

УДК 629.7.062

## ФОРМИРОВАНИЕ ОБЛИКА ВЫСОТНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ВОЗДУШНОЙ РАЗВЕДКИ В ЗАДАЧАХ ПОИСКА

И.К. ТУРКИН, Д.А. ТРОХОВ  
(по материалам открытой печати)

В статье приведены подходы к формированию и выбору оптимального облика высотного разведывательного БЛА большой продолжительности полета. На примере существующих прототипов рассмотрены вопросы расчета целевой эффективности, стартовой массы, аэродинамических характеристик, характеристик силовой установки.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, высотная разведка, поиск, разведка, большая продолжительность полета.

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы страны НАТО, как США, так и европейские страны начали уделять повышенное внимание разведывательным аппаратам концепции HALE (high altitude, long endurance – большая высота, большая продолжительность). Аппараты, создаваемые в рамках этой концепции, относятся к классу стратегических и предназначены для решения стратегических разведывательных задач. Проектами БЛА, отвечающими требованиям концепции HALE, являются: «Global Hawk», «Sensor Craft США (рис. 1), БЛА концепции HALE EADS, Европейский союз, шведский БЛА концепции HALE, французский БЛА ("Фрегат" фирмы Matra-Aerospace). [1], [2] Проектирование подобных БЛА, как элементов беспилотных разведывательных систем, имеет ряд особенностей и требует системного подхода с учетом показателей целевой эффективности комплексов.



Рис. 1. БЛА «Global Hawk» (слева) и «Sensor Craft» (справа)

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Формирование облика ЛА – системная задача со многими неизвестными и со сложными зависимостями между этими неизвестными. В ТТТ к проекту содержатся не только технические требования, но и ряд ограничений, например, на тип двигателя, способ пуска, геометрические параметры БЛА и др. Для определения оптимального облика БЛА необходимо выбрать объективные критерии оценки, с помощью которых можно было бы сравнить различные варианты и выбрать лучший.

В первую очередь при выборе критерия оценки облика БЛА воздушной разведки необходимо учитывать его целевую эффективность, т.е. вероятность выполнения разведывательной задачи. С другой стороны, для любого летательного аппарата имеется не

менее важный показатель качества – его стартовая масса. Более того, стартовая масса ЛА является приближенным показателем его стоимости. В связи с этим целесообразным представляется выбор стартовой массы ( $G_0$ ) как критерия качества ( $K$ ), а эффективность выполнения разведывательной задачи ( $W$ ) (вероятность обнаружения объектов поиска) как дисциплинирующее условие. Таким образом, задачей выбора рационального облика БЛА является определение параметров планера БЛА, силовой установки, целевой нагрузки при котором выполняется условие:

$$K = \min G_0, \text{ при } W \geq \text{const.}$$

На основе алгоритма формирования облика ударных БЛА, изложенного в [4], разработан алгоритм формирования облика высотных разведывательных БЛА (рис. 2). С учетом требований тактико-технического задания (ТТЗ) формируются варианты облика БЛА. Эти варианты могут отличаться аэродинамической компоновкой, типом двигателя, геометрическими параметрами и др. Также в соответствии с ТТЗ формируется облик бортового разведывательного комплекса (БРК). Основные компоненты БРК – это навигационно-пилотажный комплекс (НПК), бортовой комплекс связи и передачи информации (БКС) и целевая разведывательная аппаратура. На эффективность выполнения разведывательной задачи с точки зрения БРК оказывают существенное влияние среднеквадратическая ошибка навигации БЛА ( $\sigma$ ), вероятность передачи разведывательной информации потребителю ( $W_{\text{пд}}$ ), ширина полосы захвата местности целевой разведывательной аппаратуры ( $W_{\text{ца}}$ ), условная вероятность обнаружения/распознавания объекта поиска при попадании его в полосу захвата ЦА ( $W'$ ).

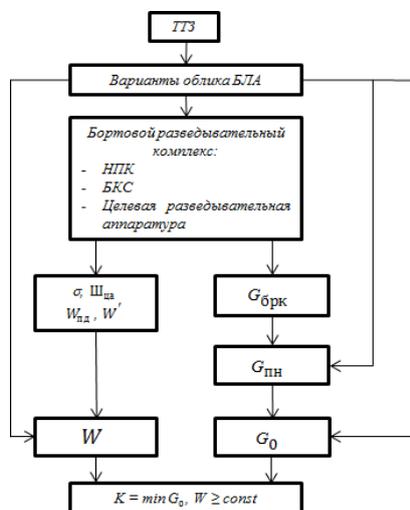


Рис. 2. Укрупненный алгоритм формирования облика БЛА

Для патрульных БЛА высотной разведки актуально значительное время патрулирования на высотах 15 - 20 км. В связи с этим на целевую эффективность БЛА, помимо характеристик целевой аппаратуры, большое влияние оказывает время патрулирования в зоне поиска, которое является функцией различных параметров, в том числе аэродинамическое качество ЛА и показатели экономичности его силовой установки.

Планер и силовая установка в значительной степени определяют летно-технические характеристики ЛА. Основной проблемой создания высотных самолетов является достижение больших значений аэродинамического качества. Большое влияние на аэродинамическое качество оказывает удлинение крыла. Опыт создания БЛА показывает, что с точки зрения

высотности и большой продолжительности полёта целесообразно рассматривать ЛА нормальной схемы с механизированным крылом. Удельная нагрузка на крыло у таких БЛА составляет 200-250 кг/м<sup>2</sup>. Относительная масса конструкции БЛА, при широком использовании композитных материалов, лежит в пределах 0.26...0.3 (рис. 3).



**Рис. 3.** Зависимость относительной массы конструкции высотного БЛА от удельной нагрузки на крыло

Примером реализованного проекта высотного БЛА с большой продолжительностью ведения разведки является БПЛА RQ-4A «Global Hawk» (табл. 1). Аппарат «Global Hawk» выполнен по нормальной аэродинамической схеме с низко расположенным крылом большого удлинения и V-образным хвостовым оперением. Крыло и хвостовое оперение изготовлены из композиционного материала на основе углеволокна (рис. 8). Фюзеляж типа полумонокк выполнен из алюминиевых сплавов. В приборном отсеке, расположенном ниже, размещена разведывательная аппаратура. В средней части установлен топливный бак, а в хвостовой части - двухконтурный турбореактивный двигатель AE 3007H фирмы «Роллс-Ройс» с максимальной тягой 36,8 кН. При разработке весовой модели методики учитывалось, что композитные материалы составляют до 65 % веса планера. Весовая модель основывается на работах [4], [5]. При использовании в конструкции крыла БЛА «Global Hawk» ( $\lambda = 25$ ,  $\rho = 235$  кг/м<sup>2</sup>,  $c_{cp} = 0.12$ ) углепластиков, почти в 3.5 раза снижается относительная масса крыла по сравнению со сплавами алюминия.

**Таблица 1**

Основные характеристики БПЛА RQ-4A Global Hawk

Основные характеристики	
<b>Фюзеляж</b>	
Длина, мм	13530
Ширина, мм	1460
<b>Крыло</b>	
Размах, мм	35420
Площадь, м <sup>2</sup>	50,2
Относительное удлинение	25
<b>Массы</b>	
Масса взлетная максимальная, кг	11622
Масса пустого, кг	4177
Масса ПН, кг	863
Масса топлива, кг	6583

## АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Для определения аэродинамических характеристик аэродинамической компоновки БЛА «Global Hawk» использовалось ПО ANSYS FLUENT. Геометрическая модель БЛА изготовлялась в среде Pro ENGINEER (рис. 4).

Результат расчета аэродинамических характеристик приведен на рис. 5.

Большое удлинение крыла позволяет достигать большого аэродинамического качества. На крейсерской высоте 18000 м полета при числе  $M = 0.55$  качество равно  $K = 29$ .

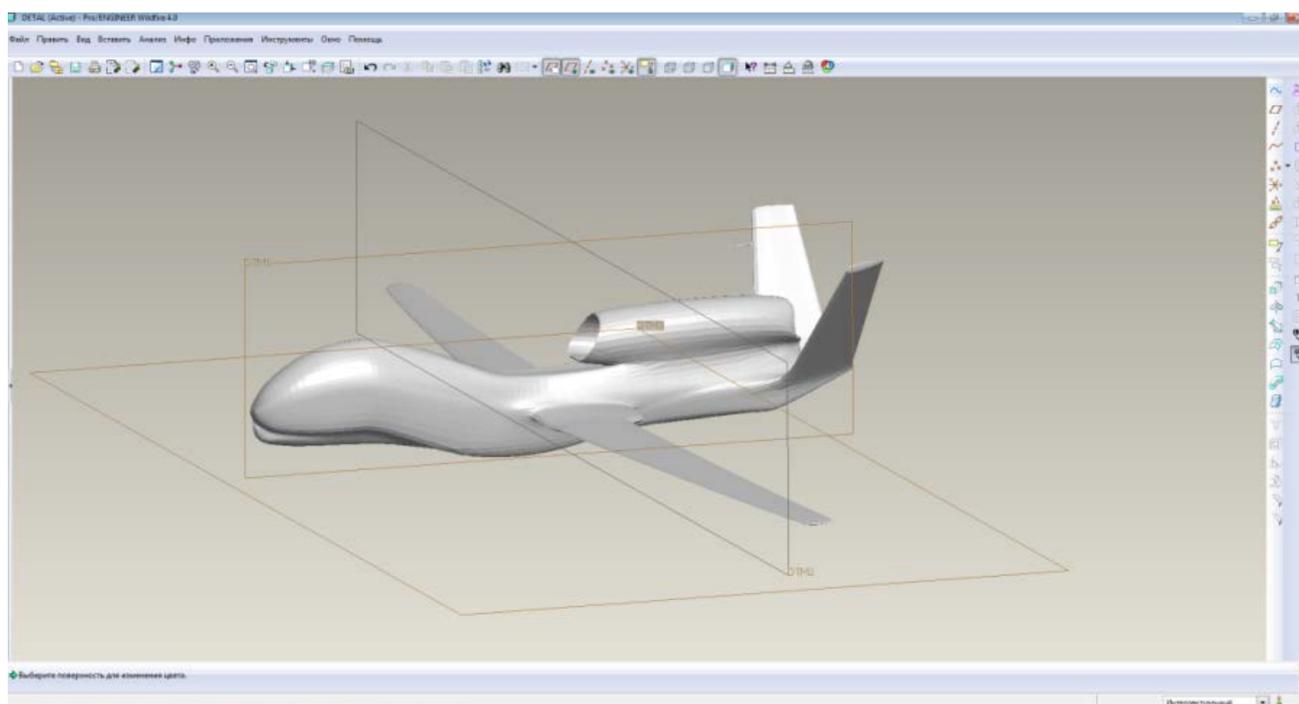


Рис. 4. Геометрическая модель БЛА в среде Pro ENGINEER

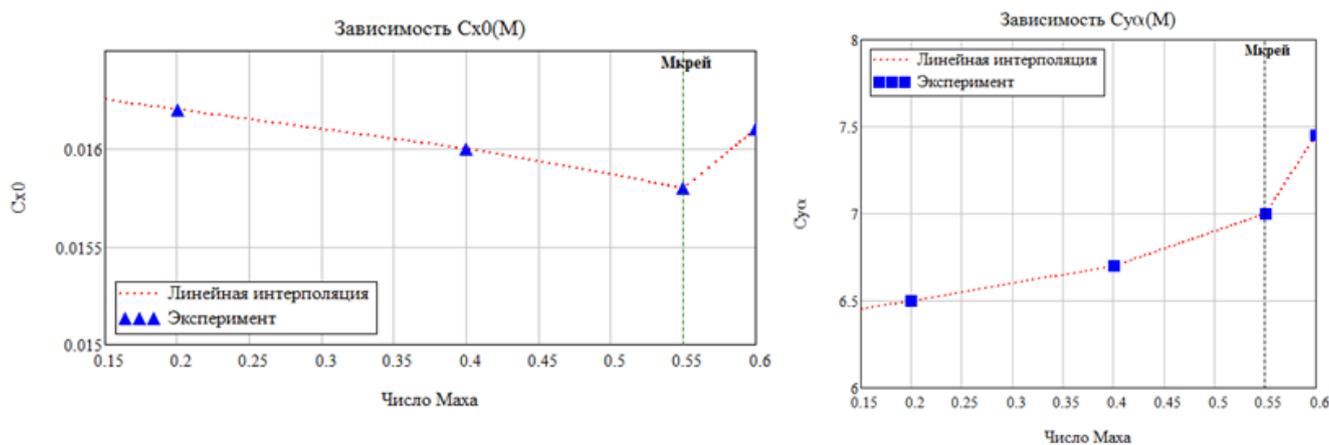


Рис. 5. Зависимость  $C_{x0}$  (слева) и  $C_{ya}$  (справа) модели от числа Маха

## ДВИГАТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Двигательная установка высотного БЛА должна удовлетворять режиму полета, т.е. высотам до 20 км и дозвуковым скоростям. Основной задачей при определении требований к силовой установке высотного самолёта является определение оптимального

с точки зрения экономичности значения степени двухконтурности двигателя. На рис. 6 приведены расчетные зависимости удельного расхода топлива и тяги ТРДД прототипа RR AE3007 от высоты и числа Маха полета. Методика расчета удельных характеристик приведена в [6].

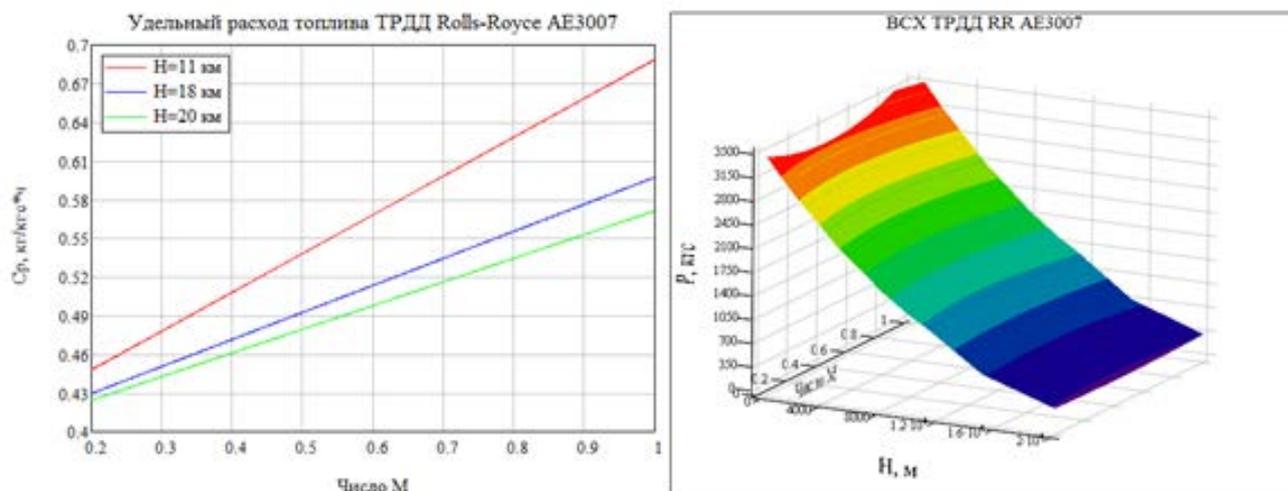


Рис. 6. Расчетная зависимость удельного расхода топлива (слева) и BCX по тяге (справа) ДУ БЛА «Global Hawk»

## ЦЕЛЕВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНОГО БЛА

Различают три основных вида поиска: контрольный поиск (в районе), поиск по вызову и поиск на рубеже. Основной боевой задачей БЛА воздушной разведки является контрольный поиск. Контрольный поиск представляет собой обследование заданного района для обнаружения объекта или установления его отсутствия. Контрольный поиск проводится в тех случаях, когда нет данных о месте нахождения объекта на определенный момент времени. Контрольному поиску соответствует равномерное распределение вероятных мест объекта в районе, подлежащем обследованию.

Модель расчета вероятности обнаружения при различных видах поиска представлена в [7].

Эффективность случайного поиска объекта в районе определяется вероятностью обнаружения объекта. Вероятность обнаружения объекта  $W$  в соответствии с [7] определяется формулой (1):

$$W = \left( 1 - e^{-\frac{uT_{\Pi}}{S_p}} \right) W', \quad (1)$$

где  $u$  – производительность поиска с учетом вероятности неуклонения объекта и вероятности получения с ним контакта;

$T_{\Pi}$  – время поиска (время одновременного нахождения в районе поиска площадью  $S_p$  наблюдателя и объекта);

$W'$  – условная вероятность обнаружения/распознавания объекта поиска при попадании его в полосу захвата ЦА.

Теоретическая производительность поиска  $u$  рассчитывается по формуле (2):

$$u = \text{Ш}_{\text{ца}} v_{\rho 0}, \quad (2)$$

где  $\text{Ш}_{\text{ца}}$  – эффективная полоса обследования целевой разведывательной аппаратуры наблюдателя (рис. 7);

$v_{\rho 0}$  – средняя скорость поиска определяется по формуле (3):

$$v_{\rho 0} = k_v (v_n + v_{\text{ц}}), \quad (3)$$

где  $k_v$  – коэффициент, зависящий от соотношения скоростей наблюдателя и объекта поиска (при  $\frac{v_n}{v_{\text{ц}}}$  или  $\frac{v_{\text{ц}}}{v_n} \leq 0,1$   $k_v = 0,91$ ), где

$v_n$  – скорость наблюдателя;

$v_{\text{ц}}$  – скорость объекта поиска.

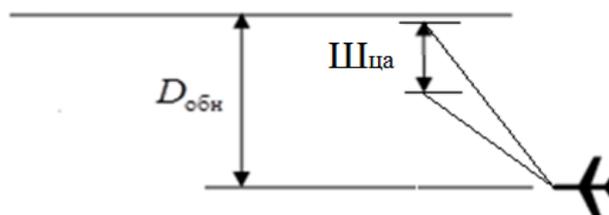


Рис. 7. К расчету эффективной полосы обзора ЦА

Время поиска в районе  $T_n$  определяется общим временем полета БЛА с учетом времени полета БЛА до района поиска и обратно. Общее время полета можно представить как отношение дальности к скорости полета.

Дальность полета в первом приближении можно определить по формуле (4):

$$L = 3.6 \left( \frac{KV_{\text{крей}}}{C_p} \right) \ln \frac{1}{1-\mu}, \quad (4)$$

где  $K$  – аэродинамическое качество;

$V_{\text{крей}}$  – крейсерская скорость полета (поиска);

$C_p$  – удельный расход топлива;

$\mu_T$  – относительная масса топлива.

По предложенной методике был рассчитан БЛА большой продолжительности полета в соответствии с ТТЗ на существующий прототип высотного разведывательного БЛА «Global Hawk». Определялись основные проектные параметры высотного БЛА большой продолжительности полета исходя из тактико-технических требований (табл. 2) к БЛА «Global Hawk». Вероятность наведения и вероятность безотказной работы в расчете целевой эффективности не учитывались.

Таблица 2

Основные требования к БПЛА RQ-4A Global Hawk

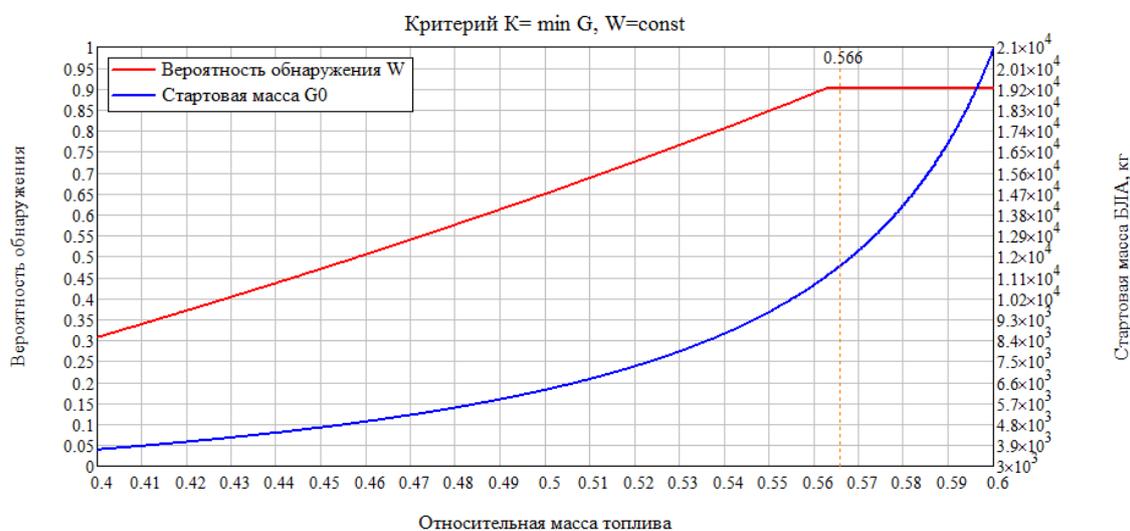
Разбег/пробег	не более 1000 м
Боевой радиус (удаление зоны разведки)	не менее 5000 км
Размер зоны разведки	140000 км <sup>2</sup>
Время патрулирования в зоне	не менее суток
Ширина полосы обзора ЦА	10 км
Условная вероятность обнаружения в полосе обзора ЦА	не менее 0.9
Крейсерская высота	18000 м
Максимальная высота	19500 м
Крейсерская скорость	600 км/ч
Максимальная скорость	650 км/ч
Скорость захода на посадку	50 км/ч
БРЛС	тип HISAR
Масса полезной нагрузки	860 кг

Основные проектные параметры высотного разведывательного БЛА, полученные по методике, приведены в табл. 3. Зависимость стартового веса и эффективности разведки от относительной массы топлива представлена на рис. 8.

Таблица 3

Основные проектные параметры БЛА

Параметр	Расчет по методике		Прототип (БЛА Глобал Хок)	Расхождение результата, %
Стартовый вес, кг	11100		11622	4.5
Площадь крыла, м <sup>2</sup>	48.232		50.2	3.9
Нагрузка на крыло	230.294		236	2.4
Тяговооруженность	0.297		0.302	1.7
Относительная масса топлива	0.5624		0.566	0.64
Относительная масса конструкции	0.268	0.36 (в сумме)	0.359 (в сумме)	0.28
Относительная масса ДУ	0.092			

Рис. 8. Зависимость  $G_0$  и  $W$  от относительной массы топлива

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пример расчета показывает совпадение результатов расчета основных проектных параметров, полученных по предложенной методике, с параметрами БЛА «Global Hawk». Расхождение в результатах расчета основных параметров БЛА не превышает 4.5%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Ефремов Е.Н., Попов В.А.** Потребности НАТО в разведывательных беспилотных летательных аппаратах нового поколения и работы по их созданию в Европе. ФГУП «ГОСНИИАС». 2005.
2. **Туркин И.К., Трохов Д.А.** К вопросу проектирования беспилотного летательного аппарата для решения разведывательных задач на море [электронный ресурс] // Труды МАИ. 2014. № 78.
3. **Туркин И.К.** Оценка проектных решений для тонкостенных конструкций ЛА с использованием критериев боевой эффективности комплексов // Вестник МАИ. 1997. С. 12-19.
4. **Шейнин В.М., Козловский В.И.** Весовое проектирование и эффективность пассажирских самолетов. Т. 1, 2. Весовой анализ. – М.: «Машиностроение», 1977.
5. **Мышкин Л.В.** Прогнозирование развития авиационной техники: теория и практика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006.
6. **Егер С.М.** Проектирование самолетов: учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1983.
7. **Абчук В.А.** и др. Справочник по исследованию операций / под общ. ред. Ф.А. Матвейчука. – М.: Воениздат, 1979.

## FORMING OF THE SHAPE OF THE HIGH-ALTITUDE UAV OF AIR RECONNAISSANCE

**Turkin I.K., Trokhov D.A.**

The method of optimal technical configuration synthesis and selection of long flight duration unmanned aerial vehicles are presented herein. Problems of mission effectiveness, take-off weight, aerodynamic and power plant characteristics calculations are considered by existing prototypes.

**Key words:** UAV, high-altitude reconnaissance, search, long flight duration.

## REFERENCES

1. **Efremov Y.N., Popov V.A.** Needs NATO reconnaissance unmanned aerial vehicles of the new generation and their establishment in Europe, GOSNIAS, 2005. (In Russian).
2. **Turkin I.K., Trokhov D.A.** Designing unmanned aircraft for intelligence solutions at sea, Proceedings of the Moscow aviation Institute. 2004. No. 78.
3. **Turkin I.K.** Thin-Walled Structures Estimation Using Combat Efficiency Criteria, Bulletin of the Moscow aviation Institute, 1997.
4. **Sheinin V.M., Kozlovsky V.I.** Weight design and efficiency of passenger aircraft. T. 1, 2. Weight analysis. – M., Mashinostroenie [Engineering], 1977.
5. **Myshkin L.V.** Prediction of aircraft development: theory and practice. – M.: FIZMATLIT, 2006. 304 s.
6. **Jaeger M.S.** University Textbook Designing planes. - M.: Izd. Mashinostroenie [Mechanical engineering] 1983.

7. **Abchuk V.A. and etc.** Handbook of operations research / ed. ed. F.A. Matviychuk – М.: Voenizdat, 1979.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Трохов Д.А.** 1985 г.р., окончил МАИ (2009), аспирант кафедры 602 МАИ, автор 2 научных работ, область научных интересов – системное проектирование БЛА. E-mail: dmitry85t@mail.ru

**Туркин И.К.** 1951 г.р., профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой каф. 602 МАИ, автор 50 научных работ, область научных интересов – конструкции ЛА, техническая механика, динамика конструкции ЛА, оптимальное проектирование. E-mail: kafedra\_602@mail.ru