

*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 -  $\lambda$  (отказ), и интенсивностями восстановления -  $\mu$  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:

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

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 проведенных 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);  $\alpha_j$  - 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:

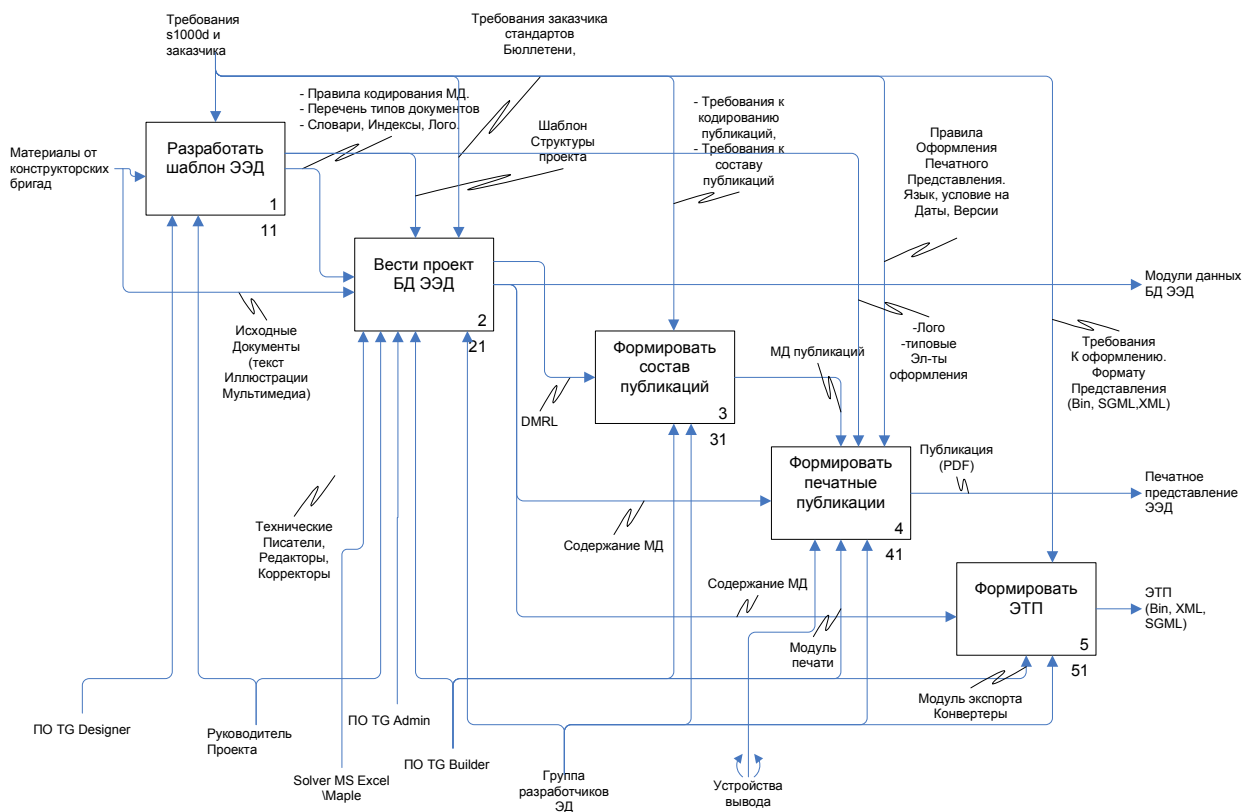
$$\left\{ \begin{array}{l} k_i(a_1 \dots a_n, p_1 \dots p_n) \xrightarrow{c} \max \\ c_i > 0 \\ \sum_1^n c_i < C_i \end{array} \right. , \quad [6]$$

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 ( $\Delta E$ ), 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  $\Delta E$ :

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

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

, 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
<b>Величина экономического эффекта (<math>\Delta E</math>)</b>	<b>1470000</b> руб.	<b>3511200</b> 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.