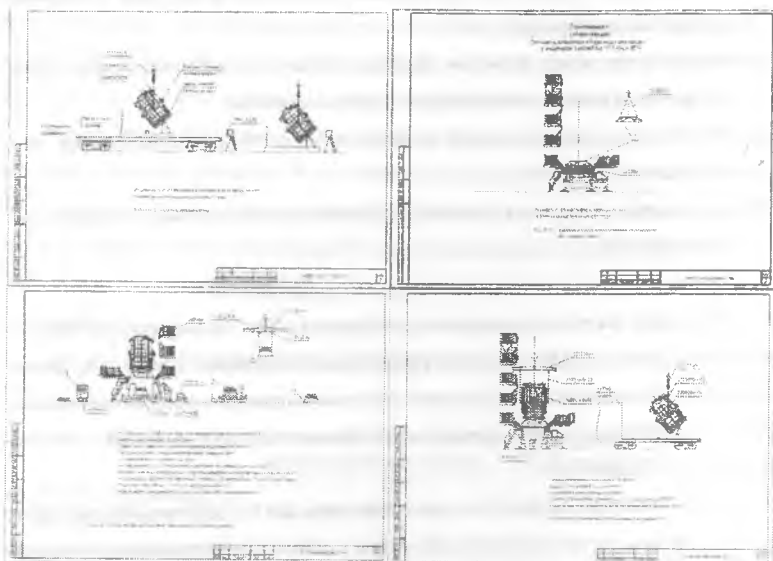


Рис. 2. Фрагмент бумажно-ориентированного технического руководства.

Учитывая сложность и стоимость такого изделия, как КА, а также недостатки ИЭТР класса 1, задача разработки методик создания ИЭТР более высокой степени информационной нагруженности является весьма актуальной.

#### **Технологии и программное обеспечение для ИЭТР**

Большинство разработчиков программного обеспечения в области систем автоматизированного проектирования (САПР) предлагают набор решений для создания ИЭТР. Кроме того, есть и отдельные разработчики, специализирующиеся только на ИЭТР. Например, российская фирма Cortona, являющаяся одним из мировых лидеров в области ПО для ИЭТР [6].

Лидеры в области «тяжелых» САПР Dassault Systemes, Parametric Technology Corp и Siemens PLM Software имеют целый набор программ и технологий для создания ИЭТР.

Кроме того, если разделить процесс создания ИЭТР на ряд взаимосвязанных задач, таких как создание иллюстраций, написание текстовых материалов, структурирование данных, создание анимации, то решить их возможно, используя неспециализиро-

ванное программное обеспечение (ПО) и стандартные модули практически любой САПР. Однако при этом возникают серьезные методические сложности, связанные с увязкой получаемых таким образом материалов в единый информационный комплекс.

### **Методика создания интерактивной анимации монтажно-сборочных операций с КА ДЗЗ**

Наиболее ценным элементом ИЭТР с точки зрения информационной загруженности и простоты восприятия различными специалистами является анимация работы с изделием и анимация работы самого изделия.

Процесс создания такой анимации, как правило, является наиболее трудоёмкой частью работы с трёхмерной моделью. Обычно она составляет около 20-25% времени от создания самой модели. При этом следует учитывать, что фотореалистичная анимация требует ещё и существенного машинного времени на рендеринг - процесс получения изображения по модели с учётом положения точки наблюдателя, информации об освещении, физических свойств материалов. Создание такой анимации ведётся с помощью специализированного ПО и требует значительных временных и материальных затрат. Необходимость таких работ обусловлена маркетинговыми целями и в основном ведётся для демонстрации заказчику возможностей изделия до его создания. Для обеспечения процесса разработки изделия требуется инженерная анимация, целью создания которой является всестороннее понимание сложной технической системы, которой является КА.

Рассмотрим вариант методики создания интерактивной анимации монтажно-сборочных операций на примере КА ДЗЗ, разрабатываемого в настоящий момент. Данная методика позволяет создавать интерактивную анимацию как один из составляющих элементов ИЭТР класса 4. При этом важно отметить, что при разработке интерактивной анимации по данной методике не требуется привлечения специализированного ПО: для создания трёхмерной модели используется «Компас-3D» с подключаемой библиотекой анимации, а для хранения составляющих модели, данных об изделии и файла сценария используется система «Лотцман».

Первоначальным действием, необходимым для создания интерактивной анимации и всего ИЭТР, является создание трёхмерной модели с размещением компонентов в PDM-системе. При этом создаваемая сборка должна содержать все необходимые элементы изделия или хотя бы образы элементов, на которые должны быть наложены связи в виде сопряжений с учётом будущих перемещений элементов. В состав сборки могут входить объекты-подсборки, в которых уже созданы сопряжения. Окно переменных



вызывается с помощью иконки на стандартной панели инструментов «Компас-3D». При первом обращении в окне переменных содержится информация о всех объектах и всех сопряжениях в виде их перечисления (по умолчанию на каждый объект накладывается связь об исключении объекта из расчёта).

Все движения элементов модели, а также исключения и включения, задаются с помощью переменных с использованием таблицы.

Для осуществления операций внутри сборки (движение, перемещение, вращение и др.) используется библиотека анимации. На каждом шаге возможно осуществить как одну, так и несколько операций, для чего достаточно выбрать переменные. Выбор основывается на тех переменных, которые были заданы при разработке сборки.

Добавлением шагов добиваемся полной реализации необходимого движения (перемещения, вращения). Чтобы просмотреть результат и записать видеофайл, необходимо кликнуть «воспроизведение» в окне библиотеки анимации.

При сохранении анимации создаётся файл сценария.

Основным результатом работы по методике является создание файла сценария в формате XML, который представляет собой текстовый формат, предназначенный для хранения структурированных данных (взамен существующих файлов баз данных), для обмена информацией между программами, а также для создания на его основе более специализированных языков разметки (например, XHTML), иногда называемых словарями. Благодаря универсальности формата, файл сценария можно ввести в структуру документации и передавать потребителям как один из конечных продуктов – элементов ИЭТР.

Главным достоинством данного подхода является взаимосвязь получаемой анимации с трёхмерной моделью. При доработке трёхмерной модели все изменения будут отображены в анимации. Это позволяет создавать подобные сценарии и, соответственно, ИЭТР фактически с начала работы над изделием, что в целом соответствует популярной в настоящий момент концепции параллельного нисходящего проектирования.

Предлагаемая методика ориентирована на использование связки «Компас-Лоцман», но подход является универсальным и может быть распространён и на другие CAD и PDM-системы с учётом особенностей применяемых программ.

Методика предполагает следующую последовательность действий, необходимых для создания интерактивной анимации и файла сценария:

- задание всех подвижных, включаемых или исключаемых элементов с помощью таблицы переменных;

- использование библиотеки анимации для осуществления операций внутри сборки (движение, перемещение, вращение и др.);
- создание файла сценария формате XML. Если требуется повторить все операции с другой аналогичной сборкой, достаточно аналогичным параметрам задать переменные, используемые в сценарии, и откорректировать граничные значения переменных.

На рис. 3. показаны такелажные работы с КА. Движение крюков крана по сооружению задано с помощью переменных. Используется библиотека анимации.

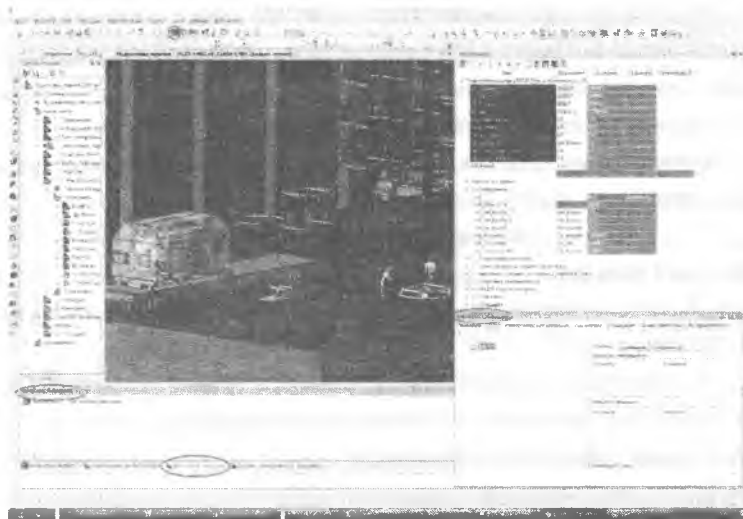


Рис. 3. Моделирование такелажных работ с КА

### Заключение

Создание ИЭТР непосредственно в процессе проектирования позволяет ускорить процесс сдачи изделия РКТ заказчику, упростить его обслуживание и в целом уменьшить стоимость разработки. В случае использования ассоциативных материалов существенно уменьшается стоимость разработки самих ИЭТР, количество ошибок и несоответствий. При таком подходе ИЭТР фактически включается в процесс создания изделия как один из технологических инструментов разработки. Придание ИЭТР такого статуса повышает его ценность как самостоятельного информационного продукта и существенно влияет на процесс разработки изделия в целом.

Интерактивная анимация может являться одним из элементов ИЭТР класса 4 – наиболее информационно нагруженного и наименее сложно воспринимаемого. Представленная методика создания интерактивной анимации позволяет создавать элементы

ИЭТР класса 4 и при этом не требует материальных затрат в части закупки дополнительного программного обеспечения, но предъявляет более высокие требования к квалификации разработчиков модели и к самой модели.

Создание файла сценария в универсальном формате XML позволяет ввести сценарий интерактивной анимации в структуру документации и передавать сценарий потребителям как один из элементов ИЭТР, при необходимости стандартизовав структуру файла.

Описанная методика позволяет перевести описание работ с изделием, сформированное в виде ИЭТР класса 1, в ИЭТР класса 4. При этом использование интерактивной анимации и формализованного файла сценария позволяет уменьшить время создания и поддержания в актуальном состоянии ИЭТР в 2-3 раза.

Выполнено с поддержкой по ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».

#### **Библиографический список**

1. <http://kataljit.ru/ietr.html> .
2. А.Ф. Колчин, Интерактивные электронные технические руководства, Рсweek (317)47'2001
3. Р 50.1.030-2001. ИНТЕРАКТИВНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РУКОВОДСТВА. Требования к логической структуре базы данных.
4. <http://www.calscenter.com/calstech/techguid.htm> .
5. ГОСТ 2.052-2006 Электронная модель изделия.
6. <http://www.cortona3d.com> .