

УДК 629.735.33-519:629.73501(045)

Г.Н. Юн, д.т.н.
К.В. Маринцева, к.э.н.**СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ
БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Национальный авиационный университет, e-mail: yun@ua.fm

Рассматривается системный подход к оптимизации основных проектных параметров беспилотных летательных аппаратов на ранних этапах проектирования. Предлагается двухуровневая процедура внешнего проектирования, включающая операционное и параметрическое моделирование летательных аппаратов.

Ключевые слова: системный подход, БЛА, ТЗ, ТЭО, внешнее проектирование, внутреннее проектирование, виртуальный флот, модель, операционное моделирование, параметрическое моделирование

Введение

Практические вопросы, связанные с разработкой, построением и эксплуатацией беспилотных летательных аппаратов (БЛА), требуют решения двух задач. Первая задача связана с формализацией процесса функционирования виртуального воздушного флота, в состав которого входит проектируемый БЛА, с построением его математической модели, определением оптимальных режимов функционирования с целью достижения максимальной эффективности всего процесса при фиксированных затратах. Эту задачу будем называть задачей *внешнего проектирования* БЛА, поскольку она определяет круг вопросов, обусловленных воздействием внешних факторов и связанных с обработкой поступающей извне информацией. Решение второй задачи касается технической реализации оптимального БЛА на основе методов машинного проектирования и связано с реализацией оптимальных характеристик и параметров как БЛА в целом, так и его агрегатов, узлов и деталей. Эту задачу будем называть задачей *внутреннего проектирования* БЛА, поскольку данная задача охватывает круг вопросов, обусловленных внутренними взаимосвязями подсистем БЛА и требованиями к агрегатам, узлам и деталям, полученными из решения первой задачи.

Цель статьи – на примере взаимосвязи внешнего и внутреннего проектирования БЛА показать справедливость и универсальность одного из основополагающих принципов системного анализа, сформулированного А.Эйнштейном: “Невозможно решить проблему на том уровне, на котором она возникла”.

Постановка проблемы

Являясь элементом виртуального беспилотного флота, представляющего собой условный парк совокупности авиакомпаний, проектируемый БЛА через свои технико-экономические характеристики оказывает влияние на экономическую эффективность этого флота. Техничко-экономические характеристики БЛА, в свою очередь, являются функциями параметров БЛА, определяемых в процессе внутреннего проектирования. Таким образом, возникает проблема установления связи между выбором проектных параметров на этапе внутреннего проектирования и технико-экономических характеристик на этапе внешнего проектирования и оценки их с точки зрения эффективного функционирования виртуального флота.

Выбор проектных параметров БЛА на основе исследования их непосредственного влияния на экономическую эффективность виртуального флота практически не осуществим из-за громоздкости математической модели и недостаточной чувствительности критерия эффективности к вариациям оптимизируемых параметров. Поэтому для анализа и оценки экономической эффективности применения вновь создаваемого БЛА в отраслях экономики необходимо описать его, как и другие используемые в авиакомпаниях БЛА, с помощью средних агрегированных показателей, формируемых в сфере эксплуатации парка БЛА на основе технико-экономических характеристик, определяемых проектными и конструкторско-технологическими решениями в процессе внутреннего проектирования.

Принято выделять пять уровней решения задачи по разработке нового летательного аппарата [1]. Из табл. 1 видно, что уровень II соответствует разработке технического задания и технико-экономического обоснования применения БЛА в отраслях экономики и вместе с тем служит входом в его внутреннее проектирование.

Таблица 1

Стадии и уровни проектирования БЛА

Стадии проектирования	Иерархический уровень	Содержание задачи	Ответственные организации
Внешнее проектирование	I	Прогнозирование объемов работ и услуг, выполняемых виртуальным флотом.	Виртуальный флот
	II	Определение состава парка и программы производства нового БЛА; определение технико-экономических характеристик нового БЛА; разработка ТЗ ¹ ; ТЭО ² целесообразности применения нового БЛА в отраслях экономики.	Виртуальный флот, Разработчик БЛА
Внутреннее проектирование	III	Определение основных проектных параметров БЛА, удовлетворяющих ТЗ.	Разработчик БЛА, Виртуальный флот.
	IV	Проектно-конструкторские работы по уточнению основных проектных параметров БЛА, его конструктивно-силовой и общей компоновочной схемы. Определение структуры и параметров подсистем.	Разработчик БЛА.
	V	Конструирование узлов и деталей и составление технической документации для производства и эксплуатации БЛА.	Разработчик БЛА

При построении математической модели процесса внешнего проектирования БЛА будем придерживаться следующей концепции: выбор технико-экономических характеристик проектируемого БЛА должен осуществляться в комплексе с задачами перспективного планирования развития виртуального флота.

Анализ исследований и публикаций

Ранее выполненные исследования и публикации в области сложных многоуровневых систем носят общий теоретико-методологический характер [1, 2], либо относятся к узкому классу летательных аппаратов [3,4], которые потребуют дополнительных исследований, чтобы адаптировать их к конкретному типу БЛА.

Общая модель проектирования

Предположим, что облик проектируемого БЛА зависит от n варьируемых параметров x_1, x_2, \dots, x_n , которые будем считать точкой $x = (x_1, \dots, x_n)$ в n -мерном пространстве параметров. Уравнения и неравенства

$$f_i(x) \leq 0, \quad i = 1, \dots, m \quad (1)$$

$$x \geq 0, \quad (2)$$

описывающие функционирование БЛА, а также критерий оценки

$$f_0(x) \quad (3)$$

¹ ТЗ – техническое задание

² ТЭО – технико-экономическое обоснование

тоже зависят от x . Ограничения (1) и (2) выделяют в n -мерном пространстве параметров некоторое подмножество допустимых решений G .

Задача оптимального проектирования БЛА состоит в отыскании точки $x = x^*$ такой, что

$$f_0(x^*) = \min_{x \in G} f_0(x) \quad (4)$$

или убедиться, что такого x не существует для функции $f_0(x)$ на множестве G .

Научно-методическая концепция системного подхода к внешнему проектированию БЛА заключается в том, что модель (4) разбивается на две взаимосвязанные модели: операционную и параметрическую. При параметрическом моделировании БЛА используется модель, которая отражает взаимодействие некоторых доминирующих свойств БЛА, количественно представимых в виде набора параметров x_1, x_2, \dots, x_n (или X и Y). При операционном моделировании в качестве объекта выступает сам БЛА. Поскольку проектируемый БЛА рассматривается в совокупности с другими БЛА, участвующими в транспортной операции, естественно назвать модели этого типа операционными. На параметрическом уровне генерируется некоторое конечное множество D проектных параметров БЛА по частному критерию $a(x)$, совместимому с критерием операционной задачи. Затем из множества D с помощью операционной модели выбирается оптимальный вариант $x^* \in D$.

Принципы операционного моделирования

Операционная модель БЛА отождествляется с целостным множеством БЛА, связанных между собой взаимными отношениями. Рассматриваемые отношения такие, с помощью которых рассматриваемая модель объединяется в одно целое. С математической точки зрения это отношения типа неравенств, с физической – ограничения на ресурсы, функционирование и технологию выполнения транспортной операции.

Если помимо системы ограничений выбран критерий оценки оптимального варианта проектируемого БЛА, то операционную модель БЛА можно записать в виде задачи математического программирования:

$$\min f(x_1, \dots, x_n) \quad (5)$$

при ограничениях

$$f_i(x_1, \dots, x_n) \quad (6)$$

$$x = (x_1, \dots, x_n) \in D, \quad (7)$$

где D - некоторая область n -мерного евклидова пространства, часто отождествляемая с неотрицательным октантом пространства E^n .

Принципы параметрического моделирования

Параметрическое моделирование будем рассматривать как такой метод исследования математических моделей БЛА, в рамках которого основные свойства этих БЛА изучаются с помощью наиболее существенных, «ключевых» параметров, а также отношений, связывающих эти параметры.

Основные принципы параметрического моделирования можно строить методом дедукции, на основе общей теории систем. Будем исходить из абстрактного наименее ограниченного описания БЛА. Затем вводим путём фиксации некоторых параметров дополнительные структуры и рассматриваем следствия, вытекающие из этого допущения. При заданной структуре БЛА параметрическое моделирование состоит в том, чтобы определить по значениям некоторых фиксированных параметров этого БЛА значения его остальных неизвестных параметров при соблюдении априори или полученных в процессе исследований и экспериментов закономерностей и ограничений, связывающих параметры. На различных стадиях проектирования при различных технических заданиях в качестве известных (фиксированных) могут приниматься различные группы параметров. Поэтому и общая модель проектируемого БЛА должна отражать этот факт, то есть она должна строиться без

предварительного разделения параметров на известные и искомые, что характерно для моделей в форме задач математического программирования.

С другой стороны эта модель после конкретизации задачи, то есть после указания критерия оптимальности, фиксируемых параметров и тех параметров, значения которых нужно определить, должна позволять легко получать частные модели в форме задачи математического программирования или задачи оптимального управления, соответствующей данной частной задаче. Это требование необходимой гибкости в постановке задачи является одной из главных особенностей параметрического моделирования.

При построении параметрической модели в первую очередь производится процедура параметризации, то есть выделение основных, наиболее существенных, проектных параметров, набор конкретных значений которых даёт «достаточную» информацию для принятия решения при последующей реализации проекта. Процесс параметризации является весьма ответственным. Он труднее всего формализуем, так как полнота, достаточность описания БЛА во многом субъективна, определение «существенности» тех или иных параметров зависит как от стадии проектирования, так и от опыта проектировщиков и заказчиков, имеющих у них априорных сведений, сложившейся в данной области системы научных и технических понятий и т.п. Таким образом, набор параметров составляет основу языка, на котором описывается математическая модель БЛА.

Если параметризация БЛА определена, то есть параметры x_1, x_2, \dots, x_n выбраны, то переходят к следующему этапу – выписыванию системы основных отношений R_1, R_2, \dots, R_N , связывающих эти параметры.

При выборе отношений и параметров БЛА будем исходить из следующих требований:

- Параметрическая модель информационно должна быть совместима с операционной, то есть выход параметрической модели должен обеспечить вход операционной модели по тем элементам матриц затрат, производительности, частоты полётов и т.п., которые зависят от параметров проектируемого БЛА;
- Параметрическая модель должна включать все наиболее существенные требования, накладываемые условиями проектирования, изготовления и эксплуатации БЛА, а также те отношения и параметры, без которых невозможно получить модель в замкнутой форме;
- С учётом вышеназванных требований параметрическая модель должна содержать минимальное число параметров и связывающих их отношений.

Выводы

Системный подход к внешнему проектированию БЛА вносит, во-первых, определённую ясность в организационную структуру процесса проектирования и моделирования, во-вторых, помогает разработчику БЛА систематизировать большую часть известных к настоящему времени методов и алгоритмов анализа и синтеза таких сложных технических систем, каковыми являются современные БЛА, в-третьих, способствует повышению качества проекта и сокращению времени его разработки. Наконец, с помощью предлагаемого подхода достаточно эффективно решается ряд новых задач, возникающих на стыке оптимального проектирования БЛА и перспективного планирования хозяйственной деятельности авиапредприятий – потенциальных заказчиков проектируемого БЛА.

Список литературных источников

1. Вычислительные методы выбора оптимальных проектных решений / [Михалевиц В.С., Шор Н.З. и др.]. – К.: Наукова думка, 1977. – 178 с.
2. Квейд Э. Анализ сложных систем. – М.: Сов. Радио, 1969. – 520 с.
3. Пашинцев В.И., Юн Г.Н. Оценка неизвестных параметров самолёта методом параметрического моделирования / В.И. Пашинцев, Г.Н. Юн // ТВФ. – 1074. - № 5. – С.17-21.
4. Юн Г.Н. Об одном подходе к оптимальному проектированию пассажирских самолётов // В кн.: Известия вузов. Авиационная техника. / Геннадий Юн. – М., 1973. – С. 121-124.