

УДК 629.735.33

В.А. СЕРЕДА

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***КРИТЕРИАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВА СИСТЕМ ВВОДА В ПОЛЕТ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

*Предложен обобщенный подход к формированию облика систем ввода в полет (СВП) беспилотных летательных аппаратов (БЛА) на основании теории размерности и подобия. Сформирован безразмерный критерий, позволяющий выявить преобладающий характер потенциальной или кинетической функции СВП на основании ограниченного набора интегральных характеристик, в частности – тактико-технических. Результаты исследования представлены в трехмерном координатном пространстве критериальных оценок в виде пузырьковой диаграммы. Приведены примеры выбора облика СВП на основании полученных данных.*

**Ключевые слова:** системы ввода в полет, катапультный старт, пиротехнический старт, воздушный старт, беспилотный летательный аппарат, транспортная система, метод размерности и подобия, энергетическое совершенство.

**Введение**

Анализ ситуации, сложившейся в области систем ввода в полет (СВП) беспилотных летательных аппаратов (БЛА) [1], приводит к выводу о спонтанном характере процесса выработки ключевых проектных решений, не связанном с какими-либо системными представлениями о целенаправленном использовании располагаемого научно-технического задела в данной сфере деятельности. Универсальная возможность преодоления подобного состояния в области проектирования различных объектов аэрокосмической техники (АКТ) на основе теории размерности и подобия предложена в цикле статей [1 – 7]. Предметом настоящей статьи является обобщение метода критериальных оценок совершенства СВП [1 – 7] на основе критерия высотно-скоростных возможностей, обеспечивающее решение проектных задач, связанных с формированием облика транспортной системы (ТС) в составе СВП + БЛА.

**1. Критерий высотно-скоростных возможностей СВП**

Видовая специфика СВП БЛА находит свое выражение в соотношении потенциальной и кинетической энергий, придаваемых аппарату в процессе выведения на траекторию.

Например, при аэростатном запуске БЛА потенциальная энергия фазы ввода в полет преобладает над кинетической. Набор скорости в данном случае осуществляется за счет пикирования. С другой стороны, при катапультном старте преобладает кинетическая энергия, а набор высоты незначителен и определяется наклоном направляющей. Более сба-

лансированными по энергетике представляются двухступенчатые ТС (пиротехнического и воздушно-го) старта: для них характерна как высокая скорость, так и значительная высота вывода на траекторию.

Следовательно, видовая специфика СВП БЛА может быть выведена из отношения критериев, характеризующих единственную полезную функцию – высоты или скорости:

$$K_{BC} = \frac{K_V}{K_H} = \frac{\frac{m_{БЛА} V^2}{2E_3}}{\frac{m_{БЛА} gH}{E_3}} = \frac{V^2}{2gH}, \quad (1)$$

где  $K_V$ ,  $K_H$  – критерии скоростного и высотного совершенства [1 – 3]. Прочие компоненты пространства оценок:  $n$  – предельно допустимая стартовая перегрузка,  $Re$  и  $M_{max}$  – максимальные числа Рейнольдса БЛА и Маха, характеризующие вязкое и волновое сопротивление среды, – также являются доминирующими показателями облика ТС.

Полученное таким образом пространство оценок, основывающееся на доступной статистике (см. табл.) представлено на рис. 1 трехмерной диаграммой, где стратификация СВП по признаку преобладания скоростных либо высотных свойств отображена путем нормирования величины пузырька значением  $K_{BC}$ .

**2. Критериальный метод формирования облика СВП БЛА**

В зависимости от проектных требований критерий (1) позволяет целенаправленно сформировать облик СВП с высотно-скоростными характеристика-

Характеристики СВП и их значения критерия высотно-скоростных характеристик [8 – 12]

Старт	Аппарат	l, м	m, кг	V max, м/с	Примечание	Kt/Kv	
Катапультный	Альбатрос	1,3	22	50	Длина направляющей L, м	7	0,045
	Грант	2,33	20	34		5,5	0,023
	Luna X-2000	2,24	30	36		4,3	0,060
	Ремез	0,78	10	40		10	0,036
	Skylite B	1,15	12	28		2,6	0,079
	Sparrow	2,14	45	52		6	0,124
	I-View	2,7	65	20		6,5	0,159
	CL-28	2,42	18	41		7,5	0,088
Пиротехнический	Regulus II	17,25	10400	666	Угол старта $\alpha$ , °	14	0,085
	Matador	12,1	5400	288		25	0,172
	Firebee	6,99	935	259		36	0,293
	Peregrine	5,95	907	301		42	0,339
	Sreaker	5,51	664	256		22	0,223
	Regulus	10,1	4670	267		32	0,349
	Рейс-Д	8,29	1400	261		24	0,274
	CL-289	3,61	220	200		26	0,322
Воздушный	Firefly	10,4	2375	266	Самолет-носитель	DC-130	6,244
	Ла-17БП	8,98	3100	249		Ту-4	22,85
	Firebrand	10,4	2800	666		DC-130	6,244
	Slat	5,47	1090	832		A-6	5,690
	Firebolt	5,18	558	1431		F-4	4,964
	Firebee II	8,89	1110	592		EC-121	9,415
	Teal	3,6	160	316		F3H-2M	3,050
	Gordon V	4,42	440	220		B-52	6,376

ми, адекватными заданному классу БЛА, т.е. обеспечивающей надежный и безопасный ввод в полет. Последнее условие требует дополнительных уточнений. Под надежным вводом следует понимать обеспечение минимально допустимой скорости пуска, превышающей скорость сваливания, а также исключающей недопустимую просадку БЛА. Понятие безопасного запуска определяется ограничением по перегрузке. Далее приведены некоторые примеры решения задач формирования облика СВП.

**Пример № 1:** разведывательный мини-БЛА массой 20 кг с максимальной скоростью полета 30 м/с и винтомоторной двигательной установкой.

Имеющиеся статистические данные (Scan Eagle, Silver Fox) позволяют оценить минимальную скорость ввода в полет значением 15 м/с, а стартовую перегрузку – не более 4...5 g. Пузырьковая диаграмма (рис. 1) ограничивает величину критерия (1) пределом 0,2...0,5. Назначение БЛА для ближней разведки влечет за собой требование скрытного запуска. Оптимальным решением в данном случае следует считать механическое катапультное устройство на основе упругих элементов (Sparrow, Skylite A, B).

**Пример №2:** ударный БЛА массой 300 кг со скоростью полета 250 м/с, оснащенный ТРД.

Типовая скорость ввода в полет аналогичных БЛА соответствует приблизительно 100 м/с. Назначение аппарат требует в условиях противодействия современных средств ПВО энергичного маневрирования, что, в случае отказа от использования дорогостоящего твердотельного БРЭО, позволяет оценить предельно допустимую стартовую перегрузку значением 10 g. Величина критерия (1) попадает в зону ответственности пиротехнических СВП и составляет 0,1...0,3, что может быть получено при длительном воздействии на аппарат толкающего усилия. Замыкающими проектными условиями, позволяющими однозначно решить задачу надлежащего выбора облика СВП, могут служить требования к способу базирования (наземного, воздушного, морского), условиям тактического применения (скрытность старта, возможность пуска из укрытия), наличию лицензии на использование тех или иных материалов или параметров работы устройства.

### 3. Структурный анализ результатов критериальной оценки СВП

Наиболее широкими возможностями обладают двухступенчатые БЛА воздушного старта, их показатели на порядок превосходят другие СВП.

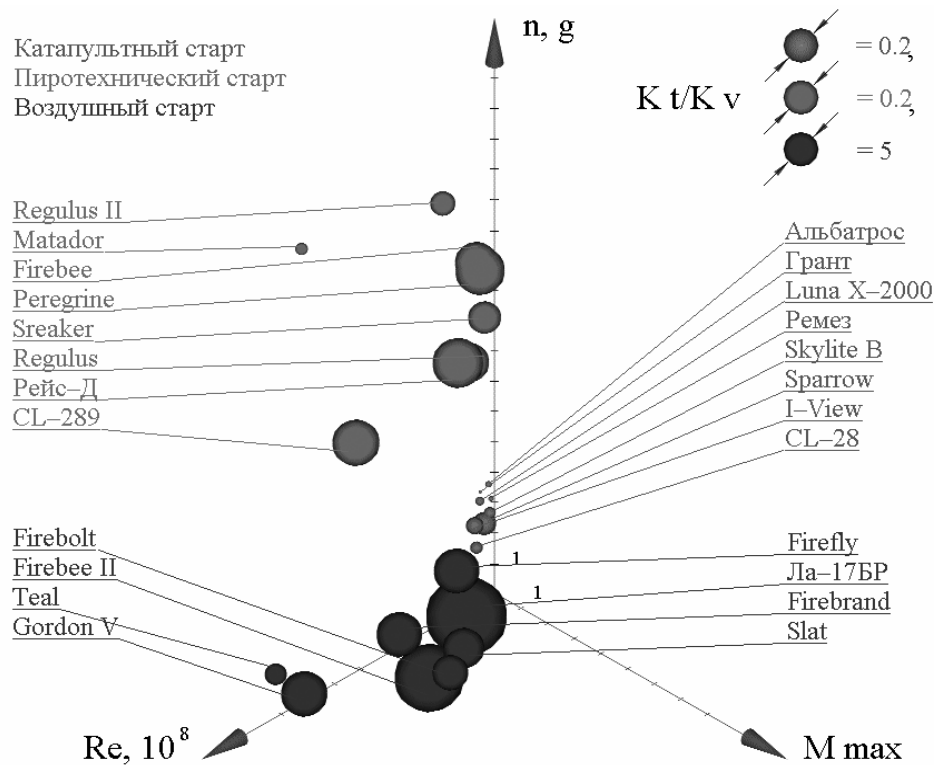


Рис. 1. Пузырьковая диаграмма, характеризующая преобладание потенциальной или кинетической функции

Пиротехнические СВП являются наиболее универсальными в связи с тем, что занимают широкий диапазон как по величинам критерия  $K_{BC}$  (1), так и по значениям максимальной скорости полета, чисел Рейнольдса и стартовой перегрузки. В пределах данной группы пусковые устройства отличаются узостью диапазона охватывающих характеристик.

Существуют пусковые устройства и стартовые ускорители с близкими высотно-скоростными возможностями (Matador, Luna X-2000). Следовательно, при условии их сходной энергетики выбор типа СВП определяется специальными функциональными требованиями к процессу запуска.

В порядке преобладания высотных возможностей над скоростными, СВП следуют воздушный, пиротехнический, катапультный виды старта.

На диаграмме отчетливо прослеживаются зоны ответственности того или иного типа СВП. Кроме того, в пространстве имеются пробелы, не заполненные ни одним из типов СВП. Следовательно, возможно существование образцов СВП с гибридными и рекордными характеристиками.

### Заключение

Соотношение между кинетической и потенциальной энергиями ввода в полет БЛА посредством СВП (1), наподобие пропорционального критерия транспортно-скоростного совершенства аэродинамических ТС [7], порождает пространство критери-

ального позиционирования соответствующих объектов техники, что обеспечивает возможность построения трехмерных геометрических образов вида предложенной пузырьковой диаграммы.

Критерий (1) строится на основе минимальных однородных факторных матриц оцениваемых объектов, что позволяет свести сравнительный анализ совершенства многочисленных образцов СВП к формальному использованию правила норм.

Впервые предложены принципы системного формирования облика СВП малозатратным методом на основе известных технических решений.

Задача создания ТС сбалансированного поэлементного совершенства требует для своего решения привлечения новых методов проектирования. Метод критериальной оценки облика СВП в совокупности с опережающими численными исследованиями позволяет радикально сократить ресурсоемкость разработки нового образца ТС за счет сокращения объема натурной доводки.

### Литература

1. Авилов И.С. Критериальные оценки энергетического совершенства пусковых устройств легких беспилотных летательных аппаратов / И.С. Авилов, А.В. Амброжевич, В.А. Середя // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2007. – № 2 (38). – С. 15-19.
2. Амброжевич М.В. Критериальные оценки транспортного совершенства беспилотных лета-

тельных аппаратов воздушного старта / М.В. Амброжевич, А.С. Карташев, В.А. Серeda, С.А. Яшин // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2007. – № 6 (42). – С. 33-37.

3. Амброжевич М.В. Критериальные оценки энергетического совершенства двухступенчатых беспилотных летательных аппаратов / М.В. Амброжевич, А.С. Карташев, В.А. Серeda, С.А. Яшин // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2008. – № 3 (50). – С. 51-55.

4. Амброжевич М.В. Критериальные оценки транспортного совершенства летательных аппаратов с баллистическими и орбитальными траекториями полета / М.В. Амброжевич, А.С. Карташев, С.А. Яшин // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2006. – №4 (30). – С. 25-30.

5. Амброжевич М.В. Критериальные оценки энергетического совершенства атмосферных ракетных летательных аппаратов / М.В. Амброжевич, А.С. Карташев, С.А. Яшин // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2006. – № 5 (31). – С. 21-29.

6. Амброжевич М.В. Критериальные оценки транспортного и скоростного совершенства аэродинамических летательных аппаратов / М.В. Амброжевич, А.С. Карташев, С.А. Яшин // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2006. – № 6 (32). – С. 19-23.

7. Карташев А.С. Критериальный метод выбора тактико-технических характеристик и формирование облика малоразмерного летательного аппарата / А.С. Карташев // *Автомобильный транспорт*. Сб. науч. трудов. – 2007. – Вып. 21. – С. 82-86.

8. Василин Н.Я. Беспилотные летательные аппараты / Н.Я. Василин. – Мн.: ООО «Попурри», 2003. – 272 с.

9. Матусевич А.Н. Советские беспилотные самолеты-разведчики первого поколения. История. Конструкция. Вооружение. Боевое применение / А.Н. Матусевич. – М.: АСТ, Мн.: Харвест, 2002. – 48 с.

10. Сведения о БЛА [Электронный ресурс]. Designation-Systems.Net. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.designation-systems.net/dusrm/index.html>.

11. Сведения о БЛА [электронный ресурс]. China Defence and Security Database – Режим доступа: <http://www.sinodefence.com/airforce/uav.html>

12. Сведения о БЛА [Электронный ресурс]. Reliable Military News and Military Information. – Режим доступа к ресурсу: [www.globalsecurity.org/intell/systems/uav.htm](http://www.globalsecurity.org/intell/systems/uav.htm).

Поступила в редакцию 12.02.2009

**Рецензент:** д-р физ.-мат. наук, проф., проф. кафедры А.В. Бастеев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

## КРИТЕРІАЛЬНІ ОЦІНКИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ДОСКОНАЛОСТІ СИСТЕМ ВВОДУ В ПОЛІТ БЕСПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

*В.О. Серeda*

Запропоновано узагальнений підхід до формування обліку систем вводу в політ (СВП) беспілотних літальних апаратів (БЛА) на підставі теорії розмірностей і подібності. Сформульовано безрозмірний критерій, який дозволяє виявити превалюючий характер потенційної або кінетичної функції СВП на підставі обмеженого набору інтегральних характеристик, зокрема – тактико-технічних. Результати дослідження подані у тривимірному координатному просторі критеріальних оцінок у вигляді пузиркової діаграми. Наведені приклади вибору обліку СВП на підставі отриманих даних.

**Ключові слова:** системи вводу в політ, катапультний старт, піротехнічний старт, повітряний старт, беспілотний літальний апарат, транспортна система, методи розмірностей і подібності, енергетична досконалість.

## CRITERIAL ESTIMATIONS OF POWER PERFECTION OF TWO-STAGE UNMANNED AERIAL VEHICLE

*V.A. Sereda*

Generalization of the approach to formation of shape of systems of introduction in flight (SIF) of unmanned aerial vehicle (UAV) is offered on the basis of the theory of dimension and similarity. The dimensionless criterion is generated, allowing to reveal prevailing character of potential or kinetic function SIF on the basis of the limited set of integrated characteristics, in particular – performance characteristics. Results of research are submitted in three-dimensional coordinate space criterial estimations as bubble diagrams. Examples of a choice of shape SIF are resulted on the basis of the received data.

**Key words:** systems of introduction in flight, catapult start, pyrotechnic start, air start, unmanned aerial vehicle, transport system, method of dimension and similarity, energy perfection.

**Серeda Владислав Александрович** – аспирант кафедры ракетных двигателей факультета ракетно-космической техники Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: Sereda\_Vlad@ukr.net.