

На правах рукописи

Галин Илья Юрьевич

**АВТОМАТИЗАЦИЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ
ЭЛЕКТРОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РУКОВОДСТВ (ИЭТР)**

Специальность 05.13.06 – автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами (по
отраслям - промышленность, наука и научное
обслуживание)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2011

Работа выполнена в Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ».

- Научный руководитель - Доктор технических наук, профессор Оныкий Борис Николаевич.
- Официальные оппоненты - Доктор технических наук, Пухов Андрей Александрович.
- Кандидат технических наук, Дорохов Дмитрий Григорьевич
- Ведущая организация - ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем»

Защита состоится 18 апреля 2011 в 15 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.130.02 в Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ» по адресу Москва, 115409, Каширское шоссе, 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по указанному адресу на имя ученого секретаря специализированного совета.

Автореферат разослан 18 марта 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Скоробогатов П.К.

Общая характеристика работы.

Актуальность темы. Конкурентоспособность современных технических систем на мировом рынке определяется не только ценой и качеством, но и системой технического обслуживания в период эксплуатации. Особенно это актуально для сложных, наукоёмких технических систем, таких как, например, продукция авиационной промышленности. Исходные данные для решения задач послепродажного технического обслуживания формируются в эксплуатационной документации на изделие (ЭД) и являются неотъемлемой частью системы поддержки эксплуатации. Увеличивающаяся сложность технических систем приводит к появлению все большего количества документов, инструкций по эксплуатации и т.п. Как следствие, усложняются не только процессы разработки документации, но и её сопровождение при модернизации изделий. Современный подход к решению этой проблемы состоит в разработке электронной эксплуатационной документации (ЭЭД).

Автоматизированная разработка электронной ЭД позволяет:

- Сократить время и трудоёмкость разработки;
- Быстрее вносить изменения в документацию, сохраняя её инвариантные компоненты, а так же распространять изменения по всем пунктам эксплуатации через электронные сети;
- Поддерживать в актуальном состоянии в единой базе данных все комплекты эксплуатационной документации на различных языках.

В настоящее время в отечественной авиационной промышленности решены отдельные задачи автоматизации разработки ЭД, в частности, используются различные зарубежные системы, обзор которых сделан в диссертации [48],[51], [52], [53]. Известны работы следующих отечественных ученых: д.т.н. Е.И. Артамонова, д.т.н. И.П. Норенкова, д.т.н. Е.В. Судова, д.т.н. А.И. Левина.

В данной диссертации решаются задачи построения комплексной отечественной системы разработки и сопровождения ЭД для авиационной техники на всех стадиях жизненного цикла - системного анализа предметной области, оценки конкурентоспособности результата, опытной эксплуатации, промышленного использования.

Таким образом, тема диссертации является актуальной для развития отечественной авиационной промышленности.

Цель работы. Создание автоматизированной системы разработки эксплуатационной документации на нескольких языках для авиационной техники, оптимизированной по качеству результатов при заданных ограничениях на бюджет.

Задачи, решаемые в диссертации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Провести системный анализ процессов разработки документации на сложное изделие по документации на его компоненты, в результате которого определить исходные данные, производственные роли и задачи, требования к получаемой документации.
- Провести анализ международных стандартов на сопровождение жизненного цикла изделия и существующих программных систем автоматизации процессов разработки ЭД, что позволит сформулировать требования к электронной документации, отвечающие условиям экспортных поставок отечественной авиационной техники в различные страны.
- Поставить задачу оптимизации качества ЭД и предложить процедуру её автоматизированного решения;
- Провести инженерную разработку системы автоматизированной подготовки и сопровождения эксплуатационной документации, превосходящую по техническим параметрам предыдущие аналоги.
- Провести экспериментальную и промышленную эксплуатацию системы подготовки ЭД при производстве отечественных самолётов гражданского и военного назначения.

Научная новизна

1. На основании исследования проблемы управления качеством ЭД в авиационной промышленности предложена оригинальная информационно-логическая модель максимизации качества ЭД, обеспечивающая максимум качества ЭД при ограничениях на бюджет.
2. По предложенной модели решена задача максимизации интегрального показателя качества эксплуатационной документации, позволяющая обоснованно сформировать состав и структуру эксплуатационной документации. При этом оптимизация качества ЭД производится с учетом

реально доступных сведений о надёжности изделия и ограничений на бюджет.

3. Разработана новая информационная технология изготовления ЭД на сложное изделие. Новизна технологии состоит в обеспечении многопользовательского процесса подготовки и сопровождения ЭД в единой базе данных и ориентации на выпуск документации на нескольких языках, в соответствии с международными стандартами. Это позволило сократить время разработки проектов ЭД и сократить их трудоёмкость, особенно при внесении изменений, а так же не допускать превышения бюджета. Как показано в работе, эта технология позволяет получить значимый интегральный экономический эффект при производстве авиационной техники.

Практическая значимость результатов работы.

1. Впервые разработана и экспериментально опробована в ОКБ Сухого, ОАО Туполев, МВЗ им М.Л. Миля автоматизированная система подготовки и сопровождения ЭД Technical Guide Builder. Полученный результат повышает конкурентоспособность российской авиационной техники на международных рынках.
2. Предложены методы и технология формирования ЭД, позволяющие выпускать интерактивную ЭД для отечественной авиационной техники, оформленную по международным стандартам на нескольких языках.
3. Система подготовки и сопровождения ЭД Technical Guide Builder, в разработку которой автор внёс существенный вклад, подтвержденный свидетельством №2002610448 об официальной регистрации программы для ЭВМ (Роспатент. 28 марта 2002 г), позволила в 2007 и 2009 годах выпустить ЭД на новые самолёты Су-30МКМ и Ту-214.

На защиту выносятся:

1. Методика решения задачи максимизации интегрального показателя качества эксплуатационной документации на основе методов численной оптимизации.
2. Модели бизнес-процессов и технология формирования и сопровождения ЭД, позволяющая промышленно разрабатывать и выпускать документацию на семейство типовых самолётов, как гражданского, так и военного назначения.
3. Разработанное автором программное обеспечение автоматизированной подготовки и сопровождения ЭД - Technical Guide Builder, обеспечивающее коллективную разработку и сопровождение общей базы данных ЭД на нескольких языках, оформленной в соответствии с требованиями современных международных стандартов.

Реализация результатов. Внедрение результатов диссертации осуществлено в рамках проекта «Разработка ПО ЭЭД-МКМ для разработки и выпуска ЭД в соответствии с требованиями справочника АС 1.1.1000D-2002» на основании Договора от 11.10.2006 №050/01 АНО НИЦ CALS-технологий «Прикладная Логистика» и ОАО ОКБ им. П.О.Сухого. Апробация разработанной системы была проведена также на Московском Вертолётном Заводе им. М.Л. Миля (Акт №305/06/МИ-07-0249-09 от 22.06.2007). В настоящее время разработки автора используются в крупнейших отечественных авиационных компаниях ОКБ Сухого, ОАО Туполев, МВЗ им М.Л. Миля, что подтверждается официальными документами, а также в целом ряде других промышленных компаний, работающих в кооперации с авиационной промышленностью.

Разработанное программное обеспечение используется в учебном процессе в МИФИ на кафедре Системного Анализа в дисциплине «Управление жизненным циклом продукции», а так же в КЭЛС-центре «Корпоративные Электронные Системы» в учебном курсе Б-2-1 «Интеграция данных об изделии на основе CALS-технологий».

Апробация работы проводилась в виде докладов на VII Международной конференции «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта» (CAD/CAM/PDM-2007) в институте Проблем Управления им. В.А. Трапезникова РАН, на 10-й Международной научно-технической конференции «Актуальные задачи каталогизации продукции» 2009 г в ИПК "Машприбор" г. Королев и на научно-практическом семинаре "Технологии

подготовки электронной эксплуатационной документации и электронных каталогов на продукцию военного назначения" 2004 г в ИПК "Машприбор" г. Королев, на Научной сессии МИФИ-2004 г.

Публикации. Основное содержание диссертации отражено в семи печатных работах, в том числе получено два авторских свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, библиографического списка, включающего 56 наименований, и 2 приложений. Работа изложена на 153 листах машинописного текста, содержит 71 рисунок и 31 таблицу.

Основное содержание работы.

Во введении обоснована актуальность проблемы автоматизированного формирования интерактивных электронных технических руководств.

В первой главе дается анализ развития средств создания и управления эксплуатационными документами на сложные изделия. Развитие технологии рассматривается с точки зрения принципиальных изменений в современных процессах эксплуатации сложной техники. Эти изменения обусловлены увеличением длительности жизненного цикла изделий, увеличивающимся количеством модернизаций и модификаций техники на стадии эксплуатации, прогрессом средств объективного контроля технического состояния. Как следствие, возникает потребность оперативно и обоснованно формировать актуальный комплект эксплуатационной документации на изделие.

Интерактивное электронное техническое руководство рассматривается в работе как комплекс программного обеспечения (ПО) и технических данных, подготавливаемый в автоматизированной системе, сопровождающийся специальным средством просмотра.

Данные ИЭТР содержат информацию аналогичную «бумажным» эксплуатационным документам, они структурируются в отдельные логически связанные части – модули данных (МД) и содержат текст (гипертекст) с различными мультимедиа фрагментами.

Выделяется перечень типовых задач эксплуатации и технического обслуживания, в которых применяется ИЭТР, таких как:

- Обучение эксплуатационного и ремонтного персонала;
- Создание баз обслуживания и ремонта с учетом географических факторов и интенсивности потоков обслуживания;
- Материально-техническое обеспечение процессов эксплуатации, профилактики и ремонта.

При рассмотрении ИЭТР в рамках концепции CALS (Continues Acquisition and Life cycle Support - непрерывная поддержка поставок и ЖЦ изделия), выделено понятие электронного документа. Сделан обзор базовых концепций и международных технических стандартов представления и разработки электронных документов в области эксплуатационной документации сложных изделий. Особое внимание уделено концепции формальной разметки электронных документов изложенной в стандарте ISO 8879 Standard Generalized Markup Language, и основным положениям концепции формирования электронной эксплуатационной документации

(ЭЭД) с использованием общей базы данных (БД). Эта концепция является частью стандарта ASD SPEC 1000D - International specification for technical publications utilizing a common source database (Международная спецификация на технические публикации, выполняемые с использованием общей базы данных).

Проведён сравнительный анализ программных решений, реализующих современные методы разработки и сопровождения (ЭЭД). В нем рассматривались следующие комплексы ПО: Microsoft Office, Mekon Eclipse Suite +Adobe Frame Maker, IBM Lotus Notes. Рассматриваемые программные решения сравнивались по функциональным возможностям и по стоимости комплекта ПО для одного рабочего места. Из результатов сравнения сделаны следующие выводы:

- существующие системы не всегда могут реализовать формирование электронного и печатного представления документации из одного источника;
- с увеличением функциональности систем подготовки ЭЭД растёт и их цена;
- состав эксплуатационной документации формируется на основе сведений о составе ЭД на изделия-аналоги или исходя из слабо формализуемых требований. Никак не учитывается важность формирования документации на тот или иной блок изделия или деталь.

Во второй главе изложены теоретические основы, математическая постановка и аналитическое исследование задачи обоснованного формирования ЭД как задачи максимизации качества ЭД. Базовыми понятиями являются состав и структура изделия:

$$P_{(product)} = \{d_1 \dots d_n\} \quad [1]$$

где $d_i \in N$ для $i = 1 \dots n$, d_i - число раз, которое i -я деталь входит в P ;

Для учета специфики процессов технического обслуживания, описывается новое введённое отношение доступности $d_i \succ d_j$, которое определяет потребность предварительной работы с деталью d_i для работы с d_j . Для отношения доступности предложена форма представления в виде графа $G: \langle P, L \rangle$. Вершинами этого графа являются элементы множества P , а дугам соответствуют отношения предшествования, т.е. $l(d_i, d_j) \in L$, если $d_i \succ d_j$, где L - множество всех дуг в графе. Исследованы математические свойства этого отношения. Установлено, что граф доступности отражает порядок демонтажа деталей с изделия. Такой порядок назван процедурой разборки. В качестве

примеров в работе приведены графы доступности и процедуры полной и частичной разборки для стандартных промышленных изделий.

После формализации состава, структуры изделия и отношений между деталями, рассмотрены формальные математические модели эксплуатации изделия. Утверждается, что эксплуатация изделия может быть охарактеризована показателями надежности (безотказности) деталей входящих в изделие. В рассматриваемых моделях эксплуатации приняты следующие допущения:

- Пользователь документации обращается к документации по детали d_i в случае отказа этой детали.
- Пользователь обращается к документации по d_i в случае отказа какой-либо детали d_j , если для доступа к отказавшей детали d_j требуется обеспечить доступ к d_i .

В работе исследованы модели отказов-восстановлений для простейших изделий, а так же для сборок, состоящих из множества деталей. Эти модели представлены в виде графов состояний изделия из N деталей с заданными интенсивностями перехода из исправного в неисправное состояния - λ (отказ), и интенсивностями восстановления - μ для каждой из N деталей. В данной работе принято, что время безотказной работы и время восстановления распределены экспоненциально с соответствующими показателями.

Для исследуемых моделей выведено математическое ожидание количества отказов i -ой детали:

$$R_i(T) = q_i R(T) = \frac{\lambda_i T}{1 + \sum_{j=1}^N \frac{\lambda_j}{\mu_j}} \text{ - для } i\text{-ой детали,} \quad [2]$$

и математическое ожидание количества отказов изделия из N деталей:

$$R(T) = \frac{T}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{\lambda_i} + \sum_{j=1}^N \frac{q_j}{\mu_j}} \quad [3]$$

Корректность выведенных показателей проверена на модельном примере для структурно-сложного изделия состоящего из 10 деталей. В рамках проверки было промоделировано более 1000 циклов отказов – восстановлений. На основании проведённых исследований были выведены показатели среднего

количества обращений к документации для детали d_i при отказе какой-либо из деталей сложного изделия:

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^N R_j(t) a_{ij}, \text{ где } a_{ij}^* - \text{ элемент матрицы } A^* - \text{ матрицы смежности графа } \Gamma : \langle P, L \rangle. \quad [4]$$

Далее в работе приводится формальная математическая постановка задачи максимизации качества ЭД.

Для этого введено понятие качества эксплуатационной документации как оператор агрегирования - K :

$$K = f(k_1 \dots k_N, \alpha_1 \dots \alpha_N), \text{ где}$$

k_i - качество документального обеспечения i -ой детали (полнота, точность, актуальность); α_j - средневзвешенное количество обращений к документации по d_i (см.[4]); В формальной постановке рассматривается k_i как функция от затрат на изготовление, т.е. $k_i = f_i(C_i)$, где C_i - затраты на изготовление, хранение, использование и сопровождение документации на изделие d_i с качеством k_i .

Рассмотрена задача максимизации качества документации:

$$K(k_1 \dots k_N, \alpha_1 \dots \alpha_N) \xrightarrow{C=\{C_1 \dots C_N\}} \max,$$

со следующими ограничениями: общий бюджет на изготовление документации - C^0 , k_i^0 - минимально допустимое качество документации по изделию d_i , C^* - бюджет на документацию, не попадающую под отношение доступности по всем изделиям из P .

Таким образом, задача максимизации качества может быть сформулирована так:

$$\begin{cases} K(k_1 \dots k_N, \alpha_1 \dots \alpha_N) \xrightarrow{C=\{C_1 \dots C_N\}} \max \\ k_i^0 \leq k_i \leq f_i(C^0) \\ \sum_{i=1}^N C_i \leq C^0 - C^* \end{cases} \quad [5]$$

В дополнение к постановке задачи максимизации качества на структурно сложное изделие (из N деталей), приведена и аналитически исследована задача максимизации качества ЭД для детали:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_i(a_1 \dots a_n, p_1 \dots p_n) \xrightarrow{c} \max \\ c_i > 0 \\ \sum_1^n c_i < C_i \end{array} \right. , \quad [6]$$

где: $p_i = (m_i / m_i^*)^{\gamma_i}$ - относительная удовлетворенность потребителя i-м свойством документации; $\gamma_i = 1$ для свойств, возрастание которых приводит к увеличению удовлетворенности потребителя, а $\gamma_i = -1$ - наоборот, m_i - i-ая характеристика документации (полнота, время поиска, актуальность и т.п.), m_i^* - i-е требование к характеристике документации.

Таким образом, во второй главе поставлена и исследована задача максимизации качества ЭД и определены измеряемые показатели для её решения.

В третьей главе приводятся результаты разработки автоматизированной системы подготовки и сопровождения электронной эксплуатационной документации (ЭЭД).

Для разрабатываемой системы приведена информационно-логическая модель, которая описывает наиболее значимые потоки данных для системы подготовки и сопровождения ЭЭД в ходе жизненного цикла изделия. На основании этой модели детально проработаны требования к базовой функциональности и функциональная модель программного обеспечения. Так же была разработана модель «как должно быть» для бизнес-процесса разработки электронной эксплуатационной документации (см. Рисунок 1). Моделирование проводилось с использованием нотации IDEF0.

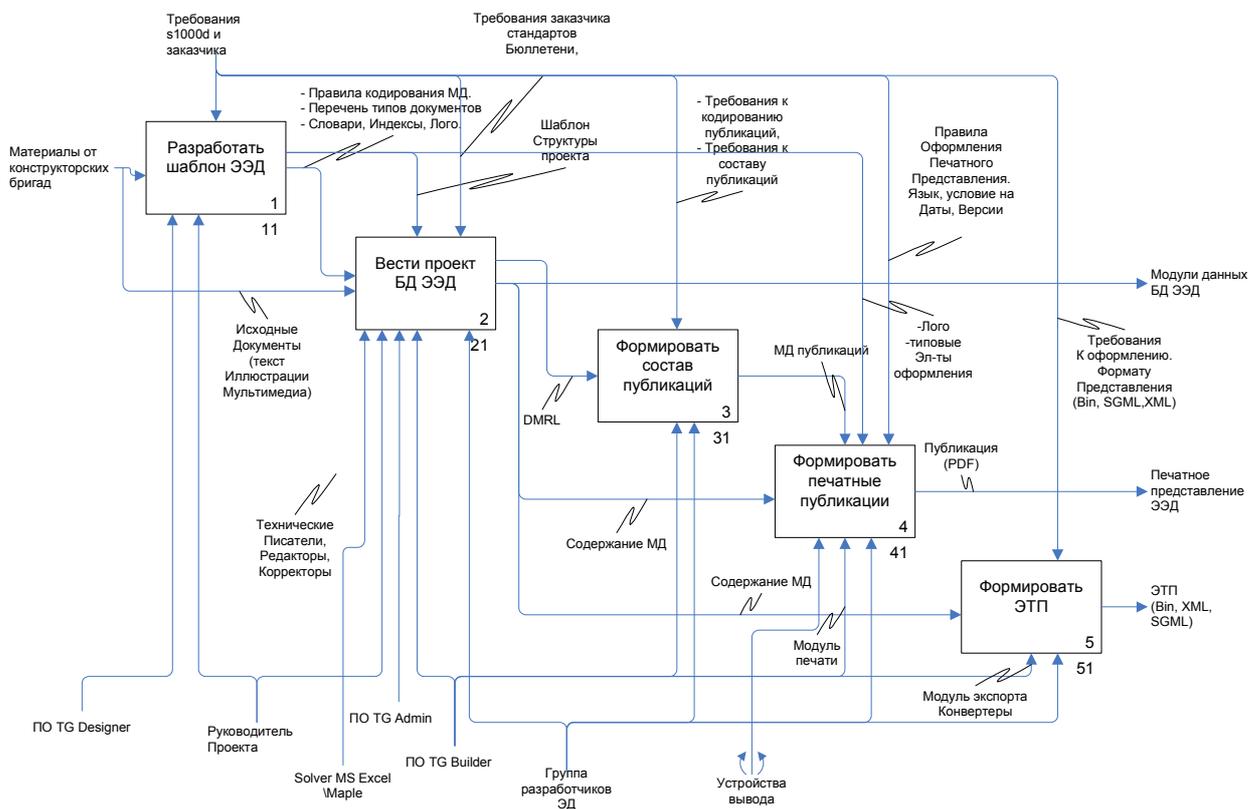


Рисунок 1. Диаграмма функциональной модели для бизнес-процесса разработки ЭЭД.

Из созданной модели видно, что основным направлением автоматизации изготовления документации являются подготовка и обработка данных и формирование её электронного представления. Для этого должна быть специально спроектирована система решающая следующие задачи:

1. Обеспечение многопользовательской работы по формированию ЭЭД.
2. Формирование и выпуск документации по формальным требованиям спецификации ASD s1000D.
3. Формирование и сопровождение ЭЭД с использованием общей БД.
4. Формирование печатной и электронной версии ЭЭД на основе общих данных, хранимых в общей БД.
5. Формирование публикаций ЭЭД на различных языках, на различные даты, для различных конфигураций изделия.

Далее приводится описание архитектуры и модулей коллективно разработанного программного обеспечения для подготовки и сопровождения ЭЭД – Technical Guide Builder (TG Builder). Приводится описание принципов взаимодействия модулей в рамках клиент-серверного программного обеспечения.

Приведены схемы представления документов в общей базе данных. Схемы выполнены в соответствии с требованиями спецификации ASD s1000D. Документы в системе представлены в виде XML-объектов. В работе приведены схемы этих XML-объектов в соответствии с графической нотацией для среды разработки Altova XMLSpy. Для листовых XML-элементов приведены подробные описания технического назначения.

Далее приведены технические описания реализации модулей системы TG Builder, их пользовательского интерфейса и пользовательских функций. Описаны основные сценарии работы пользователя, в режиме формирования ЭЭД.

Приводятся сводные характеристики разработанной системы:

Характеристика	Значение
Среды разработки:	Borland Delphi 5, Borland Delphi 2006 Altova XMLSpy 2006 Enterprise Edition Stylus Studio 6 Enterprise Edition
Объём исходного кода	Более 2 000 000 строк в файлах *.pas *.inc.
Количество программных модулей	42 шт.
Количество базовых классов	Более 200 шт.
Заимствованные библиотеки и ActiveX - объекты	ActiveX компоненты MS Office; ActiveX компонент IPA Web View; ActiveX компонент Cortona VRML; VCL компонент работы с чертежами CADSoftImportVCL; VCL компонент VirtualTreeView; Более 10 прочих сервисных библиотек и компонентов.
Этапы разработки и сопровождения	Начало проектирования 2000 год; Разработка программного ядра системы 2001 год; Функциональное наращивание системы 2005 - 2007 годы; Сопровождение, поддержка и корректирование системы 2005 – 2007 годы; Промышленное использование в полном

Характеристика	Значение
	объёме 2007 – 2009 годы;
Фактическая трудоёмкость разработки	Около 70 человек-лет.

В четвертой главе описана технология разработки ЭД с помощью АСПС TG Builder в режиме промышленной эксплуатации для самолётов Су-30МКМ и Ту-214, приведена методика оценки экономического эффекта от разработки интерактивной документации на эти самолёты и фактические значения снижения себестоимости разработки ЭД, достигнутые в экспериментальных исследованиях.

В тексте главы приводятся результаты внедрения АСПС TG Builder для подготовки ЭЭД на самолёты Ту-214 и Су-30МКМ на предприятиях ОАО «Туполев» и ОАО ОКБ им. П.О.Сухого. Проанализирован опыт внедрения системы на этих предприятиях. В результате была создана электронная система управления эксплуатационной документацией. Использование разработанных методик позволило полностью описать в электронном виде данные в объёме «Руководств по Эксплуатации» и «Руководств по Техническому Обслуживанию», а также «Иллюстрированное руководство по наземному оборудованию (для КБ Сухого)».

Внедрение системы позволило:

- Сократить в среднем информационный объём хранимой документации не менее чем на 25%. Например для самолёта Ту-214 с 5,92 Гб до 4,3 Гб, а для самолёта Су-30МКМ с 2,5 Гб до 500 Мб;
- Сократить информационный объём оригинал макета примерно в 4 раза;
- Сократить затраты времени технических писателей и рецензентов на операции, связанные с поиском, копированием и изменением данных;
- Получить новые формы интерактивного электронного представления эксплуатационной документации на нескольких языках;
- Формализовать процессы управления изменениями ЭД и уменьшить число ошибок в ходе её сопровождения;
- Практически решить задачу передачи ЭД зарубежным и отечественным заказчикам в электронном виде, в соответствии с условиями договоров и международными стандартами.

Далее в главе описывается методика оценки экономического эффекта от автоматизированной разработки ЭД в системе TG Builder. В работе рассмотрен показатель сокращения затрат на разработку эксплуатационной

документации на изделие и его модификаций (ΔE), равный разности затрат при разработке эксплуатационной документации традиционного (бумажного) вида (E_1) и стоимости разработки интерактивной электронной документации с использованием общей БД (E_2).

Затраты на разработку традиционной (бумажной) ЭД для K различных модификаций изделий, в пределах одного типа, имеют вид:

$$E_1 = S_{мд} \cdot \sum_{i=0}^K n_i \quad [7]$$

где $S_{мд}$ - средние затраты на разработку 1-го модуля данных, $n_i \in N$ - количество МД в документации на изделие в i -ой модификации, K - количество модификаций.

Затраты на аналогичную разработку интерактивной электронной ЭД с использованием общей БД имеют вид:

$$E_2 = S_{мд} \cdot n_0 + S_{мд} \cdot \sum_{i=1}^K n_i - S_{мд} \cdot \sum_{i=1}^K n_i \cdot L_i \quad [8]$$

Где n_0 - количество МД в базовой конфигурации, $L_i \in R$ - доля модулей данных для i -ой модификации, которые можно заимствовать из документации на базовую модификацию.

В допущении, что количество МД на какую-либо модификацию (n) в среднем не меняется, а степень унификации (L) для всех модификаций в среднем одинакова, получим следующие величины затрат E_2 и эффекта ΔE :

$$E_2 = S_{мд} \cdot n + S_{мд} \cdot n \cdot K - S_{мд} \cdot n \cdot L \cdot K, \quad [9]$$

$$\Delta E = n \cdot S_{мд} \cdot K \cdot L, \quad [10]$$

, где $n \in N$ - среднее значение количества МД в документации на изделие для всех модификаций в пределах одного типа, L - среднее значение доли заимствования МД из документации на базовое изделие.

Далее в работе приведены фактические значения экономического эффекта от создания ЭЭД, достигнутые в экспериментальных исследованиях автора для самолётов Су-30МКМ и Ту-214.

Наименование параметра	ОАО «ОКБ Сухого»	ОАО Туполев
Обозначение изделия	Су-30МКМ	Ту-214
Затраты на разработку 1 МД ($S_{мд}$)	500 руб.	500 руб.
Количество МД в ЭЭД (n)	2450 шт.	3344 шт.

Наименование параметра	ОАО «ОКБ Сухого»	ОАО Туполев
Количество модификаций кроме базовой (K)	2 шт.	3 шт.
Степень унификации (L)	0,6	0,7
Величина экономического эффекта (ΔE)	1470000 руб.	3511200 руб.

Заключение.

В диссертации по теме «Автоматизация разработки интерактивных электронных руководств (ИЭТР)» представлены результаты законченной научно-исследовательской и инженерной работы выполненной с 2001 по 2010 годы в Научно-исследовательском центре CALS-технологий и на кафедре системного анализа в Московском инженерно-физическом институте (государственном университете).

Основные результаты работы нашли применение в авиационной промышленности при проектировании и эксплуатации авиационной техники, в частности самолётов ОАО Туполев и ОАО ОКБ им. П.О. Сухого.

Основные научные результаты:

1. На основе системного анализа процессов разработки эксплуатационной документации сложных изделий, выявлены основные актуальные задачи автоматизации этих процессов:
 - Формирование и сопровождение общей БД эксплуатационной документации, и соответствие её международным стандартам;
 - Обеспечение коллективного (многопользовательского) режима разработки ЭД;
 - Оптимизация качества эксплуатационной документации при ограничениях на объем финансирования.
2. Предложена математическая постановка и решение задачи оптимизации качества ЭД. Проведены вычислительные эксперименты с целью определения трудоёмкости оптимизации.

3. Обоснована функциональная структура автоматизированной системы разработки и сопровождения ЭД. Построена модель бизнес-процессов коллективного формирования ЭД.

Основные практические результаты:

1. Разработано, испытано и запатентовано программное обеспечение АСПС TG Builder для изготовления ЭД и проведено его тестирование по всем режимам работы.
2. Осуществлено внедрение в промышленную эксплуатацию системы TG Builder и её сопровождение при разработке документации на самолёты Су-30МКМ и Ту-214.
3. Использование результатов диссертации в авиационной промышленности привело к улучшению следующих технико-экономических показателей:
 - На международных рынках авиационной техники наличие электронной документации, отвечающей международным стандартам, является типовым современным требованием, поэтому использование АСПС TG Builder способствует повышению конкурентоспособности отечественных самолётов;
 - Время разработки ЭД в системе TG Builder сокращается в 2,5 раза, по сравнению с традиционной технологией и еще больший выигрыш достигается при сопровождении ЭД в результате модернизации изделий по бортовому оборудованию, языку страны – покупателя, климатическим условиям и другим особенностям в договорах поставки;
 - Документация, сформированная в системе TG Builder, может быть многократно использована при реализации новых проектов создания и модернизации авиационной техники.

Научное содержание работы автора изложено в 5 статьях, инженерные разработки защищены авторскими свидетельствами №2002610448 Роспатент, 28 марта 2002 г.

и №2007611601 Роспатент, 18 апреля 2007г.

Основные публикации по теме диссертации

Опубликованные в научных изданиях работы соискателя по теме диссертации, отражающие основные научные результаты диссертационной работы:

Публикации в журналах из перечня ВАК:

1. Петров А.В., Галин И.Ю., Электронная эксплуатационная документация: технологии и программные средства разработки и сопровождения /САПР и Графика. — №11. — 2002. — с.92-96
<http://www.sapr.ru/Archive/SG/2002/11/20/>
2. Петров А.В., Галин И.Ю., Технология подготовки электронной эксплуатационной документации в системе TG Builder / САПР и Графика. — №2. — 2003. — с.101-104
<http://sapr.ru/article.aspx?id=6883&iid=281>

Публикации в прочих изданиях:

3. Галин И.Ю., Технология создания и сопровождения электронной эксплуатационной документации / Научная Сессия МИФИ. — 2004. — Т.13 Экономика и управление. Международное научно-технологическое сотрудничество.
4. Галин И.Ю., Румянцев В.П. Оптимизационные задачи проектирования эксплуатационной документации промышленного продукта. Материалы международной конференции «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта. CAD\CAM\PDM - 2007» . — М.: Институт Проблем Управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2007. — с.84-87. — ISBN 978-5-91450-003-7.
5. Петров А.В., Галин И.Ю., Карпов Г.Н., Кокорев В.В., Занозин Д.А, Каналин И.Ю., Проскурня М.О. Программный продукт Technical Guide Builder. Свидетельство №2002610448 об официальной регистрации программы для ЭВМ. — М.: Роспатент. 28 марта 2002 г.
6. Петров А.В., Галин И.Ю. Программный продукт ЭЭД-МКМ для разработки и выпуска эксплуатационной документации в соответствии с требованиями авиационного справочника АС.1.1.1000D-2002 и управления её конфигурацией Свидетельство №2007611601 об официальной регистрации программы для ЭВМ . — М.: Роспатент. 18 апреля 2007г.