

На правах рукописи
УДК: 004.91, 629.7

Бодрышев Антон Валерьевич

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ДОКУМЕНТИРОВАНИЯ
ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ОТСЕКА
МАГИСТРАЛЬНОГО САМОЛЕТА**

Специальность 05.13.12
«Системы автоматизации проектирования»
(авиационная и ракетно-космическая техника)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва – 2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) на кафедре 904 «Инженерная графика».

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор, **Куприков Михаил Юрьевич**.

Официальные оппоненты:

Агульник Алексей Борисович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), заведующий кафедрой 201 «Теория воздушно-реактивных двигателей».

Никитин Андрей Алексеевич, кандидат технических наук, ЗАО «ГРИНАТОМ», начальник управления информационной поддержки жизненных циклов.

Ведущая организация ЗАО «Гражданские самолеты Сухого».

Защита состоится « 30 » мая 2012 г. в 15:00 на заседании диссертационного совета Д 212.125.13, ФГБОУ ВПО Московского авиационного института (национального исследовательского университета), 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, главный административный корпус, зал заседания ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО Московского авиационного института (национального исследовательского университета).

Автореферат разослан ___ апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.125.13
к.т.н., профессор

Л.В. Маркин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В связи с расширением производства воздушных судов (ВС) в Российской Федерации встает задача модернизации процесса документооборота, который в основном объеме стал электронным (Программы RRJ-95, MC-21). Безбумажный документооборот реализован на уровне хранения документов, а добавление новых материалов происходит посредством ручного ввода данных. Формирование пакетов документов для потенциальных эксплуатантов ВС требует больших временных затрат, поскольку каждый раз приходится обрабатывать значительные объемы данных, на основе которых требуется синтезировать электронный макет пассажирского отсека магистрального самолета, состоящий из линейной компоновки и комплекта документов с последующей проверкой результатов проектирования на технологичность. Автоматизация данного процесса позволит предоставлять документацию конечным потребителям в более сжатые сроки.

С конца 50-х годов XX века по настоящее время в гражданской авиации появилось множество самолетов с большой пассажироемкостью: A310/A330/A340/A380, ИЛ-86, L-1011, DC-10, B747/777, Ил-96-300/400 и т. п. Обычно каждая модификация ВС выпускается сериями, которые, в свою очередь, насчитывают от нескольких сотен до нескольких тысяч бортов. Конечной компании-эксплуатанту передается от нескольких единиц до нескольких десятков ВС, при этом в каждом самолете может быть реализована своя уникальная компоновочная схема пассажирского отсека (которая выбирается из десятков ранее разработанных) с целью максимального повышения эффективности использования ВС на конкретном маршруте.

Для предоставления на первом этапе разработки одного или нескольких вариантов компоновочных схем пассажирского отсека компании-разработчику требуется вести очень большой объем разнородной документации, содержащей весь перечень информации о компоновке объектов и о возможном месте их размещения. На этапе принятия решения по конкретной компоновке данная особенность цикла документирования останавливает работу департамента инженерной поддержки заказчика на срок от одного до трех рабочих дней, крайне задерживает производственный цикл проектирования ВС, особенно в случае необходимости параллельной работы над несколькими проектами, что является препятствием на пути решения дальнейших задач.

Выбор темы исследования обусловлен явной необходимостью разработки автоматизированного комплекса анализа и сравнения компоновочных решений по эксплуатационно-технологическим параметрам с целью первоначального синтеза компоновочного решения на основе ранее введенных исходных данных компоновочных объектов и заданного пространства, без его детальной проработки в системах СГМ.

Изучение производственных этапов современного авиационного машиностроения в области проектирования пассажирских отсеков

магистральных самолетов убеждает в актуальности внедрения методов оценки и сравнения компоновочных решений по эксплуатационно-технологической составляющей компоновки.

Специфические проблемы компоновки пространства летательного аппарата (ЛА) были рассмотрены в целом ряде работ: В. В. Мальчевского, С. М. Егера, М. Ю. Куприкова, В. Н. Гаврилова, Р. Г. Варламова. С точки зрения задач общего машиностроения следует отметить работы С. Я. Егорова, а также фундаментальные исследования, проведенные В. Л. Рвачевым и Ю. Г. Стояном.

Так же были рассмотрены аспекты проектирования систем автоматизированного документирования, изученные в работах Богаченко Н.Ф., Круковского М.Ю., исследования которых были построены на основе методически обеспеченной дисциплины «Теории автоматов».

На основании анализа работ можно сделать вывод о том, что при решении задач по проектированию пассажирских отсеков самолета учету времени, затрачиваемого на составление технической документации, уделяется недостаточное внимание. При реализации новых программ производства самолетов (RRJ-95, MC-21, Ту-204 и пр.) данные вопросы приобретают еще более важное значение.

Цель работы — разработка научно-методического обеспечения автоматизированного учета номенклатуры компонуемых объектов и предоставление детальных отчетов на ранних этапах предпродажной подготовки ВС в рамках работы над пассажирским отсеком MC для уменьшения временных затрат на заданном этапе проектирования.

Поставленная цель диссертационной работы достигнута на основе решения следующих задач:

1. Анализа этапов формирования информационных систем, отвечающих за предоставление документации в электронном виде.
2. Анализа эксплуатационно-технологических факторов, влияющих на выбор элементов в компонуемом решении, с целью выбора их значений по геометрическим и эксплуатационным параметрам.
3. Разработки и внедрения алгоритмов автоматизированного выбора элементов отсека по принципу эксплуатационной технологичности.
4. Разработки программного комплекса для анализа и сравнения компоновочных решений по эксплуатационно-технологическим параметрам с целью первоначального синтеза компоновочного решения на основе ранее введенных исходных данных выбираемых объектов и заданного пространства, без детальной проработки его в системах СГМ.
5. Разработки проектных рекомендаций по использованию созданного комплексного метода и применению программного комплекса при решении задач описания семантического облика пассажирского отсека MC.

Методика исследования. Объектом исследования является габаритно-параметрическая модель пассажирского отсека магистрального самолета. Предметом исследования является методика использования комплекса методов последовательного выбора элементов с учетом

эксплуатационно-технологических параметров и анализа получаемой номенклатуры элементов отсека. Математическая задача отыскания рациональных значений параметров поставлена как задача многокритериальной дискретной оптимизации.

Научная новизна заключается в разработке комплексного метода выбора номенклатуры элементов по критерию эксплуатационной технологичности с последующим представлением полученной информации об облике пассажирского отсека МС в семантическом виде.

В ходе работы были получены следующие результаты:

— Разработан автоматизированный подход к решению задачи синтеза номенклатуры и спецификаций используемых элементов с учетом эксплуатационно-технологических параметров без необходимости детальной проработки в СГМ.

— Предложен метод подбора компоновочных объектов МС с применением метода прямого подбора и экспертного метода с расчетом коэффициента эксплуатационной технологичности, а также функциональной желательности Харингтона.

— Разработаны автоматизированные системы управления процессами формирования документации пассажирского отсека МС: комплекс программ АКОГс, ФОРМа, «Спецификация».

Практическая ценность. Предложенные в диссертационной работе методы оценки компоновочного решения и выбора элементов пассажирского салона самолета могут быть использованы при формировании спецификаций и подборе элементов для других отсеков ЛА. Данный метод приемлем при разработке сопровождающей документации в различных машиностроительных отраслях. В качестве примера в работе приведена структура и алгоритм автоматизированного программного обеспечения «Спецификация», внедренного при проектировании и эксплуатации самолета SSJ-100, и его модификаций.

Результаты работы могут быть использованы в НИИ и ОКБ авиационной промышленности при разработке комплексных систем автоматизированного документооборота и при подготовке специалистов по ведению предпродажной подготовки ВС.

Достоверность автоматизированного программного обеспечения «Спецификация» была апробирована в рамках программы RRJ-95 (SSJ-100). Реализуемый программный комплекс «Спецификация» использовался при анализе конфигураций самолетов следующих заказчиков: упрощенная (AFL Lite AF) и полная (AW) конфигурации а/к «Аэрофлот», а/к Phongsavanh (AN), упрощенная (AV) конфигурация а/к Sky Aviation, а/к «Армavia» (AB), а/к «Газпромavia» и а/к «Якутия» (AC).

Использование данного комплекса программных средств позволяет сократить время, затраченное на формирование спецификаций сравнения номенклатуры компоновочных решений, в среднем на 37%, а так же сократить время принятия первого решения на этапе формирования макета пассажирского отсека магистрального самолета на 28%.

Внедрение результатов работы. Разработанный метод анализа схем размещения объектов пассажирского салона магистрального самолета, автоматизированные программные комплексы «Акогс» и «Спецификация» были внедрены в ЗАО «Гражданские самолеты Сухого» на следующих боратах (на январь 2012 г.): Sukhoi SuperJet 100 № 95007 (а/к Армавия), Sukhoi SuperJet 100 № 95008 (а/к Аэрофлот), Sukhoi SuperJet 100 № 95011 (а/к Аэрофлот). Экспертные методы выбора объектов по параметрам эксплуатационной технологичности использовались в отрасли народного хозяйства на производстве компании ООО «Хенкель Рус», что подтверждается соответствующими актами внедрения.

Публикации. Основные теоретические положения и результаты исследований изложены автором в трех научных рецензируемых статьях [5–7]. Описание оценки компоновочного решения в зависимости от параметров эксплуатационной технологичности представлено в работе [1], а также в тезисах докладов [2–4] на научно-технических конференциях всероссийского и международного значения.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, заключения, библиографического списка (82 работы отечественных и зарубежных авторов) и приложения. Общий объем диссертации — 140 страниц, включая 25 таблиц и 34 рисунка.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведены данные о современном состоянии проектирования пассажирского салона магистрального самолета. Доказана актуальность создания автоматизированного формирования номенклатуры размещаемых элементов в рамках пассажирского салона самолета с различными компоновочными решениями. Выявлена необходимость исследования задач подбора объектов предназначенных для размещения в салоне, с учетом параметров эксплуатационной технологичности. Сформулирована цель исследования, дана общая характеристика работы.

Первая глава состоит из трех частей. В *первой* приведено краткое описание традиционного подхода к формированию пассажирского самолета. Представлена схема, на которой показано место применения методов и алгоритмов описываемых в диссертационной работы в жизненном цикле

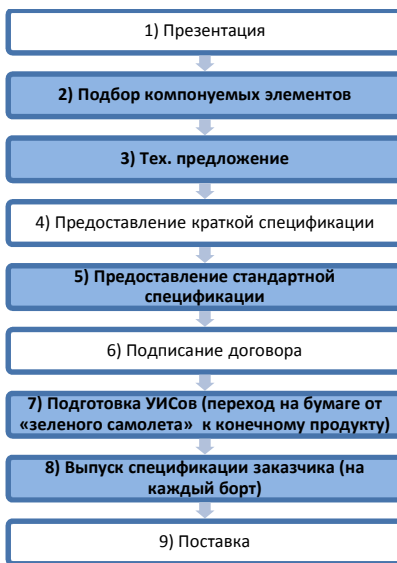


Рисунок 1 — Этапы подготовки документов перед поставкой ВС

поставки ЛА (рис. 1). На всем этапе жизненного цикла необходимо ведение многоуровневого потока документации, из которого будут формироваться:

- номенклатура компонуемых объектов;
- тех. предложение на поставку ВС;
- стандартная спецификация поставки самолета без учета опций заказчика;
- спецификация заказчика, основанная на стандартной спецификации разработчика, дополненная УИСаами (Уведомления об изменении спецификации), после чего происходит приемка и поставка ЛА.

Во второй части подробно анализируется программный комплекс Raselab Cabin (©PACE by Germany), в котором осуществляется формирование отсека пассажирского самолета и составление документации по перечню. Данная программа максимально близко подходит к решению задачи синтеза компоновочного решения пассажирского отсека МС, но в ней не реализован механизм учета эксплуатационно-технологических параметров в компонуемом отсеке, и программный комплекс, по своей сути, является продолжением данного решения. *Третья часть* главы посвящена вербальной и математической постановке задачи. В рамках вербальной постановки задачи рассмотрен вопрос компоновки отсека по эксплуатационно-технологическому признаку с дальнейшим компоновочным решением по геометрическому признаку.

Требуется определить вектор конструктивных параметров самолета X^* , состоящий из элементов, которым соответствует минимальное значение целевой функции $F(x;u)$ (время формирования формализованного отчета с учетом эксплуатационно-технологических свойств), связывающей параметры и характеристики проектов на множестве ограничений U (ограниченный по габаритным параметрам и требованиям по надежности, описанных в АП-21 и АП-23). За результирующую следует принять получение двух и более конфигураций ВС с учетом эксплуатационно-технологических параметров в более сжатые сроки.

В математической постановке задачи эффективность пассажирского отсека по эксплуатационно-технологическим параметрам можно оценить на основании значений ряда частных критериев, определяющих концепцию пассажирского отсека.

Таким образом, эффективность компоновочного решения характеризуется зависимостью:

$$X^* = \text{Arg min } F(x;u)$$

$$x \in X$$

$$u \in U$$

где:

$$X = X(K_{об}, T_{об}) \text{ — конструктивные параметры:}$$

$K_{об}$ — комплексный параметр технологичности конструкции изделия (ТКИ);

$T_{об}$ — время подбора используемого объекта;

$$U = U \left\{ \begin{array}{l} X_{об}, Y_{об}, Z_{об}, n_{об} \dots \\ N_{сеч}, N_{кр}, K_{отс} \dots \\ V_{об}, D_{нс}, L_{нс}, R_{об} \dots \\ \dots \end{array} \right\} \text{— вектор ограничений:}$$

$T_{об}$ — типы компонуемого оборудования;

$X_{об}, Y_{об}, Z_{об}, n_{об}$ — количество и местоположение компонуемых объектов;

$N_{сеч}$ — количество компонуемых объектов в сечении;

$N_{кр}$ — количество крепежных элементов в отдельновзятом объекте;

$V_{об}$ —ограничения минимального объема свободного технологического пространства на компонуемый объект;

$D_{нс}, L_{нс} \dots$ — геометрические ограничения пассажирского отсека;

$K_{отс}$ — технологически-эксплуатационные ограничения компоновки различных типов объектов;

$R_{об}$ —эргономические факторы для отдельных компонуемых объектов.

\dots — прочие конструктивные параметры, характеризующие геометрические параметры пассажирского отсека;

$F = F(K_{отс}, H_{отс}, T_p)$ —вектор целевой функции, или время получения результата в виде формализованного отчета с учетом эксплуатационно-технологических факторов;

$K_{отс}$ (коэффициент технологичности конструкции изделия)

определяется зависимостью:

$$K_{отс} = \frac{\sum_{r=1}^r K_{отсr} \alpha_{отсr}}{\sum_{r=1}^r \alpha_{отсr}} \quad (2)$$

Здесь $K_{отсr}$ —значение r -го частного показателя технологической рациональности конструкции изделия; $\alpha_{отсr}$ — коэффициент весомости r -го частного показателя технологической рациональности конструкции изделия; r — число частных показателей технологической рациональности.

$H_{отс}$ —фактическая надежность пассажирского отсека;

$$H_{отс} = \prod_{i=1}^n H_i,$$

где: H_i — фактическая надежность элементов, составляющих отсек.

T_p — временные затраты на получение результата.

Далее описание отсека, задаются в семантическом виде. Массив показываемых данных представлен в виде разбитой на уровни системы, состоящей из системной и параметрической частей. Системная информация содержит данные о логических связях, числовых данных, относящихся ко всем элементам компонуемого отсека. Параметрическая информация включает в себя связующую информацию о различных объектах.

Отсек представляется по следующей схеме (рис. 2):

$$MO = \{ SP_f, \{ SP_o \}_i, \{ MZ \}_j, \{ MP \}_i, DI \},$$

$$MZ = \{ SP_z, \{ MZ \}_r, r = 1, 2, \dots \};$$

$$MF = \{ SP_f, \{ MB \}_s, r = 1, 2, \dots \};$$

$$MB = \{ SP_b, PA \};$$

$$MP = \{ SP_p, \{ MF \}_i \}.$$

Где: SP_f — системные параметры отсека, SP_o — системные параметры компоуемых объектов, MZ — модель зоны отсека, определяющая свободную область для компоновки, SP_z , SP_f , SP_b , SP_p — системные параметры зоны, фрагментов, компоуемого объекта, MB — модель компоуемого отсека, PA — список параметров, MP — модель конкретного компоуемого объекта, i — номер компоуемого объекта ($i = 1, 2, \dots$), j — номер компоуемого пространства в рамках пассажирского отсека, DI — дополнительная информация, определяющая условия размещения компоуемых объектов (кухни, сан узлы и пр.).

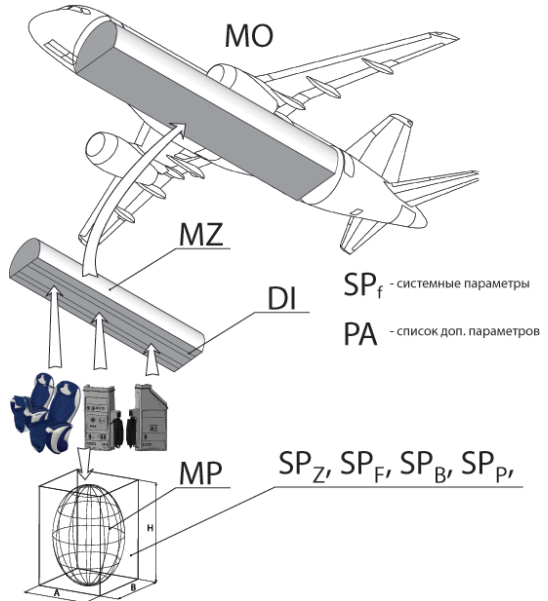


Рисунок 2 — Представление отсека для системы автоматизированного проектирования

Затем было проанализировано компоновочное решение с выявлением зависимостей в рамках компоуемых объектов. Для этого введено расчетное значение комплексного показателя компоновки:

$$K^K = K_{mp} (K_{\Sigma d}^k \alpha_d^0 + K_i^k \alpha_i^0), \quad (1)$$

где K_{mp} — частный показатель технологичности, учитывающий влияние массы и габаритных размеров составных частей изделия;

$K_{\Sigma d}^k$ — комплексный показатель технологичности конструкции собираемых модулей, входящих в изделие;

K_i^k — комплексный показатель технологичности, учитывающий конструктивные особенности изделия;

$\alpha_{\text{Д}}^0$ — обобщенный коэффициент весомости комплексного показателя технологичности $K_{\Sigma\text{Д}}^{\text{К}}$;

$\alpha_{\text{И}}^0$ — обобщенный коэффициент весомости комплексного показателя технологичности $K_{\text{И}}^{\text{К}}$.

После описания декомпозиции изучаемого пространства и основных объектов исследования необходимо определить круг задач для проведения этого исследования.

Реализация поставленных задач требует:

1. Оценки современных принципов построения систем автоматизированного проектирования.
2. Разработки методов расчета и анализа компоновочных решений исходя из эксплуатационно-технологических факторов.
3. Адаптации предложенных методик расчета к конкретным требованиям компоновки изделия в виде законченного программного комплекса.

Вторая глава посвящена определению стратегии, тактики и методам создания автоматизированного учета номенклатуры компонуемых объектов с учетом ограничений накладываемых пространством пассажирского отсека самолета, а также разработке метода оценки выбора элемента отсека и оценки оптимального компоновочного решения по критерию эксплуатационной технологичности.

В качестве методологической основы был взят жизненный цикл документации и производства пассажирского МС (рис. 3).

В процессе анализа компоновочной модели агрегатов магистрального самолета возникла необходимость в разработке нескольких программных средств, решающих различные задачи в рамках жизненного цикла создания самолета:

- АКОГС — система расчета компоновочного пространства внутри пассажирского отсека магистрального самолета;
- ФОРМа — система учета изменений между различными версиями спецификаций разработчика;
- Спецификация — система анализа и учета компонуемых объектов в рамках пространства магистрального самолета.

В результате:

1. Установлено, что создание инвариантной системы основывается на принципе декомпозиции и иерархической модели пассажирского отсека самолета как конкретного объекта проектирования.
2. Определены главные принципы создания архитектуры системы и иерархии классов. Это дает возможность определить очередность реализации моделей оборудования, которая применяется в процессе компоновки пассажирского самолета.

3. На основе анализа принципов, инструментов и средств разработки систем автоматизированного проектирования сделан вывод, что построение системы по принципу спирали позволяет осуществлять ее поэтапное включение в технологический процесс.

4. Путем сопоставления технологий унификации взаимосвязи программ определены приоритеты использования различных подходов к разработке программ.

5. В роли базовой для использования клиентом определена ОС Windows.

6. Составлен список задач и разработана концепция взаимодействия модулей, созданных в средах программирования С++ Builder, Delphi, а также использования не компилируемого языка программирования PHP в пределах данной АС.

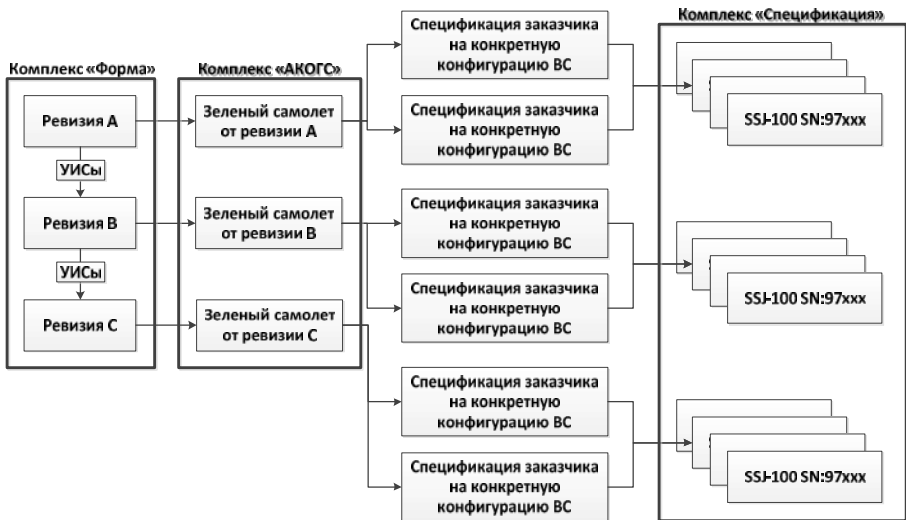


Рисунок 3 — Схема жизненного цикла поставки пассажирского самолета с использованием разработанного ПО

В **третьей главе** описывается метод выбора элементов отсека исходя из требований технологической составляющей компоновки конструкции изделия, оценки различных схем компоновочного решения с целью выбора оптимального с точки зрения эксплуатационной технологичности.

В *первой части* демонстрируется, что все показатели технологичности конструкции изделия можно свести в семь групп, а именно: показатели технологической рациональности конструкции изделия, преэссенности конструкции, ресурсоемкости изделия, производственные, ремонтные и общие. Все они влияют на показатель надежности. При компоновке объекта элементы, входящие в него, должны иметь показатель не ниже требуемого в ТЗ. В связи с этим с целью обеспечения надежности элементов на первый план выходят показатели эксплуатационной технологичности: ремонтпригодности,

легкоосъемности, взаимозаменяемости и др. Все это в большей степени определяется доступностью элемента или группы элементов, представляющих сборочную, компоновочную единицу.

Комплексный показатель эксплуатационной технологичности $K_{от}$ рассчитывается по формуле (2).

Схема выбора элементов (компоновочных решений) представляет собой следующую последовательность (рис. 4):

1. Создание массива объектов с заданными эксплуатационно-технологическими свойствами для выбора из них элемента в планируемое геометрическое пространство.

2. Проведение методом прямого выбора сравнения выборки объектов, удовлетворяющих основным эксплуатационно-технологическим требованиям. При наличии одного объекта с заданными требованиями он принимается в качестве элемента в заданное геометрическое пространство.

3. При наличии нескольких объектов, удовлетворяющих заданным эксплуатационно-технологическим требованиям, проведение расчета суммарного коэффициента эксплуатационной технологичности по каждому признаку, влияющему на его значение, с применением функциональной желательности Харрингтона, построение ряда предпочтительного ранжирования и выбор из полученного ряда наилучшего решения.

4. При отсутствии объекта, соответствующего заданным эксплуатационно-технологическим требованиям, построение при необходимости ряда ранжирования объектов и выбор наилучшего с целью принятия в дальнейшем окончательного решения о его доработке или изменении требований ТЗ к рассматриваемому элементу.

На рис. 5 представлен пример зон обслуживания в поперечном сечении фюзеляжа, учитывающих различные позы, принимаемые исполнителем, с процентным отношением производительности труда.

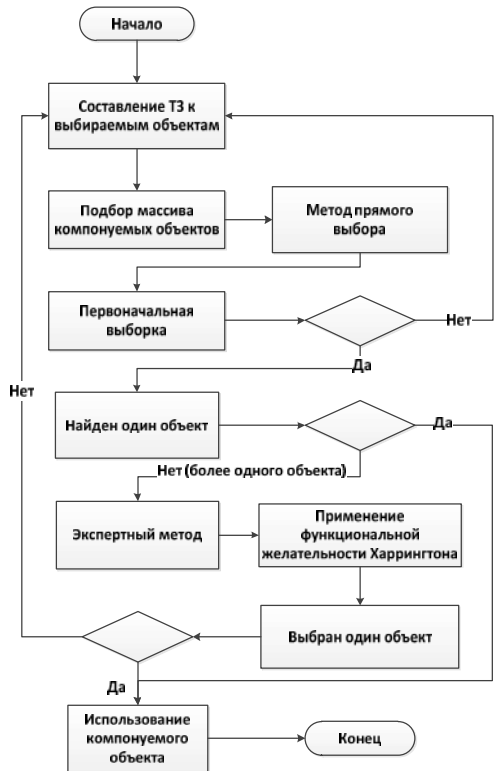


Рисунок 4 — Схема применения методов при выборе элементов

Вторая часть посвящена разработке метода выбора элемента конечного решения согласно требованиям эксплуатационно-технологического характера при наличии достаточного количества статистических данных.

При этом для множества объектов, формируемого из подмножества объектов, выпускаемого промышленностью и планируемого в качестве элемента отсека, анализируются все основные эксплуатационно-технологические требования P , предъявляемые к нему. Из ТЗ выбирается подмножество предельно допустимых требований к элементу T^{T3} .

Сопоставление предельно допустимых требований и данных эксплуатационно-технологического характера по каждому объекту методом прямого выбора позволяет определить массив, удовлетворяющий требованиям ТЗ. Установлено, что с целью выявления наилучшего объекта необходимо провести расчет коэффициента эксплуатационной технологичности с применением функциональной желательности Харрингтона, т. к. в этом случае достоверность полученных результатов значительно возрастает.

Эксплуатационно-технологический коэффициент для каждого k рассматриваемого элемента рассчитывается по формуле:

$$K_k = \sum_{i=1}^p K_{jk} \alpha_{jk}$$

Значение K_j рассчитывается согласно функциональной желательности Харрингтона:

- $K_j \in [0;0,37]$ — плохие данные по эксплуатационной составляющей;
- $K_j \in [0,37;0,63]$ — удовлетворительные данные по эксплуатационной составляющей;
- $K_j \in [0,63;0,8]$ — хорошие данные по эксплуатационной составляющей;
- $K_j \in [0,8;1,0]$ — отличные данные по эксплуатационной составляющей.

Интервальный диапазон определяется разницей между минимальным и максимальным значениями разброса эксплуатационного признака.

Весовое значение α_{jn} устанавливается для каждого элемента на основе статистических данных по эксплуатации элементов-аналогов.

Таблица 1. схема расчета коэффициента K_k

Вид признака	Номер рассматриваемого объекта			
	№1	№2	.	№k
1	$K_{11} a_1$	$K_{21} a_1$	.	$K_{k1} a_1$
2	$K_{12} a_2$	$K_{22} a_2$	.	$K_{k2} a_2$
.
n-1	$K_{1n-1} a_{n-1}$	$K_{2n-1} a_{n-1}$	.	$K_{kn-1} a_{n-1}$
n	$K_{1n} a_n$	$K_{2n} a_n$	.	$K_{kn} a_n$
Суммарный коэффициент $K_{сумk}$	$K_{сум1}$	$K_{сум2}$	.	$K_{сумk}$

В таблице 1 представлена общая схема расчета коэффициента K_k для выбора наилучшего объекта.

При выборе элемента часто необходимо учитывать экономическую составляющую. Приведенная схема позволяет это, приняв в качестве дополнительного признака ее характеристику.

В таблице 1 в последней строке определяется суммарный комплексный коэффициент выбора компоновочного решения, рассчитываемый как сумма текущих коэффициентов по каждому признаку для k -го объекта.

Из полученных значений $K_{сумк}$ выбирается максимальное. Объект с этим значением рекомендуется в качестве компоновки в общее изделие.

В *третьей части* изложены принципы применения метода выбора элемента (или компоновочного решения) при отсутствии необходимого количества статистических данных. Выбор элемента компоновки (или компоновочного решения) осуществляется с учетом экспертных оценок расчета коэффициентов эксплуатационной технологичности с привлечением квалифицированных экспертов, оценки их квалификации, с применением функциональной желательности Харрингтона.

Коэффициент эксплуатационной технологичности оценивается в соответствии с построением для каждого признака эталонных таблиц, характеризующих величину этого коэффициента.

Значение K_j рассчитывается согласно функциональной желательности Харрингтона: $K_j \in [0;0,37]$ — неудовлетворительный объект по данному признаку (неудовлетворительная компоновка), $K_j \in [0,37;0,63]$ — удовлетворительный объект по данному признаку (удовлетворительная компоновка), $K_j \in [0,63;0,8]$ — хороший объект по данному признаку (хорошая компоновка), $K_j \in [0,8;1,0]$ — отличный объект по данному признаку (отличная компоновка).

В таблице 2 представлен вариант оценки расчета $K^{13}_{доc}$ от параметра доступности с применением функциональной желательности Харрингтона в случае оценки по признаку трудоемкости сборки.

Таблица 2. Вариант оценки расчета $K^{13}_{доc}$

Трудоемкость сборки	Оценочный коэффициент $K^{13}_{доc}$
Доступность и легкосъемность в основном обеспечивается манипуляциями и зрительным контролем	$K^{13}_{доc} \in [0,8;1,0]$
Доступность и легкосъемность в основном обеспечивается только манипуляциями	$K^{13}_{доc} \in [0,63;0,8]$
Доступность и легкосъемность в основном требует сложных манипуляций, но обеспечивает зрительный контроль	$K^{13}_{доc} \in [0,37;0,63]$
Доступность и легкосъемность в основном требует сложных манипуляций и не обеспечивает зрительный контроль	$K^{13}_{доc} \in [0;0,37]$

С целью сравнения множества вариантов элементов k (вариантов компоновочных решений) фиксированное количество экспертов m анализирует группу параметров, подлежащих учету, n .

Каждый эксперт с учетом выявленных признаков, из которых складывается эксплуатационная составляющая, формирует таблицу (таблица 3), в которой для каждого сравниваемого объекта и вида признаков назначается коэффициент эксплуатационной технологичности. В конечном итоге в наличии оказывается m таблиц.

При расчете в таблице, как в предыдущем случае, учитывается весовой коэффициент каждого признака a_n .

В последней строке таблицы 3 определяется суммарный комплексный коэффициент выбора компоновочного решения, рассчитываемый как сумма текущих коэффициентов по каждому параметру для m -го эксперта.

С учетом мнения всех экспертов комплексный коэффициент $K_{сумk}$ для k -варианта компоновки исследуемого объекта изделия равен:

$$K_{сумk} = \sum_{k=1}^N K_k = \sum_{k=1}^N (M_{in} \alpha_{in}) \quad (3)$$

Из полученных значений $K_{сумk}$ выбирается максимальное. Объект с этим значением рекомендуется в качестве компоновки в общее изделие.

Таблица 3. Назначение коэффициентов эксплуатационной технологичности

№2 эксперта				
Вид признака	Номер рассматриваемого объекта			
	№1	№2	.	№k
1	$M_1 a_i$	$M_3 a_1$	.	$M_3 a_1$
2	$M_2 a_2$	$M_1 a_2$	.	$M_1 a_2$
.
N	$M_1 a_n$	$M_1 a_n$	.	$M_3 a_n$
Суммарный коэффициент $K_{сумk}$	K_1	K_2	.	K_k

При расчете K_k согласно предлагаемой методике проводится оценка согласованности мнений экспертов. Согласованность мнений (количество экспертов должно быть больше двух) необходимо оценивать величиной коэффициента конкордации W :

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}. \quad (4)$$

Здесь S — сумма квадратов отклонений оценок экспертов, m — число экспертов; n — число оцениваемых параметров конструкции.

Значимость вычисленного коэффициента конкордации проверяется путем сопоставления его значения с величиной χ^2 -критерия.

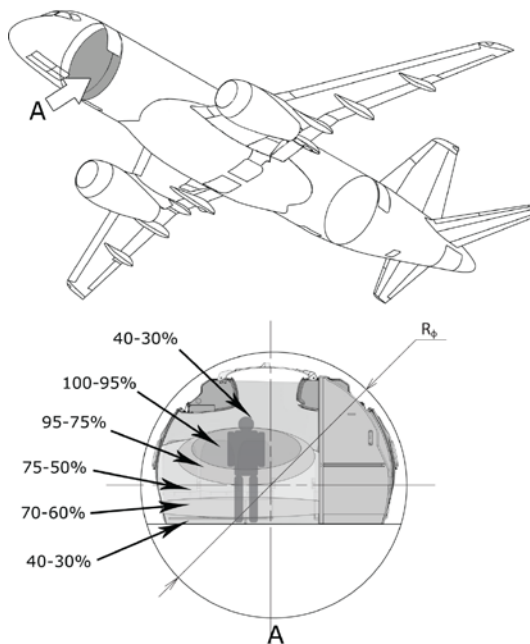


Рисунок 5 — Зоны обслуживания в поперечном сечении фюзеляжа, учитывающих различные позы, принимаемые исполнителем, с процентным отношением производительности труда

Достоверность результатов оценки повышается при увеличении количества экспертов. В случае ограниченного круга экспертов целесообразно оценить их компетентность. В диссертационной работе предложен метод оценки компетентности экспертов, что очень важно, когда количество квалифицированных экспертов ограничено.

Согласованность оценок экспертов A_{ij} по весу показателей и каждому из подходов считается:

- высокой — при $A_{ij} < 0,10$;
- выше средней — при $0,10 < A_{ij} < 0,15$;
- средней — при $0,15 < A_{ij} < 0,25$;
- ниже средней — при $0,25 < A_{ij} < 0,35$;
- низкой — при $A_{ij} > 0,35$.

На рис. 6 представлена схема выбора элемента отсека с применением экспертной оценки и коэффициента конкордации.

Четвертая часть посвящена разработанному методу оценки места размещения объектов в зависимости от условий ремонтпригодности, легкоъемности, взаимозаменяемости с применением функциональной желательности Харрингтона.

Варианты доступности к объекту рассмотрены исходя из:

- вариантов обеспечения доступности к объекту с помощью манипуляций и зрительного контроля;

- рабочих поз, принимаемых исполнителем в зависимости от условий места работы;
- удаленности местоположения изделия от оператора;
- обеспечения доступности к сторонам объекта.

В конечном итоге комплексный показатель технологической составляющей компоновки конструкции изделия по параметру доступности $K^{из}_{доc}$ определяется формулой:

$$K^{из}_{доc} = \frac{\sum_{j=1}^{\phi} K^{из}_{доc j} \alpha^{из}_{доc j}}{\sum_{j=1}^{\phi} \alpha^{из}_{доc j}} \quad (6)$$

Здесь $K^{из}_{доc j}$ — частный коэффициент j -го варианта доступности, $\alpha^{из}_{доc j}$ — весовой коэффициент $K^{из}_{доc j}$; ϕ — количество признаков рассматриваемых вариантов доступности.

Таким образом, в главе 3 рассмотрены основные методы оценки компоновочного решения и выбора объектов исходя из требований эксплуатационной технологичности. Результаты выбора элементов заносятся в автоматизированную систему «Спецификация».

Четвертая глава посвящена прикладному программному обеспечению, призванному решать задачи по анализу и учету компоновочных объектов в отсеках магистрального самолета. Использование программы «АКОГС», разработанной диссертантом, позволяет проводить анализ двухмерной компоновки пассажирского салона исходя из требований технологичности (рис. 7).

На следующем этапе рассматриваются принципы автоматизированного комплекса «ФОРМА».

На этапе создания самолета необходимо описать всю номенклатуру, которая будет прилагаться к самолету, а также поддерживать полученный документ — спецификацию разработчика — в актуальном состоянии. На его основе в дальнейшем проводится разработка спецификации заказчика, т. е. тех документов, в соответствии с которыми авиационные изделия будут поставаться в металле.

Спецификация состоит из следующих разделов:

- Описание номенклатуры оборудования, внутренних и внешних элементов, особенностей и прочего.
- Приложения с графическими материалами.

На протяжении всего жизненного цикла разработки авиационного изделия вносятся коррективы в перечень входящих в него единиц оборудования. Меняются поставщики, выпускаются новые модели комплектующих и пр. Для своевременного учета таких изменений был введен корректирующий документ — УИС (уведомление об изменениях стандартной спецификации). В данном документе производятся корректирующие правки в спецификации, затем, после накопления критической массы изменений, выходит новая ревизия спецификации, на основе которой осуществляется производство новых магистральных самолетов.

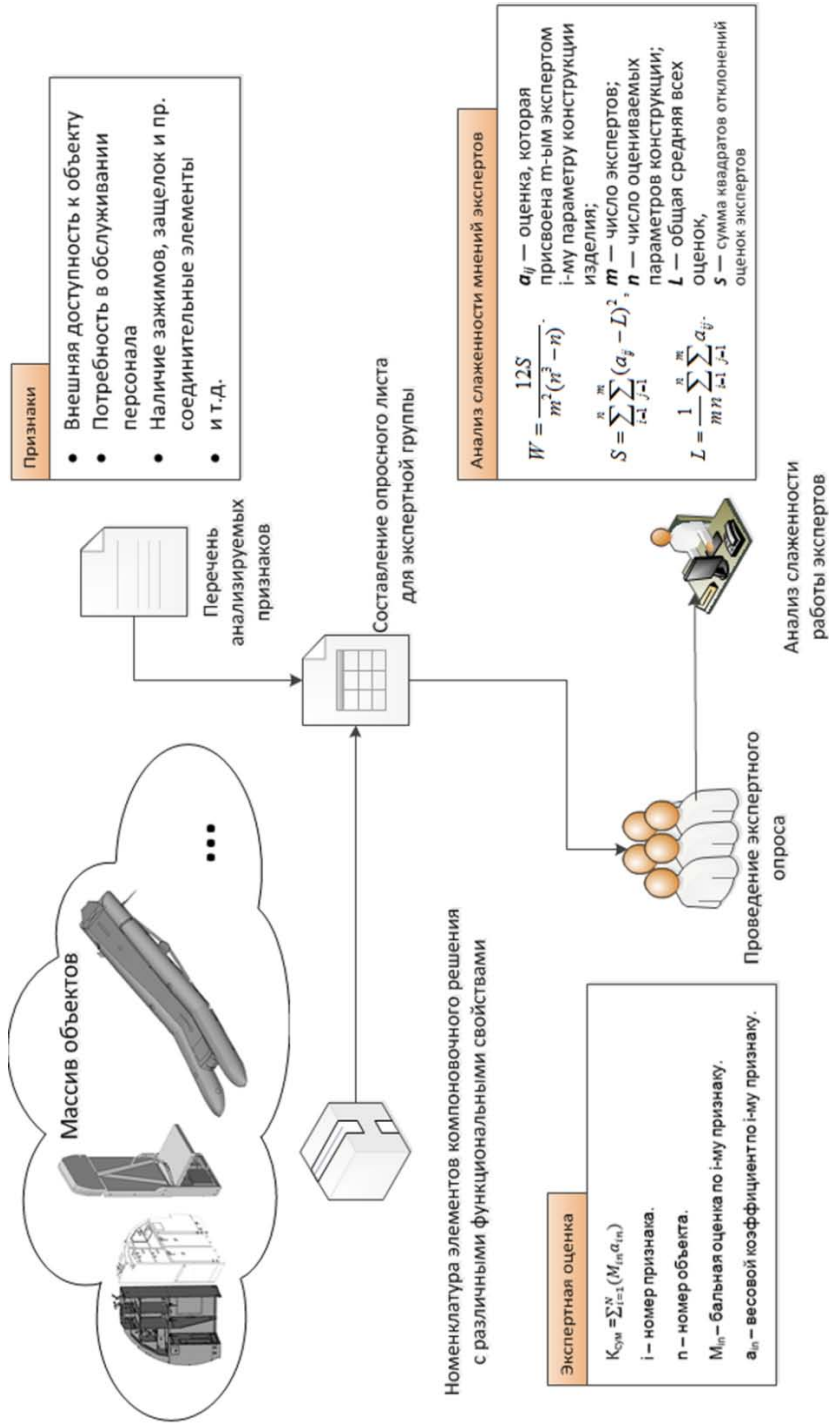


Рисунок 6 — Схема последовательности оценки элемента отсека с применением экспертной оценки

Работа со стандартной спецификацией заключается в обмене информацией между различными документами и записью их в единый реестр, поскольку необходимо не только внести изменения в спецификацию, но и зафиксировать эти изменения относительно предыдущих редакций в отдельном протоколе. Самой сложной на данном этапе представляется задача избежать ошибок вследствие так называемого человеческого фактора.

В связи с этим был разработан механизм учета изменяемых документов, который автоматически блокирует переход к новой ревизии, пока все УИСы не будут утверждены.

Корректирующий документ служит для внесения изменений в стандартную спецификацию и представляет собой форму для описания обновленных свойств, их влияния на самолет в целом и на документ в частности с указанием точных координат правок.

После получения всей нормативной документации необходимо сформировать полученные данные в виде формализованного отчета, в котором учитывались бы все компоуемые объекты, по которым принимаются решения в рамках разработки компоновочного решения. Данная задача была реализована в программе «Спецификация». Для обеспечения удобства работы операторов вся информация может быть загружена посредством ручного ввода или импорта данных в бинарном формате.

Этапы работы сводятся к решению следующих задач:

- выявление требований к входным данным;
- сбор первоначальных данных;
- обработка первоначальных данных;
- выборка из первоначального объема данных материалов с уникальными функциональными характеристиками;
- подготовка материалов к выводу в виде формализованного отчета;
- вывод окончательного отчета с различными объемами входящей информации;
- представление информации о семантическом облике воздушного судна для конкретной авиакомпании с возможностью отслеживания всех изменений в номенклатуре входящих элементов конкретного борта.

Первоначальная обработка информации проводится посредством анализа статистических данных с применением метода прямого выбора с дальнейшим расчетом коэффициентов эксплуатационной технологичности, построения ранжированного ряда и выбора оптимального объекта на место элемента компоновочного пространства отсека. В случае отсутствия необходимого количества статистических данных предлагается метод выбора элемента (варианта компоновочного решения) с приглашением квалифицированных экспертов после оценки их квалификации. Подробное описание данных методов представлено в главе 2.

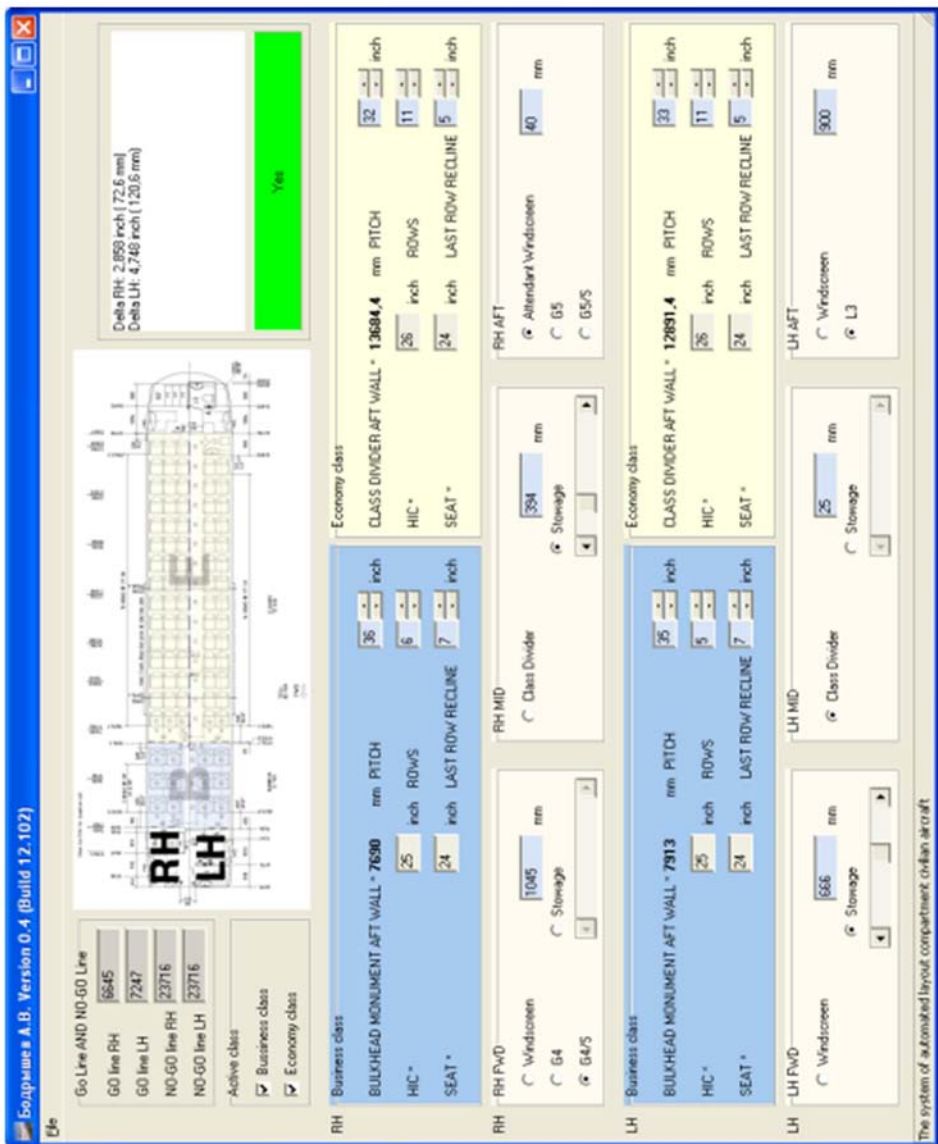


Рисунок 7 — Интерфейс рабочего окна системы АКОГС

Верификация модели. С целью качественной оценки трудоемкости выполнения цикла работ, связанных с предоставлением технической части предложения по поставке ВС между ручным и автоматизированным методом и форматирования документации, было использовано специализированное программное обеспечение для анализа активности пользователей StatWin Professional. Анализ трудоемкости был проведен на основании подсчета количества кликов компьютерной мышью и нажатий клавиш на клавиатуре в ходе выполнения определенной задачи. Представлены результаты комплексного анализа процесса подбора компоновочных объектов и синтеза семантического облика МС в виде количества кликов или нажатий клавиш в ходе выполнения данных задач, позволяющих делать выводы об эффективности проводимых работ.

Анализируя полученные результаты важно отметить, что точно дать оценку эффективности метода в чистом виде крайне затруднительно. При решении инженерных задач, например на этапах формирования номенклатуры размещаемых объектов в пассажирском отсеке МС, можно увидеть закономерность рис. 8, которая показывает, что при автоматизации программного комплекса с использованием комплексного метода по подбору размещаемых объектов с учетом эксплуатационно-технологических факторов сокращено время, по сравнению с аналогичными ручными методами на промежуток от 17% до 59%. Данные результаты были получены во время исследования работы проводимых над проектом RRJ-95 (SSJ-100) на основе которых были выявлены заметные снижения сроков формирования семантического облика магистрального самолета и производится учет всех изменений от одной ревизии спецификации к другой.

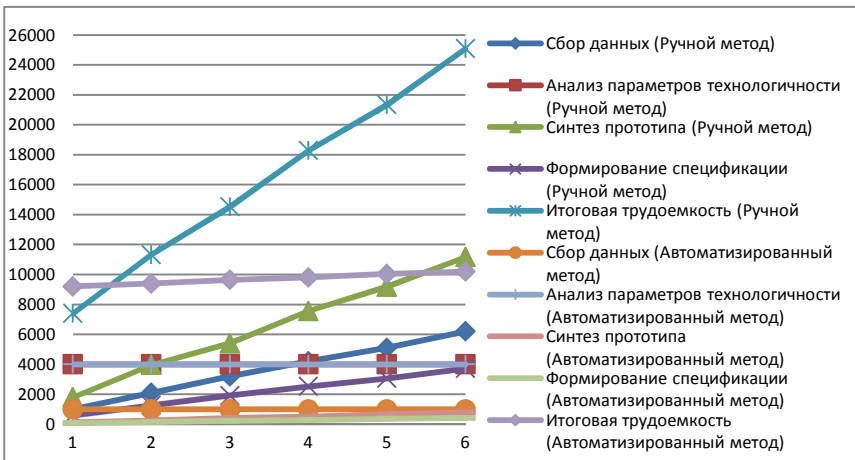


Рисунок 8 — Результаты проектных исследований по временным затратам на прохождение всех этапов формирования конфигурации ЛА

Оценка трудоемкости была произведена на следующих этапах:

- сбор данных для формирования одного компоновочного решения;
- анализ параметров технологичности при подборе компоновочных объектов;
- синтез прототипа компоновочного решения;
- формирование спецификации с проведением сравнения учитываемых параметров компоновки.

Во время подготовки технической части коммерческого предложения было проведено исследование с целью количественного учета действий оператора ПК для выполнения необходимых операций в виде кликов мыши или нажатий клавиш клавиатуры, которое показало, что различия между автоматизированным и ручным методом незначительны при предоставлении одной конфигурации, но при формировании двух и более конфигураций прирост эффективности становится весомым, что в дальнейшем позволит подготовить более проработанное предложение по формированию внутреннего облика пассажирского отсека ВС. Прирост производительности составил более 17% при формировании одной конфигурации ВС, данные исследования были проведены при сравнении конфигураций в рамках проекта RRJ-95 (SSJ-100) для дальних этапов формирования спецификации разработчика (рис. 9).



Рисунок 9 — Спецификация разработчика с иправлениями

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе предложен новый метод автоматизации документирования процесса формирования облика пассажирского отсека магистрального самолета с комплексным методом выбора элементов отсека по параметру эксплуатационной технологичности с учетом достоверности принятого решения. Суть данного метода заключается в декомпозиции пространства отсека с созданием базы данных массива элементов планируемой номенклатуры будущего отсека. Подбор элемента осуществляется путем применения комплексного метода для подбора массива объектов, предлагаемых промышленностью, при условии удовлетворения всех требований ТЗ, накладываемых на проектируемое компоновочное решение. С учетом выбранного с помощью предлагаемого метода массива элементов можно сделать вывод об уровне проработки заданного компоновочного решения по параметрам эксплуатационной технологичности до этапа детальной проработки в СГМ посредством представления программного комплекса позволяющего в дальнейшем произвести автоматизированный ввод документации описывающий изменение в конфигурации ЛА.

ВЫВОДЫ

1. Автоматизирован процесс формализации оборудования и пространства пассажирского отсека МС с учетом их эксплуатационной технологичности. Благодаря этому были разработаны алгоритмы процедур выбора размещаемых

объектов по параметрам эксплуатационной технологичности с учетом всех требований ТЗ к данному решению с учетом функции желательности Харрингтона. Данный метод позволил сократить время, затрачиваемое на анализ компоновочных схем и формализацию номенклатуры располагаемых элементов в рамках ограничений накладываемых требованиями выдвигаемых к пассажирскому отсеку магистрального самолета, на 17% при расчете предоставления двух конфигураций ВС каждому заказчику.

2. Разработан комплексный метод выбора элемента с заданными эксплуатационно-технологическими параметрами, который может быть использован в расчетных алгоритмах документирования в других отраслях и который позволит уменьшить время принятия первого решения на этапе подбора размещаемых объектов на 28%.

3. Программные комплексы АКОГс, ФОРМа, «Спецификация» полностью соответствуют требованиям ГОСТ 23501.101-87 и ГОСТ 34.003-90, что позволяет использовать их как основу для дальнейшей интеграции с другими системами.

4. Предлагаемая соискателем комплексная методика выбора элементов основывается на последовательном применении метода прямого выбора и экспертной модели выбора объекта по максимально высокому комплексному показателю эксплуатационной технологичности, определяемого с применением функциональной желательности Харрингтона с оценкой достоверности выбора объектов с применением коэффициента конкордации.

5. Данный подход позволяет формировать номенклатуру оборудования исходя из уменьшения количества итераций на подготовку комплекта документов, связанных с созданием технической части договора при подготовке к передаче ВС заказчику, что отражено при анализе трудоемкости формирования конкретной конфигурации ВС.

6. Данная методика инвариантна ко многим отраслям производства, в том числе и к отраслям народного хозяйства. Согласно исследованиям, проведенным на базе фирмы ООО «Хенкель Рус» на этапе подбора нового оборудования в цех по упаковке бытовых порошков было показано, что эффективность данного сегмента на стадии исследования может быть повышена в 1,4 раза за счет применения комплексного метода, учитывающего эксплуатационно-технологические факторы компоновочного оборудования.

Таким образом, разработанное научно-методическое обеспечение САПР, включающее методики, алгоритмы и прикладные программные средства экспресс-анализа компоновочных объектов пассажирского отсека МС, а также комплекс программ по автоматизации документирования этапа подготовки семантического облика ЛА позволяют решить задачу подбора размещаемых объектов и вывода информации в виде спецификации с учетом эксплуатационно-технологических требований на 17% быстрее для двух вариантов конфигураций или на 59% для предоставления шести вариантов конфигураций пассажирского отсека ВС, в случае сравнения с ручным методом выполнения аналогичного объема задач.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Бодрышев А. В. Создание стандартизированной модели web-сайта для дошкольных учреждений. // «Новые информационные технологии». Тезисы докладов XII Международной студенческой школы-семинара — М.: МГИЭМ, 2004 — 421с., ISBN 5-94506-041-0.
2. Бодрышев А. В. Создание системы автоматизированного проектирования печатной продукции. // «Новые информационные технологии». Тезисы докладов XV Международной студенческой школы-семинара — М.: МИЭМ, 2006 — 489с., ISBN 5-94506-138-7.
3. Бодрышев А. В. Применение функции желательности Харрингтона для работы метода оценки рациональности конструктивно-технологического и геометрического компоновочного решения изделия. Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции // «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2010». Том 5. Технические науки. — Одесса: Черноморье, 2010. — 87 с. ISBN 966-555-157-4, УДК 62,65,66,67,68,004,52, ББК 3.
4. Бодрышев А. В. Оценка рациональности геометрического и конструктивно-технологического компоновочного решения изделия. // Тезисы докладов 9-й международной конференции «Авиация и космонавтика» 2010. С. 132–133.
5. Бодрышев А. В. Проект системы формирования отчетно-ревизионной документации для учета изменений проектных решений гражданских ЛА. // Труды VII Всесоюзной конференции студентов, аспирантов о молодых ученых. «Технология Microsoft в теории и практике программирования». — 2010. — С. 67–68.
6. Бодрышев А. В., Куприков М. Ю. Влияние условий технологической рациональности и преемственности конструкции изделия на компоновку агрегатов ЛА. // Прикладная геометрия, инженерная графика, компьютерный дизайн. — № 15 (1). — 2009 г. — С. 28–32.
7. Бодрышев А. В., Куприков М. Ю. Выбор компоновочного решения при отсутствии явного прототипа с применением коэффициента конкордации // Электронное издание «Труды МАИ». — № 47. — 2011 г. (<http://www.mai.ru/science/trudy/published.php>)
8. Бодрышев А. В., Куприков М. Ю. Выбор оптимального компоновочного решения исходя из требований ремонтпригодности, взаимозаменяемости, легкоъемности // Вестник Московского авиационного института. — № 4. — Том 18. — 2011 г. — С. 20–26.
9. Бодрышев А. В., Куприков М. Ю. Метод оценки очередности компоновки объектов с учетом обеспечения требований по параметрам ремонтпригодности в пассажирских отсеках магистральных самолетов // Электронное издание «Труды МАИ». — № 48. — 2011 г. (<http://www.mai.ru/science/trudy/published.php>).

© А.В. Бодрышев

Подписано в печать: 24.04.2012. Усл. печ. л. 1,0. Тираж: 100 экз. Заказ № 283.
Отпечатано в типографии ООО «РЕГЛЕТ», 125315, г. Москва, Ленинградский просп., 74, корп.1. (495) 661-60-89, www.reglet.ru