



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРВИЧНОЙ СТРУКТУРЫ САПР для АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ОБЛИКА КОМПЛЕКСОВ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А.В. Хакимов, В.А. Нечаев, М.О. Костишин (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики),

О.О. Жаринов (Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения)

Рассматривается разработка перспективных воздушных судов гражданского целевого назначения. Исследуется комплекс бортового оборудования как составная часть воздушного судна. Проведено исследование процесса проектирования воздушного судна на основании требований технического задания. Составлен функциональный облик, представляющий верхний уровень, как результат проектирования комплекса бортового оборудования. Представлен состав общесамолетных функций, обеспечивающий минимальный набор бортового радиоэлектронного оборудования. Выделены функции, относящиеся к большинству типов комплексов бортового оборудования. Приведена градация функций по степени их сложности. Описан существующий подход к проектированию новых комплексов бортового оборудования воздушных судов. Рассмотрена возможность применения системы автоматизированного проектирования комплексов. Представлен конечный результат работы такого автоматизированного проектирования. Описаны функциональные возможности данной системы автоматизированного проектирования. Приведены преимущества применения предложенной системы автоматизированного проектирования.

Ключевые слова: бортовое оборудование, разработка авионики, функции авионики, уровень проектирования, готовые решения, структурное моделирование, автоматизированное проектирование.

Введение

Гражданская авиационная промышленность в России нацелена на разработку наиболее перспективных воздушных судов (ВС), предназначенных для решения задач по перевозке пассажиров. Самыми известными ВС отечественных разработчиков являются такие самолеты, как: МС-21, Sukhoi Superjet 100, ТУ-204 СМ, АН-148, ИЛ-96 и др. Все эти самолеты являются воплощением инженерной мысли и кропотливой работы множества разработчиков.

Понятие ВС с точки зрения разработки включает синтез трех основных компонентов, без которых процесс полета не возможен. Фюзеляж, двигатель и комплекс бортового оборудования (КБО).

В данной статье речь пойдет о проектировании КБО, процесс разработки и проектирования которых является весьма длительным и дорогостоящим. При этом высокие затраты ресурсов оправданы потребностью в обеспечении требуемой функциональности вновь разрабатываемых комплексов. Основные цели, которые преследуют разработчики, направлены на проектирование КБО с максимальной функциональностью, которая реализуется на минимальном наборе аппаратных и программных средств, обеспечивающих необходимые показатели надежности, стоимости, точности, сроков эксплуатации и т. д. Все эти показатели должны быть учтены в ходе разработки комплексов. Также существуют документы, пред-

являющие требования для КБО, например, единые нормы летной годности и авиационные правила.

В первом приближении образ КБО описан требованиями к его функциональности, которые предопределяет организация, занимающаяся разработкой ВС. Данные исходные требования задают начало всему процессу проектирования, который в итоге должен обеспечить необходимую функциональность. В соответствии со стандартом по ведению опытно-конструкторских работ (ГОСТ РВ 15.203-2001), который на сегодняшний день наиболее популярен в среде разработчиков, сначала выполняется этап эскизно-технического проектирования (ЭТП). На данном этапе принимаются концептуальные решения, рассматривается возможность реализации требований и оговаривается примерный срок завершения работ. Выходные данные этапа ЭТП выражаются в виде структурных, функциональных схем и технического предложения. После начинается инженерная работа по выполнению утвержденных проектных решений.

Этапы проектирования выполняются последовательно, и утвержденные на этапе ЭТП технические решения при выполнении последующих этапов лишь детализируются и реализуются. В виду этого получается, что чем позже обнаруживается ошибка или необходимость изменения технических решений, тем большие временные и экономические потери несет разработчик. Если изменения касаются основопола-

гающих технических решений, то процесс разработки фактически начинается заново. Это делает задачу разработки КБО на верхнем уровне проектирования актуальной и перспективной.

На сегодняшний день данная задача решается с помощью привлечения экспертов. Набирается группа людей (экспертов), которая решает вопросы по возможности реализации заданных функций и обеспечения их выполнения за счет существующих технических решений. Обсуждаются возможные прототипы, их недостатки и рассматривается перспектива их доработки за счет дополнительных решений. Данный процесс является весьма длительным, поскольку выполняется вручную и опирается на рассмотрение множества возможных вариантов решения поставленной задачи. При этом влияние человеческого фактора наиболее часто является причиной возникновения ошибок. Для такого подхода применяются различные методы оценок экспертных мнений [4]. Но проблемы не проработанности все равно остаются, поскольку часть вопросов решается интуитивно или на основании опыта предыдущих разработок. Число рассматриваемых экспертами вариантов невелико в виду трудоемкости их разработки, а сами варианты плохо детализированы. При этом сравнение вариантов КБО производится экспертами по критериям, которые они же и выбирают.

Решением указанных проблем может стать проведение оптимизации конечного результата на основе множества предложенных вариантов. Как известно, чем больше вариантов моделей, тем более качественный и точный результат будет получен. Однако процесс проектирования даже одного варианта структуры комплекса занимает немалое время. Качественное решение задачи, таким образом, достижимо только при помощи вычислительной техники, а именно, путем создания системы автоматизированного проектирования (САПР) [2] первичного облика КБО.

Формирование функционального облика

Для применения САПР в описанном процессе разработки необходимо формализовать принцип декомпозиции функций верхнего уровня. Разработка бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) ВС осуществляется для достижения одной единственной цели: выполнение полета по заданным требованиям. Отсюда, по отношению к окружающему миру, можно выделить самую первую функцию ВС, в частности КБО, — обеспечение процесса полета. Эта функция выполняется тремя составляющими конструкции ВС, отсюда следует, что БРЭО отвечает за качество полета.

Понятие качества полета напрямую связано с функциональностью оборудования. На сегодняшний день не существует единого представления о том, как каждая отдельная функция должна быть реализована, и должна ли она быть реализована функционально независимой. Поэтому при разработке применяется принцип смешанного проектирования [3,

4], который позволяет делить функции, основываясь на существующих и хорошо зарекомендовавших себя технических решениях и устройствах.

При реализации смешанного проектирования входными данными для функциональной модели КБО являются функции различной степени сложности, которые могут изменяться в процессе разработки. Для примера было проведено исследование функциональности КБО самолета и выделены две задачи [5], которые в настоящее время обеспечиваются пилотажно-навигационным комплексом:

- по обеспечению управления и контроля внутренних параметров ВС;

- по обеспечению управления и контроля в аспекте взаимодействия ВС с внешней средой.

Эти задачи выполняются определенным числом комплексов, систем, устройств и отдельных частей. Их число зависит от сложности и декомпозиции основных задач на функции, которые могут быть выполнены на сегодняшний день с учетом ограничивающих проектирование факторов: время, цена, функциональность, надежность, конструктивное исполнение и т.п. Для декомпозиции функций используется системный подход, который позволяет построить структуру функций комплекса [6]. Деление функции теряет смысл, когда ее степень сложности достаточно мала, чтобы быть реализованной стандартными техническими средствами. Степень сложности функции также определяется количеством ресурсов, которые необходимо затратить для ее реализации.

В результате декомпозиции задачи обеспечения управления и контроля в аспекте взаимодействия ВС с внешней средой была выделена необходимость определения параметров движения ВС. Такими параметрами движения ВС являются:

- координаты местоположения. Данные могут быть получены от следующих систем: астрорадионавигационная система, спутниковая навигационная система, бесплатформенная инерциальная навигационная система, гибридная инерциальная навигационная система, радиотехническая система ближней/дальней навигации;

- высота полета. Данные могут быть получены от системы воздушных сигналов, инерциальных навигационных систем, спутниковых навигационных систем;

- путевая скорость. Данные могут быть получены от доплеровского измерителя скорости, инерциальных навигационных систем, спутниковой навигационной системы;

- воздушная скорость. Данные могут быть получены от системы воздушных сигналов;

- вертикальная скорость. Данные могут быть получены от системы воздушных сигналов и инерциальных навигационных систем.

Для реализации каждой отдельной функции может применяться несколько систем из ныне существующих и серийно выпускающихся. Таким образом, задача в упрощенном виде сводится к выбору опти-



Процесс моделирования КБО

мальной комбинации серийных систем. При этом главными критериями оптимальности выбора будут являться: массогабаритные свойства, стоимость, отказобезопасность и надежность.

Описание состава САПР КБО

Повсеместное применение и внедрение САПР обусловлено множеством факторов, влияющих на конечный результат разработки. Основными ожидаемыми результатами от внедрения в процесс проектирования предлагаемой САПР будут:

- ускорение процесса проектирования;
- снижение стоимости;
- возможность разработки ряда моделей объекта с учетом изменения значений параметров и критериев к моделированию;
- возможность проведения процесса оптимизации на основе ряда моделей;
- уменьшение влияния ошибки человеческого фактора;
- минимизация участия экспертов при составлении модели КБО.

Согласно видам обеспечения САПР информационное обеспечение является наиболее объемным. Информационное обеспечение должно предоставлять пользователю информацию об изделии, выбранном при решении поставленной задачи. В данном случае это задача проектирования первичного облика КБО на основе известных функций ВС и существующих прототипов БРЭО. Этот процесс связан с задачей комплексирования оборудования.

Отличительной особенностью проектирования с помощью данной САПР от задачи комплексирования является возможность оптимизации структуры КБО и возможность моделирования изменения этой структуры в зависимости от изменения значений конкретных параметров. Пример процесса моделирования КБО в САПР представлен на рисунке.

Для построения САПР желательно использовать структурный метод организации данных и моделей объектов. Модели объектов хранятся в базе данных, которая может обновляться и корректироваться. При

составлении структурно-функционального облика КБО учитываются различные критерии [7], по которым выполняется деление функций и выбор применяемого оборудования. К основным критериям выбора оборудования можно отнести: стоимость, число реализуемых функций комплекса, надежность, указанные в ТЗ требования заказчика по применению каких-то конкретных систем, точность значений параметров и т.п. Конкретный перечень критериев должен быть сформирован в ходе разработки и апробации САПР.

Библиотека серийно выпускаемых систем бортового оборудования ВС — важная составная часть САПР. Она должна содержать описание каждой из систем для возможности формирования их математических моделей.

Математические модели систем должны содержать следующие данные о реальной системе:

- функции;
- перечень формируемых данных (высота, скорость, признак чего-либо и т.д.);
- точность значений формируемых параметров;
- частота обновления данных;
- массогабаритные характеристики;
- интерфейсы обмена данными и их характеристики;
- перечень необходимых для работы данных;
- параметры электропитания;
- параметры надежности и отказобезопасности.

Отметим, что математические модели различных систем будут иметь перечень типовых параметров и уникальных параметров для каждой системы. Этот факт усложняет задачу построения унифицированной математической модели системы КБО и задачу разработки алгоритмов работы САПР.

Вторая составная часть САПР должна позволять выполнять задачу декомпозиции функций и их структурного моделирования. При этом должна решаться задача поиска оптимального варианта структуры функций, опираясь на имеющийся в библиотеке набор систем. Используя подход структурного моделирования, описанный в [8], приходим к необходимости

Упрощать сложное – во всех отраслях знания самый существенный результат.
Г. Бокль

формализации вычислений структурных показателей комплекса. Такими показателями являются: сложность, надежность, пропускная способность по времени работы, универсальность, информативность, иерархичность. Исходя из этих показателей, может быть определено качество функционирования всего КБО и его отдельных функций.

Процесс создания математической модели элементов библиотеки является сложной задачей из-за большого разнообразия оборудования на рынке. Создание отдельных математических моделей под каждую систему является чрезвычайно трудоемкой задачей, что неизбежно ведет к необходимости формирования если не одной, то нескольких типовых моделей.

Решением такой задачи может служить классификация по общим параметрам и выделение единой структуры математической модели, которая описывает максимальное число систем. С учетом того, что авионика ВС имеет исторически сформировавшуюся и во многом унифицированную структуру большинства основных систем, то предложенным образом, может быть решена задача унификации структуры математической модели системы.

Для работы со структурными показателями системы удобно применять комбинаторно-логические методы [9]. С помощью алгоритмов метода балльных оценок можно вычислить значения показателей и построить таблицу рейтинга систем, которая будет служить основой для реализации процесса автоматизированного построения структуры на основе готовых технических решений.

Заключение

С учетом роста функциональности и производительности бортового оборудования ВС задача без-

ошибочного формирования структуры КБО на этапе эскизного проектирования является актуальной. Решение этой задачи в ручную, без применения вычислительных средств является малоэффективным и не позволяет получить качественный результат. При этом затрачивается очень много времени на проектирование даже одной структуры КБО. Поэтому применение предлагаемой САПР можно считать необходимым условием для дальнейшей разработки эффективных и экономически конкурентных КБО.

Список литературы

1. Григан А.М. Управленческая диагностика: теория и практика: Монография // Ростов на Дону. РСЭИ. 2009. 316с.
2. Lyamkin A.A., Belskii G.V. Complex technical systems models. 2015 XVIII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). August. 2015.
3. Luca P. Carloni. From Latency-Insensitive Design to Communication-Based System-Level Design. Proceedings of the IEEE. Vol 103(11). October. 2015.
4. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. Уч. для вузов. 4-е изд. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2009. 430 с.
5. Антонец Е.В., Смирнова В.И., Федосеева Г.А. Авиационные приборы и пилотажно-навигационные комплексы: учеб. пособие. В 2 ч. Ульяновск: УВАУ ГА. 2007. 119 с.
6. Хакимов Д.В., Киселев С.К. Оптимизация структуры комплексов бортового оборудования летательных аппаратов на основе оптимизации функциональной структуры на ранних стадиях проектирования // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2016. №2. Т. 12. с. 65-69.
7. Jiawei Chen, Chengjun Wang, Jie Chen. Investigation on the Selection of Electric Power System Architecture for Future More Electric Aircraft // IEEE Transactions on Transportation Electrification. June 2018. Vol. 4(2). pp. 563-576.
8. Данелян Т.Я. Структурное моделирование // Статистика и Экономика. 2014. №6 с. 166-169.
9. Wesley Gunnar White, V. Chandrasekar. Application of objective criteria saturation to select best value alternative from fuzzy requirements // Annual IEEE International Systems Conference (SysCon). May, 2018. pp. 1- 8.

Хакимов Александр Валерьевич – аспирант, Нечаев Владимир Анатольевич – старший преподаватель, Костишин Максим Олегович – канд. техн. наук, доцент факультета безопасности информационных технологий Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики,

Жаринов Олег Олегович – канд. техн. наук, доцент, кафедры моделирования вычислительных и электронных систем Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. Контактный телефон (812) 252-08-48.

Электронный фонд для «Царского Села»

Корпорацией ЭЛАР создан электронный страховой фонд учетной документации Государственного Музея-заповедника «Царское Село». В рамках проекта оцифрована 21 инвентарная книга Александровского дворца-музея (одного из бывших императорских дворцов Царского Села, сейчас г. Пушкин) за 1938–1940 гг.

Книги представляют собой описи музейных коллекций, которые составлялись перед Второй мировой войной и сегодня играют значительную роль

для воссоздания музейных интерьеров и возвращения отдельных предметов музейного собрания.

Электронный ресурс позволяет исключить использование бумажных оригиналов и осуществлять быстрый поиск по сформированной базе данных. Бережная оцифровка книг формата А2 производилась на профессиональном оборудовании, полностью исключая вредное воздействие на подлинники.

<http://www.elar.ru>