

УДК 629.7

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФЮЗЕЛЯЖА ВОЗДУШНОГО СУДНА

Быкова И.С., Припадчев А.Д., Горбунов А.А.

ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», Оренбург,
e-mail: is.bykova04@gmail.com

В представленной статье изложена проблема необходимости нового подхода к автоматизированному проектированию воздушного судна (ВС) в целом и его компонентов, предназначенного для повышения конкурентоспособности и технической эффективности ВС, основанного на анализе тактико-технических требований к характеристикам фюзеляжа магистрального ВС на стадии предварительного проектирования. В процессе рассмотрения вопроса была сформирована блочно-иерархическая структура магистрального ВС, а также выявлены основные конструктивно-геометрические, массовые, аэродинамические, летно-технические, прочностные, режимные характеристики, систематизация которых обеспечивает возможность создания программного обеспечения системы автоматизированного проектирования (САПР). Поставлена оптимизационная задача поиска рациональных параметров фюзеляжа, обосновано использование топливной эффективности как критерия оптимальности, учитывающего связь удельного расхода топлива со стоимостью перевозки одного пассажира или единицы массы полезной нагрузки.

Ключевые слова: воздушное судно, проектирование, фюзеляж, системный подход, топливная эффективность

COMPUTER-AIDED DESIGN OF THE MAINLINE AIRCRAFT'S FUSELAGE

Bykova I.S., Pripadchev A.D., Gorbunov A.A.

Orenburg State University, Orenburg, e-mail: is.bykova04@gmail.com

In the represent article was expound the problem of new approach to the aircraft computer-aided design and its components, for improving the competitiveness and technical efficiency of the mainline aircraft, based on analysis of the mission requirements to the mainline aircraft's fuselage characteristics on the preliminary design. On the anvil aircraft's block-hierarchical structure was formed, also main constructive-geometrical, weight, aerodynamic, flight performance, strength, operating characteristics, systematization for the ability to create software of computer-aided design system. The optimization problem of fuselage's rational parameters searching was set, using fuel efficiency as optimality criterion, which take into account link between specific fuel consumption and one passenger or mass unit transportation coast.

Keywords: aircraft, design, fuselage, system approach, fuel efficiency

Проектирование и производство такой наукоемкой продукции, как авиационная техника (АТ), связано с большими расходами на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, и постоянно возрастающие требования к ней могут быть удовлетворены за счет внедрения новых технических решений. При разработке этих решений используются различные системы автоматизированного проектирования (САПР), позволяющие решать проблемно-ориентированные задачи для цифрового создания изделия, предназначенные для выполнения сложных расчетов, ведения электронного документооборота, ускорения процесса выпуска новой техники на всех этапах жизненного цикла изделия, что сокращает время от начала маркетинговых исследований до ввода в эксплуатацию серийных образцов техники. Это особенно важно для магистральных ВС гражданской авиации (ГА), так как срок разработки принципиально нового ВС не должен составлять более пяти лет, в противном случае оно морально устаревает и теряет свою конкурентоспособность на мировом рынке [1, 3].

Воздушное судно имеет сложную структуру, состоит из элементов, объединенных связями и оказывающих друг на друга определенное влияние. Структура выступает как единое целое, но каждая ее часть имеет свое функциональное назначение. Рассматривать фюзеляж как объект проектирования следует во взаимодействии с остальными элементами и определением его места в структуре ВС, учитывая влияние на него внешней среды. Сложность ВС как объекта проектирования определяет специфику процесса его разработки, который делится на стадии: выработка требований к ВС, предварительное проектирование, эскизное проектирование, рабочее проектирование [2]. Эскизное и рабочее проектирование ВС, его компонентов осуществляется на сегодняшний день автоматизированно, то есть все проектные решения или их часть получают с помощью САПР. Ядром используемых в авиационной САПР является система геометрического моделирования, результат работы в которой практически не оказывает влияние на технико-экономические показатели разрабатываемого ВС. Эти системы (наиболее распространены

CATIA, NX, Pro/Engineer) позволяют решать проблемно-ориентированные задачи цифрового создания изделия, не реализуя автоматизацию проектных работ на стадии предварительного проектирования, где принимается 75–80% организационных и технических решений по проекту.

На стадии предварительного проектирования связываются воедино различные аспекты проектирования ВС, касающиеся исследования его геометрических, весовых, аэродинамических характеристик, высотно-скоростных характеристик двигателей, структуры оборудования и снаряжения [2]. Данные, полученные в ходе разработки тактико-технического задания, используются для синтеза облика и определения основных размеров ВС. Выходной информацией на этом этапе являются чертежи общих видов рационального варианта ВС, его трехмерные модели, документация о его летно-технических, экономических и эксплуатационных характеристиках. На основании этих материалов компетентные органы принимают решение о целесообразности дальнейшей разработки проекта. На сегодняшний день не существует САПР с пакетом прикладных программ, рассчитывающих все характеристики, необходимые для определения эффективности принятых решений на стадии предварительного проектирования. Для того, чтобы на этом этапе в среде САПР получить результат (3D-модель, расчет прочности или аэродинамический расчет), исходную информацию о проектируемом объекте рационально представить в виде системы данных, то есть, в случае проектирования фюзеляжа, нужно разделить характеристики, влияющие на него, по группам: геометрические характеристики (например, длина фюзеляжа, максимальная высота фюзеляжа, диаметр, удлинение фюзеляжа, его носовой и хвостовой части), режимные характеристики (крейсерская скорость полета, дальность полета, практический потолок), массовые характеристики (масса коммерческой нагрузки, взлетная масса, масса конструкции фюзеляжа), энергетические характеристики (удельный расход топлива, тяга двигателей, число и тип двигателей), аэродинамические характеристики (аэродинамическое качество, коэффициент аэродинамической эффективности, коэффициент лобового сопротивления, коэффициент подъемной силы), эргономические характеристики (общее число мест, число кресел в ряду, число проходов, ширина прохода между креслами, ширина кресла, класс пассажирского салона). Такая систематизация данных обеспечивает возможность создания программного

компонента САПР, предназначенного для обслуживания определенных этапов проектирования (предварительного) или решения групп однотипных задач внутри различных этапов [5]. Для разработки алгоритма выбора рациональных характеристик ВС на каждом этапе предварительного проектирования с помощью САПР, нужно задать исходные данные и проектные переменные.

Поиск рациональных параметров рассматриваем как оптимизационную задачу [4]. Исходными данными для выбора рациональных характеристик ВС на стадии предварительного проектирования являются режимные характеристики ВС, включающие в себя такие параметры, как крейсерская скорость, расчетная дальность полета, практический потолок, а также масса коммерческой нагрузки, близкие к параметрам реального прототипа ВС. В этой же стадии проектирования выделяем несколько этапов поиска рациональных характеристик: проектными параметрами на этапе отыскания рациональных конструктивно-геометрических характеристик являются такие параметры, как длина фюзеляжа, длина его хвостовой и носовой части, диаметр фюзеляжа; на этапе отыскания массовых характеристик – масса пустого ВС, масса силовой установки и т.д.

Для заданных значений проектных параметров производится итерационный процесс вычисления режимных характеристик, затем конструктивно-геометрических, массовых в первом приближении, затем на основе рассчитанных геометрических характеристик рассчитываются аэродинамические, затем прочностные характеристики фюзеляжа и некоторые эргономические характеристики. Реализация такого подхода наиболее удобна при рассмотрении объекта проектирования как части блочно-иерархической структуры. Преимущества блочно-иерархического подхода к проектированию ВС состоят в том, что сложная задача большой размерности разбивается на последовательно решаемые задачи малой размерности, причем внутри групп разные задачи могут решаться параллельно [6]. При таком подходе имеются свои представления о системах и элементах. То, что на более высоком уровне, k -м уровне, называлось элементом, становится системой на следующем $(k + 1)$ -м уровне. Элементы низшего из уровней – базовые элементы или компоненты. В основе блочно-иерархического подхода к проектированию лежит разделение описаний по степени детализации отображающих свойств и характеристик объекта и приводит к появлению иерархических уровней (уровней абстрагирования) в представлениях о проектируемом объекте.



Блочнo-иерархическая структура магистрального ТС

Базовые элементы авиационной техники (в частности, магистральных ТС) представлены деталями, детали рассматриваются как элементы, фигурирующие в описаниях низшего иерархического уровня, на котором системами являются сборочные единицы (редуктор, клапан, муфта и т.д.). Иногда базовыми элементами таких систем могут быть не только детали, но и объекты, состоящие из многих деталей и получаемые на данном предприятии как законченные комплектующие изделия. Сборочные единицы являются элементами агрегатов (комплексов) – систем следующего иерархического уровня. Иногда используются дополнительные, более высокие иерархические уровни. Так, двигатель может быть элементом комплекта ТС. Согласно такому подходу, блочно-иерархическая структура магистрального ТС может быть представлена на рисунке.

Полученные с помощью такого подхода характеристики ТС должны быть решением поставленной оптимизационной задачи. В качестве характерного параметра, оценивающего оптимальность рассчитанных характеристик, предлагается использовать топливную эффективность. Согласно данным Федеральной антимонопольной службы (ФАС России), структура себестоимости авиаперевозок в России и во всем мире показывает, что наибольшую ее часть составляют расходы на горю-

че-смазочные материалы. Удельный расход топлива, являющийся одной из основных характеристик авиационных двигателей, не оценивает в полной мере техническую эффективность и конкурентоспособность ТС, так как не учитывает затраты топлива на транспортную операцию. Топливная эффективность зависит от аэродинамического и весового совершенства ТС, его пассажироместимости или грузоподъемности, и определяется как отношение удельного расхода топлива к перевозимой полезной нагрузке, измеряемой в килограммах или пассажирских креслах [3]. Таким образом, параметр топливной эффективности наиболее полно отражает техническую эффективность магистральных ТС, так как зависит от различных групп характеристик ТС и учитывает связь удельного расхода топлива со стоимостью перевозки одного пассажира или единицы массы полезной нагрузки.

Использование топливной эффективности в качестве критерия оптимальности в практической задаче вычисления требуемых характеристик фюзеляжа ТС на этапе предварительного проектирования позволит сократить риск принятия ошибочных решений, повысить конкурентоспособность ТС путем автоматизированного выбора различных характеристик ТС.

Работа выполнена в рамках договора № 14.Z56.15.5527-МК от 16.02.2015 г.,

грант Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых, на выполнение научно-го исследования по теме «Автоматизация проектирования дополнительных аэродинамических поверхностей крыла как элемента жизненного цикла воздушного судна».

Список литературы

1. Горбунов А.А. Автоматизированное проектирование и исследование дополнительных аэродинамических поверхностей крыла воздушного судна // *Фундаментальные исследования*. – 2012. – № 9. – С. 140–144.
2. Егер С.М. Проектирование самолетов: учебник для вузов / С.М. Егер, В.Ф. Мишин, Н.К. Лисейцев и др. Под ред. С.М. Егера. – 4-е изд. – М.: Логос, 2005. – 648 с.
3. Комаров В.А. Весовой анализ авиационных конструкций: теоретические основы // *Полет*. – 2000. – № 1. – С. 31–39.
4. Кузнецов А.С. Выбор геометрических параметров самолета интегральной схемы на основе высокоточного математического моделирования // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. – 2011. – Т. 13, № 1(2). – С. 318–321.
5. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 336 с.
6. Припадчев А.Д. Использование технологий САПР при проектировании сложных технических авиационных изделий // *Высокие технологии, экономика, промышленность: сборник статей международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике»*. Санкт-Петербург, Россия / под ред. А.П. Кудинова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – Т. 1 – С. 50–52.

References

1. Gorbunov A.A. Avtomatizirovannoe proektirovanie i issledovanie dopolnitelnyh ajerodinamicheskikh poverhnostej kryla vozdušnogo sudna // *Fundamentalnye issledovanija*. 2012. no. 9. pp. 140–144.
2. Eger S.M. Proektirovanie samoletov: uchebnik dlja vuzov / S.M. Eger, V.F. Mishin, N.K. Lisejcev i dr. Pod red. S.M. Egera. 4-e izd. M.: Logos, 2005. 648 p.
3. Komarov V.A. Vesovoj analiz aviacionnykh konstrukcij: teoreticheskie osnovy // *Polet*. 2000. no. 1. pp. 31–39.
4. Kuznecov A.S. Vybór geometricheskikh parametrov samoleta integralnoj shemy na osnove vysokotochnogo matematicheskogo modelirovanija // *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. 2011. T. 13, no. 1(2). pp. 318–321.
5. Norenkov I.P. Osnovy avtomatizirovannogo proektirovanija: ucheb. dlja vuzov. 2-e izd., pererab. i dop. M.: MGTU im. N.É. Baumana, 2002. 336 p.
6. Pripadchev A.D. Ispolzovanie tehnologij SAPR pri proektirovanii slozhnykh tehničeskikh aviacionnykh izdelij // *Vysokie tehnologii, jekonomika, promyshlennost: sbornik statej mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii «Fundamentalnye i prikladnye issledovanija, razbotka i primenenie vysokih tehnologij v promyshlennosti i jekonomike»*. Sankt-Peterburg, Rossija / pod red. A.P. Kudina. SPb.: Izd-vo Politehn. un-ta, 2012. T. 1 pp. 50–52.

Рецензенты:

Сердюк А.И., д.т.н., профессор, директор аэрокосмического института ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург;

Султанов Н.З., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой систем автоматизации производства, ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург.

Работа поступила в редакцию 15.04.2015.