

ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЛИКА БЕСПИЛОТНОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА

С.А. Серебрянский¹, А.Е. Парненко²

¹Московский авиационный институт, г. Москва, Россия,

²Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Радар ммс», г. Санкт-Петербург, Россия

В данной статье рассмотрено обоснование критерия эффективности при формировании технического облика беспилотного воздушного судна.

Проанализированы критерии эффективности применения беспилотного воздушного судна, такие как относительная масса, время полета, удельная стоимость полета, стоимость жизненного цикла. Выявлена и обоснована необходимость использования комбинированного критерия, учитывающего экономическую и функциональную эффективность. Формулируются варьируемые, не варьируемые и неопределенные параметры, характеризующие беспилотное воздушное судно. Рассматривается формулировка оптимизационной задачи определения технического облика. Процесс формирования технического облика основывается на трех функционально взаимосвязанных процессах: аэродинамической компоновки, объемно-массовой компоновки и конструктивно-силовой компоновки.

Целью формирования технического облика является поиск таких взаимосвязанных значений параметров БВС, которые обеспечивают достижение компромисса между требованиями при обеспечении экстремума какого-либо выбранного обобщенного критерия оптимальности, например, минимальной стоимости жизненного цикла готового изделия – самолёта.

Данный критерий является одним из наиболее общих критериев эффективности самолёта, однако его расчёт на ранних стадиях разработки затруднителен. Поэтому на практике используется другими критериями, приближенными к стоимости этапов жизненного цикла.

Особенностью процесса формирования облика БВС, как и любой сложной технической системы, является большое количество неизвестных и высокая степень неопределённости, особенно на ранних стадиях разработки. Для преодоления неопределённости процесс проектирования разбивается на ряд последовательных итерационных этапов.

Задача поиска наилучшего сочетания проектных параметров БВС в зависимости от его назначения может быть рассмотрена как задача поиска экстремума некоторой целевой функции – задача оптимизации.

На основе проведенного обоснования авторами предложена методика определения рационального облика беспилотного воздушного судна с учетом принятых ограничений.

Ключевые слова: беспилотное воздушное судно, критерий эффективности, технический облик, варьируемые параметры, не варьируемые параметры, неопределенные параметры, оптимизация, проектирование, этапы итерации.

Введение

Современный самолёт представляет собой сложную техническую систему, состоящую из большого количества элементов. Все агрегаты и системы самолёта тесно взаимосвязаны между собой, и при проектировании к ним предъявляется большое количество разнообразных и зачастую противоречивых требований.

Свойства беспилотного воздушного судна (БВС) как объекта исследования образуют иерархические уровни, верхний из которых, в зависимости от назначения БВС, занимает специальные, транспортные и экономические свойства. В соответствии с этим и критерии оценки этих свойств также образуют иерархические уровни: на верхнем уровне находятся критерии специальной, транспортной и экономической эффективности, на следующем – показатели тактических и эксплуатационных свойств, на нижнем уровне – показатели (параметры) технических свойств [1, 2]. При этом показатели свойств нижнего уровня входят в критерии вышестоящего уровня в качестве параметров. Таким образом, для решения задачи определения технического облика БВС необходимо:

Расчет и конструирование

- во-первых, выбрать критерии оценки эффективности системы в целом;
- во-вторых, установить взаимосвязь между этими критериями и параметрами БВС.

Оценка технического облика беспилотного воздушного судна

В настоящее время предложен ряд показателей для оценки эффективности летательных аппаратов (ЛА) [3–5], а именно показатели экономической, технической, целевой, транспортной, производственной и эксплуатационной эффективности.

Повышение точности расчётов на ранних стадиях формирования облика позволяет сократить количество итераций и снизить риск получения неконкурентоспособного воздушного судна.

Структурно БВС состоит из беспилотного воздушного судна и съемного модуля (СМ), где размещается полезная (целевая) нагрузка.

Эффективность применения БВС может быть оценена с помощью следующих критериев:

1. Относительная масса полезной нагрузки $\xi_{\text{ПН}}$, которая является мерой оценки энергетических возможностей БВС и определяется как отношение (1):

$$\xi_{\text{ПН}} = \frac{m_{\text{ПН}}}{m_0}, \quad (1)$$

где $m_{\text{ПН}}$ – масса полезной нагрузки; m_0 – взлетная масса БВС.

2. Время полета $t_{\text{пол}}$ определяется согласно выражению (2):

$$t_{\text{пол}} = \sum_{i=1}^n t_i, \quad (2)$$

где t_i – время полета по i -му этапу в секундах (рис. 1); n – количество этапов полета (зависит от назначения БВС).

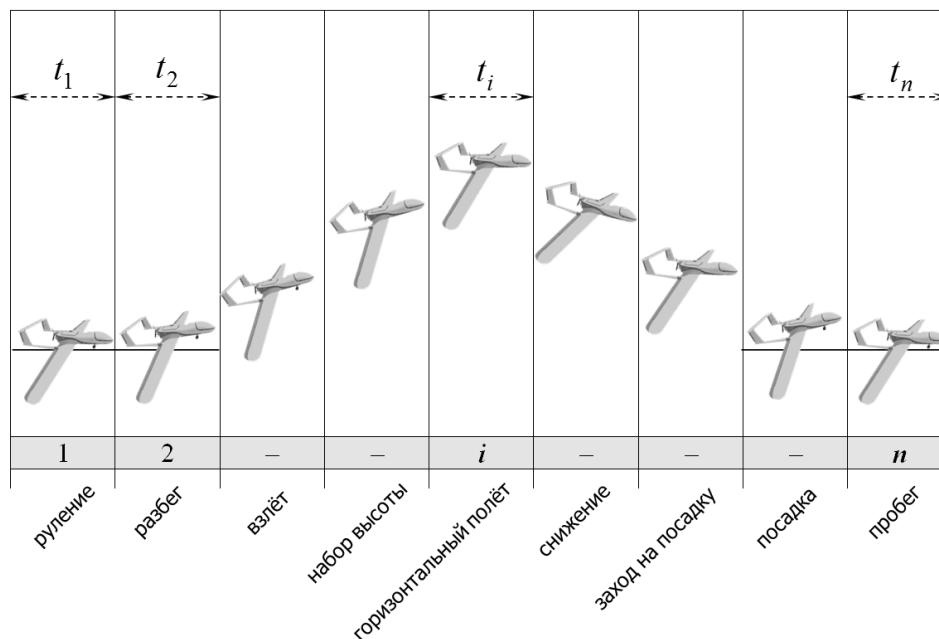


Рис. 1. Этапы полёта БВС

3. Удельная стоимость полета $C_{\text{уд}}$, которая характеризует затраты по доставке 1 кг груза, может быть рассчитана по формуле (3):

$$C_{\text{уд}} = \frac{C_{\text{ЗАП}}}{m}, \quad (3)$$

где $C_{\text{ЗАП}}$ – стоимость одного полета БВС.

4. Стоимость жизненного цикла C_{Σ} , которая характеризует суммарные затраты на создание и эксплуатацию парка БВС.

Для определения величины C_{Σ} в общем виде, можно записать выражение (4):

$$C_{\Sigma} = C_p + C_{пр} + C_3, \quad (4)$$

где C_p – стоимость разработки БВС; $C_{пр}$ – стоимость производства БВС; C_3 – стоимость эксплуатации парка БВС.

При использовании вышеуказанных критериев для оценки эффективности БВС следует отметить, что:

- критерий $\xi_{ПН}$ не отражает экономическую эффективность системы;
- критерий $t_{пол}$ не характеризует ни энергетическую, ни экономическую эффективность системы;
- критерий C_{Σ} не отражает в явном виде энергетические характеристики системы;
- критерий C_3 учитывает только эксплуатационные затраты на полет.

Поэтому для данного исследования будем использовать комбинированный критерий (5), учитывающий и экономическую C_{Σ} , и функциональную Ξ эффективность:

$$K = \frac{C_{\Sigma}}{\Xi}. \quad (5)$$

Предположим, что эффективность выполненных полетов БВС по доставке грузов пропорциональна их массе, поэтому в качестве функциональной эффективности рассмотрим суммарный грузопоток M_{Σ} , приведенный к дальности полета $L_{пол}$.

Суммарный грузовой поток единичного БВС определяется по формуле (6):

$$M_1 = N_{СМ} \xi_{ПН} m_0, \quad (6)$$

где $\xi_{ПН}$ – относительная масса полезной нагрузки; $m_0 = m_0^{БВС} + m_0^{СМ}$ – взлетная масса БВС;

$N_{СМ} = \frac{n_{пол}^{БВС}}{n_{пол}^{СМ}}$ – количество съемных модулей определяемых выполняемой БВС задачи, в данном

случае: $n_{пол}^{БВС}$ – кратность использования БВС; $n_{пол}^{СМ}$ – кратность использования съемных модулей.

Суммарный грузовой поток парка БВС определяется по формуле (7):

$$M_{\Sigma} = N_{БВС} N_{СМ} \xi_{ПН} m_0, \quad (7)$$

где $N_{БВС}$ – количество БВС.

Расчет парка БВС (8) осуществляется из учета обеспечения доставки потребной массы груза на заданную дальность:

$$N_{БВС} = \frac{M_{\Sigma}}{N_{СМ} \xi_{ПН} m_0}. \quad (8)$$

Принимая во внимание вышеперечисленные обозначения, комбинированный критерий примет окончательный вид (9):

$$K = \frac{C_{\Sigma}}{M_{\Sigma} L_{пол}}. \quad (9)$$

На основании вышеизложенного можно заключить, что задача определения технического облика БВС является многопараметрической и многокритериальной. Параметры БВС (Π) включают:

- варьируемые (Π^B);
- не варьируемые (Π^{HB});
- неопределенные (Π^H).

В качестве варьируемых функциональных ($\Pi_{Ф}^B$) и технических параметров ($\Pi_{ТЕХ}^B$) выбраны следующие:

Расчет и конструирование

$$\Pi_{\Phi}^B = (\Pi_{\Phi_i}^B) = (V_{\text{пол}}, H_{\text{пол}}, \dots),$$

где $V_{\text{пол}}$ – скорость полета БВС; $H_{\text{пол}}$ – высота полета БВС; $\Pi_{\text{ТЕХ}}^B = (\Pi_{\text{ТЕХ}_i}^B) = (b_0, b_k, \lambda_k, \bar{c}, S_k, p_0, \dots)$, где b_0 – корневая хорда крыла; b_k – концевая хорда крыла; λ_k – удлинение крыла; \bar{c} – относительная толщина профиля крыла; S_k – площадь крыла; $p_0 = \frac{m_0 g}{S_k}$ – удельная нагрузка на крыло.

К варьируемым функциональным и техническим параметрам могут относиться характеристики, придающие БВС специальные функции [6, 7].

Не варьируемые параметры включают те, которые вытекают из требований нормативных документов, анализа тенденций развития авиационной техники и технологий, оценок по частным методикам:

$$\Pi^{\text{HB}} = (H_{\text{СТ}}, V_y, n_y^{\text{Э}}, m_{\text{БО}} \dots),$$

где $H_{\text{СТ}}$ – высота статического потолка; V_y – вертикальная скорость набора высоты; $n_y^{\text{Э}}$ – максимальная эксплуатационная перегрузка; $m_{\text{БО}}$ – масса бортового оборудования и другие.

В качестве неопределенных параметров используется дальность ($L_{\text{НС}}$) передвижения наземной станции управления к месту разворачивания и время ожидание вылета после подготовки БВС ($\tau_{\text{ОЖ}}$):

$$\Pi^{\text{H}} = (L_{\text{НС}}, \tau_{\text{ОЖ}}).$$

На основании выше сказанного технический облик БВС будет характеризоваться массовой векторной функцией (10) и геометрической векторной функцией (11):

$$m_0 = m_0(\Pi^{\text{ТЕХ}}, \Pi^{\Phi}, \Pi^{\text{HB}}, \Pi^{\text{H}}, \text{ТТ}, \text{ТСУ}); \quad (10)$$

$$\Gamma = \Gamma(\Pi^{\text{ТЕХ}}, \Pi^{\Phi}, \Pi^{\text{HB}}, \Pi^{\text{H}}, \text{ТТ}, \text{ТСУ}), \quad (11)$$

где ТТ – тип топлива (керосин, дизельное топливо, бензин); ТСУ – тип силовой установки (газотурбинный двигатель, дизельный двигатель, бензиновый двигатель).

Оптимизационную задачу поиска рационального технического облика БВС целесообразно сформировать в комбинированной постановке: определить тактико-технические параметры БВС путем минимизации критерия эффективности системы (\mathcal{E}^c) к заданным ассигнованиям на ее разработку, производство и эксплуатацию (C_3^c). Поскольку $\mathcal{E}^c = N\mathcal{E}$ и $C_3^c = NC$, тогда

$$K = \frac{C_3^c}{\mathcal{E}^c} = \frac{C}{\mathcal{E}}.$$

Для каждого варианта k -го облика ($k = 1, 2, \dots, R$, где R – количество вариантов обликов) рациональные тактические параметры являются аргументом оператора $\min K$ (12):

$$\Pi_{\Phi k_i}^B = \arg \min_{\Pi_{\Phi}^B \in \mathcal{G}_{\Phi}} \frac{C(\Pi_{\Phi k_i}^B, \Pi_{\text{ТЕХ} k_i}^B, \Pi_{k_i}^{\text{HB}}, \Pi^{\text{H}}, N_{k_i})}{\mathcal{E}(\Pi_{\Phi k_i}^B, \Pi_{\text{ТЕХ} k_i}^B, \Pi_{k_i}^{\text{HB}}, \Pi^{\text{H}}, N_{k_i})}, \quad (12)$$

где N_{k_i} – количество БВС; \mathcal{G}_k^B – область определения тактических параметров.

Оптимальные технические параметры БВС k -го облика и i -го варианта тактических параметров $\Pi_{\text{ТЕХ} k_i}^B$ (13) можно представить, как:

$$\Pi_{\text{ТЕХ} k_i}^B = \arg \min_{\Pi_{\text{ТЕХ}}^B \in \mathcal{G}_{\text{ТЕХ}}} m_0(\Pi_{\Phi k_i}^B, \Pi_{\text{ТЕХ} k_i}^B, \Pi_k^{\text{HB}}, \Pi^{\text{H}}), \quad (13)$$

где $\mathcal{G}_{\text{ТЕХ} k}$ – область определения технических параметров при условии, что $\Pi_k^{\text{HB}} \in \mathcal{G}_k^{\text{HB}}$, $\Pi^{\text{H}} \in \mathcal{G}^{\text{H}}$, а $\mathcal{G}_k^{\text{HB}}$, \mathcal{G}^{H} являются областями определения соответствующих параметров.

Оптимальный облик выбирается из соотношения (14):

$$K_{opt} = \arg \min_{K \in \mathcal{G}_k} K(\Pi_{\Phi k_i}^B, \Pi_{\text{ТЕХ} k_i}^B, \Pi_k^{\text{НВ}}, \Pi^{\text{Н}}). \quad (14)$$

Поскольку критерий оптимизации K нелинейно зависит от параметров, поэтому сформированная оптимизационная задача относится к классу задач нелинейного программирования. Подчеркнем несколько обстоятельств, которые учитывались при постановке задачи оптимизации и имеются в виду при расчетах.

Во-первых, сформированная задача оптимизации в комбинированной постановке является сверткой оптимизационной задачи в прямой постановке (15):

$$\Pi_{\Phi k_i}^B = \arg \min_{\Pi_{\Phi}^B \in \mathcal{G}_{\Phi}^B} \left[\mathcal{C}^c = N_{k_i} \mathcal{E}(\Pi_{\Phi k_i}^B, \Pi_{\text{ТЕХ} k_i}^B, \Pi_k^{\text{НВ}}, \Pi^{\text{Н}}) \right], \quad (15)$$

при $\mathcal{C}^c = N_{k_i} \mathcal{C}(\Pi_{\Phi k_i}^B, \Pi_{\text{ТЕХ} k_i}^B, \Pi_k^{\text{НВ}}, \Pi^{\text{Н}}) = \mathcal{C}_3^c$ и поэтому ей эквивалентна.

Во-вторых, оптимальное решение задачи нелинейного программирования в общем случае зависит от ассигнований на систему (16):

$$\Pi_{\Phi k}^B = \Pi_{\Phi k}^B(\mathcal{C}_3^c). \quad (16)$$

Другое дело, какова степень этой зависимости. В общем случае $\Pi_{\Phi k}^B$ следует определить для нескольких значений \mathcal{C}_3^c , то есть проводить исследование устойчивости решения оптимизационной задачи по \mathcal{C}_3^c .

В-третьих, приведенная формулировка оптимизационной задачи справедлива в предположении, что оптимальная система должна состоять только из БВС одного (оптимального) варианта. Главным основанием для такого предположения является определение рационального облика на фоне выполнения комплексом с БВС только одной (приоритетной) задачи и одинаковых для каждого варианта БВС $\Pi_k^{\text{НВ}}, \Pi^{\text{Н}}$. В противном случае оптимальная система может состоять из смеси БВС нескольких вариантов и для определения их параметров и количества надо было бы использовать несколько критериев эффективности.

Помимо критерия оптимизации тактических параметров в форме \mathcal{C}/\mathcal{E} целесообразно использовать также критерий оптимизации в форме m_0/\mathcal{E} (в этом случае предполагается, что стоимость БВС пропорциональна его массе). Это позволяет исследовать устойчивость решения по двум целевым функциям. Методическая точность решения выше по критерию m_0/\mathcal{E} , чем по критерию \mathcal{C}/\mathcal{E} , поскольку точность определения m_0 выше точности расчета \mathcal{C} .

Рассмотренная оптимизационная задача относится к одному из вариантов статических задач прогнозирования развития БВС [8, 9].

Блок-схема методики определения рационального технического облика БВС представлена на рис. 2.

В соответствии с приведенной блок-схемой методики на начальном этапе, исходя из назначения и задач, стоящих перед БВС, современного и перспективного уровня развития техники, технологии, формируются тактико-технические требования (ТТТ), предъявляемые к беспилотному воздушному судну.

Для комплекса выбранных ТТТ производится формирование технического облика БВС.

Последующие шаги по уточнению обликовых параметров БВС связаны с анализом характеристик синтезированного варианта проекта и его оптимизацией по выбранному критерию или системе критериев. И допустимый, и оптимальный проекты [10–12] принадлежат некоторой области существования БВС, границы которой формируют различного рода ограничения.

Можно выделить три группы таких ограничений, отличающихся сферой их действия. К первой группе относятся ограничения, общие для любого БВС, независимо от его назначения. Это ограничения, диктуемые условиями физической реализуемости самолета как летательного аппарата, использующего аэродинамический принцип полета.

Вторая группа ограничений вытекает из необходимости выполнения, при формировании технического облика ЛА, ряда ранее перечисленных требований директивного характера. Они одинаковы для всех БВС определенного назначения [13–15].

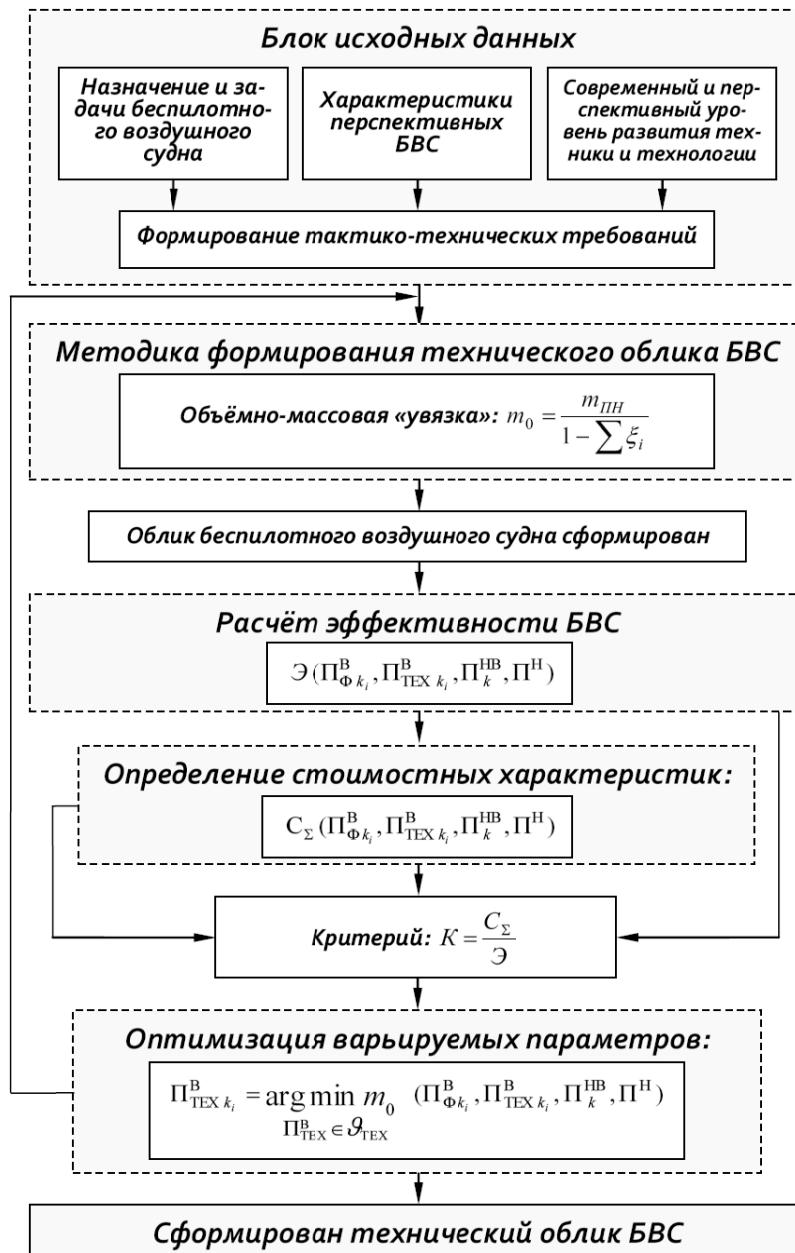


Рис. 2. Блок-схема методики определения рационального технического облика БВС

Третью группу ограничений, определяющих выбор проектных параметров, формируют требования технического задания (ТЗ) к характеристикам проектируемого ЛА, специфичные для каждого вновь разрабатываемого БВС.

В исследовании приняты следующие ограничения:

1. Ограничение предельной взлетной массы БВС – из условия обеспечения размещения на полетной палубе и ангаре корабля:

$$m_0 \leq m_{0 \max}.$$

2. Ограничение по нормальной перегрузке:

$$n_y \leq n_{y \max}.$$

3. Ограничение по удельной нагрузке на несущий винт P_0 :

$$P_0 \leq P_{0 \min}.$$

4. Ограничение, связывающее характеристики БВС и технический уровень их реализации, описывается уравнением существования ЛА (17):

$$\sum_{i=1}^k \xi_i(x) = 1, \quad (17)$$

где ξ_i – относительная масса i -го элемента (системы) БВС.

Процесс формирования облика БВС включает в себя три параллельно текущих и взаимосвязанных процесса: аэродинамическую компоновку, объемно-массовую компоновку и конструктивно-силовую компоновку [16, 17].

С некоторым сдвигом по времени сначала выполняется аэродинамическая, затем объемно-массовая и конструктивно-силовая компоновки. По результатам компоновки первого приближения вносятся необходимые коррективы, и процесс повторяется [18–20]. Целью этих итераций является разработка оптимальной компоновки с учётом выбранного общего критерия для решения задачи определения технического облика БВС.

Под обликом БВС подразумевается совокупность количественно-качественных показателей (характеристик, параметров, свойств), определяющих компоновочно-аэродинамическую схему, его силовую установку, вид топлива, бортовое оборудование, полезную нагрузку, обеспечивающая получение выбранных тактико-технических характеристик.

Для каждого сформированного варианта БВС производится оценка основных параметров БВС на комплексный критерий эффективности.

Стоимость жизненного цикла рассматриваемых вариантов БВС определяется по результатам массового расчета и статистических данных относительных стоимостей отдельных частей воздушного судна.

Критерий эффективности определяется для каждого рассматриваемого облика БВС.

Выводы

Проведя анализ принятых допущений и наложенных ограничений, можно сделать вывод, что все они носят количественный, а не качественный характер. То есть наложением ограничений достигается сужение области поиска экстремумов критериальных функций. Если какое-либо ограничение является недостаточно правомочным, то оно качественно влияет на все объекты исследования в одинаковой степени, и сравнительная оценка в данном случае возможна.

Формально задача формирования технического облика заключается в выборе технического решения из множества альтернатив, соответствующего оптимуму критерия выбора.

Литература

1. Varsha, N. *Conceptual design of high performance Unmanned Aerial Vehicle* / N. Varsha, V. Somashekar // *International Conference on Advances in Manufacturing, Materials and Energy Engineering, IConMMEE 2018. – Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 376, Iss. 1.*
2. Taek Hyunoh. *Conceptual design of small unmanned aerial vehicle with proton exchange membrane fuel cell system for long endurance mission* / Taek Hyunoh // *Energy Conversion and Management. – 2018. – Vol. 176, no. 15. – P. 349–356.*
3. Austin, Reg. *Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment* / Reg Austin. – Great Britain, Wiltshire, 2011. – 365 p.
4. Kimon, P. Valavanis. *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles* / P. Valavanis Kimon, J. George – Springer Netherlands, 2014. – P. 22–30.
5. Haibin Duan. *Bio-inspired Computation in Unmanned Aerial Vehicles* / Duan Haibin, Li Pei – Springer Science & Business Media, 2014. – 269 p.
6. Общие виды и характеристики беспилотных летательных аппаратов / А.Г. Гребеников, А.К. Мяслица, В.В. Парфенюк и др. – Харьков: Харьков. авиационный ин-т, 2008. – 377 с.
7. Трофимчук, М.В. Формирование технического облика самолётных силовых систем оперативно-тактического истребителя / М.В. Трофимчук, С.А. Серебрянский, Д.Ю. Стрелец // *Общероссийский научно-технический журнал «Полет».* – 2018. – № 6. – С. 25–32.
8. *Методология формирования технического облика экспортно ориентированных авиационных комплексов* / под ред. В.И. Барковского. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 244 с.
9. Мышкин, Л.В. *Прогнозирование развития авиационной техники* / Л.В. Мышкин. – М.: Издат. дом «Наука», 2017. – 480 с.

10. Проектирование самолётов / под ред. М.А. Погосяна. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Инновац. машиностроение, 864 с.
11. Ayperi Karabuda. *The New Aerial Photography from Dronestagram* / Karabuda Ayperi, *Drone-scapes Ecer* – Thames & Hudson, 2017. – 288 p.
12. Шеваль, В.В. Беспилотные летательные аппараты как носители оборудования комплексных систем наблюдения / В.В. Шеваль; под ред. М.Н. Красильщикова. – М.: Изд-во МАИ-ПРИИТ, 2010. – 104 с.
13. Yan-Yee Andy Ko, *The Role of Constraints and Vehicle Concepts in Transport Design: A Comparison of Cantilever and Strut-Braced Wing Airplane Concepts* / Andy Ko Yan-Yee. *Masters Thesis*. – Virginia Polytechnic Institute and State University; April 2000. – 109 p.
14. *The Conceptual Design and Aerodynamic Characteristics Analysis of the Diamond Joined-Wing Configuration UAV* / S. Junlei, Z. Zhou, W. Heping, L. Shan // 2017 5th International Conference on Mechanical, Automotive and Materials Engineering, CMAME – 2017. – P. 42–47.
15. Комиссаров, А.А. НТО «Разработка методик определения параметров беспилотного летательного аппарата в условиях заданных стоимостных ограничений» / А.А. Комиссаров // ОАО «ОКБ Сухого» № НТО-БТ-122/003-11-11, 2011.
16. *Roskam Jan. Airplane Design, Part IV* / Jan Roskam. – DARcorporation; Lawrence, KS, 2007. – 403 p.
17. Проектирование самолетов / под ред. С.М. Егера. – М.: Машиностроение, 1983. – 616 с.
18. Конструкция и прочность летательных аппаратов: учеб. для вузов ВВС / под ред. О.В. Болховитинова. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2004. – 678 с.
19. Jay Gundlach. *Designing Unmanned Aircraft Systems: A Comprehensive Approach* / Gundlach Jay. – American Institute of Aeronautics & Astronautics, 2014. – 848 p.
20. McCanny Ronan *Statistics and Trends in Commercial Transport Aircraft* / Ronan McCanny. – Final-year project with the author as supervisor, 2005.

Серебрянский Сергей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры 101 «Проектирование и сертификация авиационной техники», Московский авиационный институт, г. Москва, s-s-alex@mail.ru.

Парненко Алексей Евгеньевич, кандидат технических наук, начальник бюро, Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Радар ммс», г. Санкт-Петербург, a_e_paren@mail.ru.

Поступила в редакцию 6 июня 2019 г.

DOI: 10.14529/engin190305

APPROACH TO SHAPING THE TECHNICAL APPEARANCE OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

S.A. Serebryansky¹, s-s-alex@mail.ru,

A.E. Parnenkov², a_e_paren@mail.ru

¹Moscow Aviation Institute, Moscow, Russian Federation,

²Joint-Stock Company “Research and Production Enterprise “Radar mms”, St. Petersburg, Russian Federation

The article focuses upon the substantiation of efficiency criterion at formation of technical shape of an unmanned aerial vehicles.

The authors analyze the criteria of efficiency of applying unmanned aerial vehicles, such as relative weight, flight time, unit cost of flight and life cycle cost and provide reasoning for the necessity of using the combined criterion considering economic and functional efficiency. Variable, non-variable and uncertain parameters characterizing an unmanned aerial vehicles are

formulated. The optimization problem of determining the technical appearance is considered. The process of technical appearance formation is based on three interrelated processes: aerodynamic arrangement; volume-mass arrangement and structural-force arrangement.

The purpose of the technical appearance is to find such interrelated values of the parameters of an unmanned aerial vehicle (UAV), which ensure the achievement of a compromise between the requirements while ensuring the extreme of any selected generalized criterion of optimality, for example, the minimum cost of the life cycle of the finished product - the aircraft.

This criterion is one of the most general criteria for aircraft efficiency, but it is difficult to calculate it at an early stage of development. Therefore, in practice, it uses other criteria that are close to the cost of the life cycle stages.

The specific feature of the process of UAV glare formation, as well as any complex technical system, is a large number of unknown and high degree of uncertainty, especially at the early stages of development. To overcome this uncertainty, the design process is divided into a series of successive iterative stages.

The task of searching for the most advantageous combination of UAV design parameters depending on its purpose can be considered as the task of searching for the extremum of some target function – optimization task.

Based on the conducted substantiation the authors propose the technique of defining the rational appearance of an unmanned aerial vehicles, considering the accepted restrictions.

Keywords: unmanned aerial vehicles, efficiency criterion, technical appearance, variable parameters, non-variable parameters, undefined parameters, optimization, design, iteration stages.

References

1. Varsha N., Somashekar V. Conceptual Design of High Performance Unmanned Aerial Vehicle. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 376, iss. 1.
2. Taek Hyunoh. Conceptual Design of Small-Unmanned Aerial Vehicle with Proton Exchange Membrane Fuel Cell System for Long Endurance Mission. *Energy Conversion and Management*, 2018, vol. 176, no. 15, pp. 349–356.
3. Austin, Reg. Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment. *Great Britain, Wiltshire*, 2011. 365 p.
4. Kimon P. Valavanis, George J. Handbook of Unmanned Aerial Vehicles, *Springer Netherlands*, 2014, 22–30 p.
5. Haibin Duan, Pei Li. Bio-inspired Computation in Unmanned Aerial Vehicles. *Springer Science & Business Media*, 2014. 269 p.
6. Grebennikov A.G., Myalitsa A.K., Parfenyuk V.V., Parfenyuk O.I., Udovichenko S.V. *Obshchiye vidy i kharakteristiki bespilotnykh letatel'nykh apparatov* [General Views and Characteristics of Unmanned Aerial Vehicles]. Kharkiv, Kharkiv Aviation Institute, 2008. 377 p.
7. Trofimchuk M.V., Serebryansky S.A., Strelets D.Y. [Formation of the Technical Appearance of the Aircraft Power Systems of Operational-Tactical Fighter]. *Journal "Polet"*. 2018, no. 6, pp. 1–84. (in Russ.)
8. Barkovskiy V.I. (Ed.), Skopets G.M., Stepanov V.D. *Metodologiya formirovaniya tekhnicheskogo oblika eksportno oriyentirovannykh aviatsionnykh kompleksov* [Methodology of the Formation of the Technical Appearance of the Export-Oriented Aviation Complexes]. Moscow, PHISMATLIT, 2008. 244 p.
9. Myshkin L.V. *Prognozirovanie razvitiya aviatsionnoy tekhniki* [Forecasting of Aircraft Development]. Moscow: Publishing House "Science", 2017, 480 p.
10. Poghosyan M.A. (Ed.) *Proektirovanie samoletov* [Aircraft Design]. 5th ed. Moscow, Innovative mechanical engineering, 864 p.
11. Ayperi Karabuda, Ecer Dronesapes. The New Aerial Photography from Dronestagram. *Thames & Hudson*, 2017, 288 p.
12. Cheval V.V. *Bespilotnyye letatel'nyye apparaty kak nositeli oborudovaniya kompleksnykh sistem nablyudeniya* [Unmanned Aerial Vehicles as Carriers of the Complex Surveillance Systems Equipment Ed. by M.N. Krasilytsikova]. Moscow, Publishing house MAI-PRINT, 2010. 104 p.

Расчет и конструирование

13. Yan-Yee Andy Ko. The Role of Constraints and Vehicle Concepts in Transport Design: A Comparison of Cantilever and Strut-Braced Wing Airplane Concepts. Masters Thesis. *Virginia Polytechnic Institute and State University*, 2000, 109 p.

14. Junlei S., Zhou Z., Heping W., Shan L. The Conceptual Design and Aerodynamic Characteristics Analysis of the Diamond Joined-Wing Configuration UAV. *5th International Conference on Mechanical, Automotive and Materials Engineering, CMAME 2017*, 2017, pp. 42–47.

15. Komissarov, A.A. *Razrabotka metodik opredeleniya parametrov bespilotnogo letatel'nogo aparata v usloviyakh zadannykh stoimostnykh ogranicheniy* [Development of the Methods for Determination of the Parameters of the Unmanned Aerial Vehicle under the Conditions of the Given Cost Restrictions]. JSC “Sukhoi Design Bureau” No. NTO-BT-122/003-11-11, 2011.

16. Roskam Jan. *Airplane Design, Part IV*. DARcorporation; Lawrence, KS; 2007, 403 p.

17. Yeager S.M. (Ed.) *Proektirovanie samoletov* [Aircraft Design]. Moscow, Mashinostroenie, 1983. 616 p.

18. Bolkhovitinov O.V. (Ed.) *Konstruktsiya i prochnost' letatel'nykh apparatov* [Aircraft Design and Strength; Air Force Textbook for Higher Education Institutions]. Moscow, N.E. Zhukovskiy VVIA, 2004. 678 p.

19. Jay Gundlach, *Designing Unmanned Aircraft Systems: A Comprehensive Approach*, *American Institute of Aeronautics & Astronautics*, 2014. 848 p.

20. McCanny Ronan. *Statistics and Trends in Commercial Transport Aircraft. Final-year project with the author as supervisor*, 2005.

Received 6 June 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Серебрянский, С.А. Подход к формированию технического облика беспилотного воздушного судна / С.А. Серебрянский, А.Е. Парников // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2019. – Т. 19, № 3. – С. 43–52. DOI: 10.14529/engin190305

FOR CITATION

Serebryansky S.A., Parnenkov A.E. Approach to Shaping the Technical Appearance of an Unmanned Aerial Vehicle. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2019, vol. 19, no. 3, pp. 43–52. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin190305