

УДК 629.735.33

И.С. АВИЛОВ¹, А.В. АМБРОЖЕВИЧ², В.А. СЕРЕДА²¹ ООО «Научно–промышленные системы», КБ «Взлет», Украина² Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

КРИТЕРИАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВА ПУСКОВЫХ УСТРОЙСТВ ЛЕГКИХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Приведена методика получения оценок энергетического совершенства наземных пусковых устройств на основании общих подходов теории размерности и подобия. Представлен анализ графических результатов исследования.

пусковое устройство, беспилотный летательный аппарат, допустимая перегрузка, эффективный коэффициент полезного действия, метод подобия и размерности, критерии подобия, энергетическое совершенство

Введение

Аппарат теории размерности и подобия [1 и др.] служит традиционной основой проектирования разнообразных объектов техники. В классе объектов с установившимися подходами к проектированию при наличии представительных выборок ассоциированных тактико-технических характеристик (ТТХ) весьма ограниченный набор критериев подобия, универсальных общепринятых и специальных, позволяет получить систематизированные оценки спонтанного по своей сути процесса эволюции видов [2 – 4]. Однако при наличии представительных статистических массивов на базе принципиальных представлений наподобие [2 – 4] могут быть системным образом скорректированы и более ранние стадии развития, что позволит избежать появления тупиковых путей эволюции. На уровне частных задач проектирования использование представлений [2 – 4] позволяет придать процессу разработки системный характер, включая стадию формирования облика, что обеспечивает радикальное повышение качества проектирования и снижение ресурсоемкости цикла НИОКР [4]. На примере беспилотных авиационных комплексов (БАК) легкого класса от-

слеживается общая на данный момент тенденция гипертрофированного развития электронных компонентов на фоне моральной деградации механических, что объясняется экономической нецелесообразностью применения в условиях миниатюризации традиционных методов проектирования, принятых в «большой» авиации. Таким образом, за «скобки» научно-технического прогресса осталась вынесенной собственно транспортная система, включающая в себя легкий беспилотный летательный аппарат (БЛА) и средства запуска. В отличие от «большой» авиации катапультный старт легких БЛА наиболее целесообразен, так как, помимо обеспечения высокой автономности и мобильности БАК, позволяет исключить из условий проектирования аэродинамический антагонизм между режимами взлета-посадки и скоростного полета на основном участке траектории, а также повысить дальность действия. Сложившееся на данный момент состояние развития катапультных пусковых устройств (ПУ) для легких БЛА характеризуется обширным многообразием технических решений [8-12], требующих соответствующей систематизации и сопоставительного анализа. Подобный анализ может быть осуществлен на базе ограниченного универсального набора крите-

риев подобия, характеризующих механические свойства транспортной системы.

Критерий энергетического совершенства ПУ

По аналогии с видовыми множествами летательных аппаратов [2 – 4] множество ПУ для легких БЛА может быть пронормировано с использованием коэффициента энергетического совершенства (КЭС), определяемого соотношением между энергетическими оценками полезной функции и соответствующими затратами:

$$K = \frac{E_K \eta_{\text{э}}}{E_{\text{П}}} = \frac{V^2 \eta_{\text{э}}}{2gL \cos \alpha}, \quad (1)$$

где E_K – начальная кинетическая энергия, сообщаемая аппарату; $E_{\text{П}}$ – исходная потенциальная энергия, потребляемая стартовой системой; $\eta_{\text{э}}$ – эффективный КПД ПУ, определяющийся произведением эффективных КПД звеньев ПУ (механических, тепловых, электромеханических) (табл. 1); V – скорость схода БЛА; g – ускорение свободного падения; L , α – длина и угол наклона направляющей ПУ.

Оценки вида (1) имеют универсальный характер, так как справедливы для любых видов ПУ вне зависимости от физической природы источника энергии, ступеней преобразования и устройства трансмиссии. Компактность конструкции ПУ и класс запускаемых БЛА характеризуются главным образом предельно допустимой стартовой перегрузкой (n) и передаточным отношением трансмиссии (λ). Таким образом, критериальные оценки выводятся в двухпараметрическом пространстве функций $K(n, \lambda)$ с нормой (1).

Сравнительный и структурный анализ различных типов пусковых устройств легких БЛА на основе КЭС

Возможности использования КЭС (1) продемонстрированы в классе ПУ легких БЛА со стартовой

массой 10...150 кг (рис. 1) (табл. 2) на основании известных ТТХ [8 – 12]. Значительный параметрический разброс, отображенный на графиках, свидетельствует о том, что рассматриваемые объекты являются продуктом спонтанных технических решений, не связанных канонами системного проектирования и принятых в условиях минимального вложения средств в исследовательский раздел НИОКР.

В связи с этим, в отличие от объектов техники с устоявшимися традициями проектирования [2 – 4], статистическая обработка заданной выборки ТТХ ПУ с использованием метода наименьших квадратов не обеспечивает отчетливой линейной типовой сепарации образцов. Тем не менее, различным типам ПУ можно поставить в соответствие отдельные энергетические зоны пространства $K(n, \lambda)$, ограниченные индивидуальными мажорантами и минорантами.

Основные выводы

1. Заданные начальная кинетическая энергия и стартовая перегрузка во многом определяют облик БЛА, что при наличии замыкающих проектных условий позволяет однозначно решить задачу надлежащего выбора типа ПУ на ранних стадиях проектирования БАК. Приведенные на рис. 1 оценки наглядно демонстрируют «зоны ответственности» конкретных типов ПУ, лежащие в ограниченных диапазонах перегрузок. Условиями однозначности могут быть, например, ограничения на использование пиротехнических средств, технологические возможности и пр.

2. Предложенный метод позволяет проверить соответствие действительности заявленных разработчиком характеристик ПУ.

3. Мажоранта, ограничивающая пространство функций $K(n, \lambda)$, может служить ориентиром при решении задач проектирования пусковых устройств новых типов.

Таблица 1

Эффективный КПД [5 – 7]

Тип ПУ		Название энергетического звена	КПД звена	Суммарный КПД
Механические	На энергии поднятого груза	1. Внешний привод	0,25	0,2
		2. Редуктор	0,95	
		3. Лебедка	0,97	
		4. Полиспастный механизм	0,87	
	На упругих и эластичных элементах	1. Внешний привод	0,25	0,23
		2. Редуктор	0,95	
		3. Механическая трансмиссия натяжения или сжатия	0,97	
	Инерционные	1. Внешний привод	0,25	0,211
		2. Привод маховика	0,97	
3. Полиспастный механизм		0,87		
Расширительные машины	Пневматические	1. ПДВС привода компрессора	0,25	0,129
		2. Компрессор	0,7	
		3. Пнеumoцилиндр	0,85	
		4. Механическая трансмиссия	0,87	
	Пнеumoгидравлические	1. ПДВС привода компрессора	0,25	0,123
		2. Компрессор	0,7	
		3. Пнеumoцилиндр	0,85	
		4. Гидроцилиндр	0,95	
		5. Механическая трансмиссия	0,87	
	Гидравлические	1. ПДВС привода гидронасоса	0,25	0,196
		2. Гидронасос	0,95	
		3. Гидроцилиндр	0,95	
		4. Механическая трансмиссия	0,87	
Реактивные тележки	1. Пороховой двигатель	0,002	0,002	

Таблица 2

Энергетические параметры катапультных ПУ [8–12]

Название БЛА	Тип применяемого катапультного ПУ		Масса БЛА, кг	Длина направляющей, м	Угол наклона направляющей, °	Скорость схода с направляющей, м/с	Стартовая перегрузка
Альбатрос	Механическая	Инерционная	22	7	10	22	3,5
Грант		На энергии поднятого груза	20	5,5	5	20	3,7
Ремез		На эластичных элементах	10	5	7	18	3,3
CL-18			14	4	5	18	4,1
Luna X-2000			30	4,3	12	17	3,4
Кулон-2	Пневматическая	30	2,2	9	18	7,5	
Silver Fox		12	2	12	18	8,2	
Типчак		50	6,5	12	26	5,3	
ScanEagle		18	4,2	36	23	6,4	
Avartek		26	5,5	26	25	5,8	
E95M		Пнеumoгидравлическая	70	9	16	36	7,3
Exdrone	Гидравлическая	45	7	11	33	7,9	
Banshee		70	11	8	33	5,1	
Phoenix		140	8	10	33	6,9	
Shadow		149	11	11	31	4,5	
Пчела-1		138	6	15	33	9,2	
Taifun	Реактивная тележка	150	3	30	32	17,4	
KZO		161	4,3	30	33	12,9	
Ababil		83	3	12	33	18,5	
DoDt-25		70	7,5	8	40	10,8	

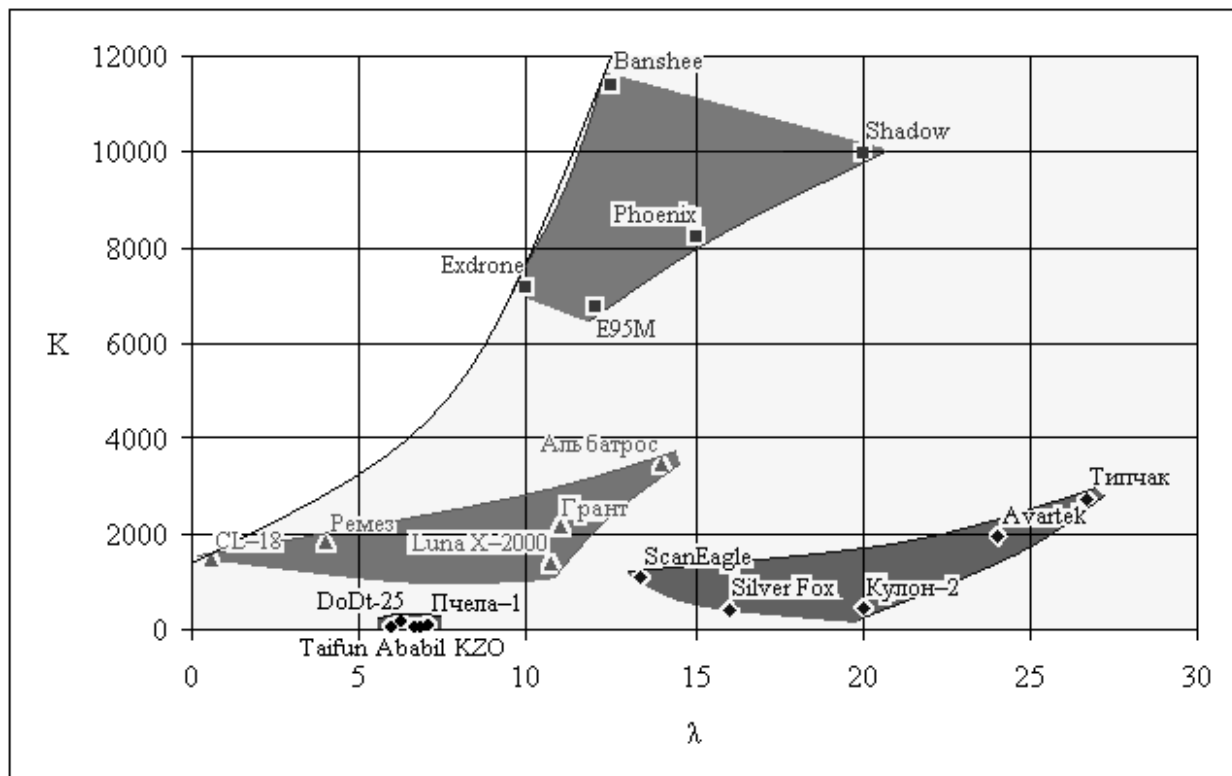
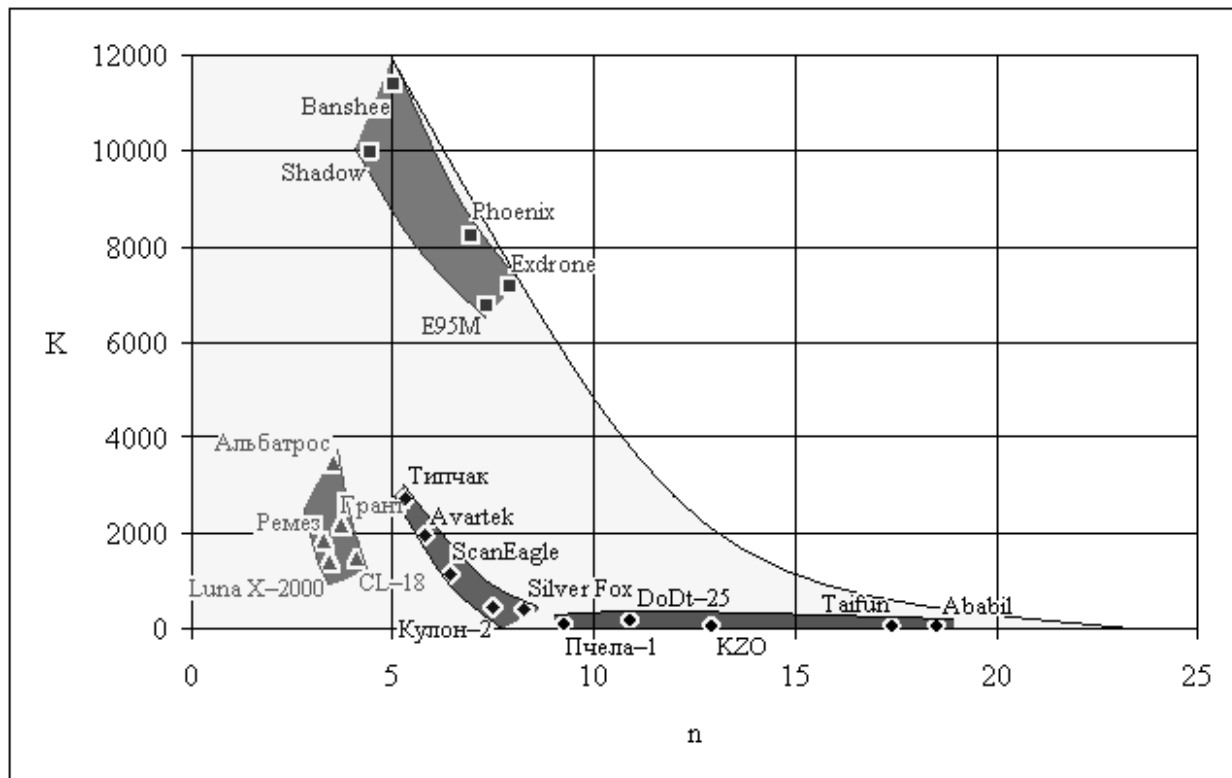


Рис. 1. Оценка энергетического совершенства ПУ различного типа

■ – гидравлические ПУ; ◆ – пневматические ПУ; ▲ – механические ПУ; ◆ – реактивные тележки

4. На основании КЭС могут быть получены априорные оценки в интересах разработки глубоко модернизированных либо принципиально новых типов ПУ.

5. Высокие значения КЭС не являются достаточным условием в задаче рационального выбора типа ПУ. Так, например, применение гидравлических ПУ, обладающих высокими КЭС и передаточными отношениями, тем не менее, может оказаться экономически нецелесообразным ввиду использования дорогостоящих прецизионных агрегатов и узлов.

6. Неожиданно высокий уровень совершенства проявляют инерционные ПУ. Сугубо механическим трансмиссиям в известных конструкциях свойственен относительно высокий эффективный КПД (табл. 1) и, как следствие, наибольший КЭС. Инерционные ПУ позволяют при этом запускать любые типы БЛА без особых проектных ограничений, так как свойственная им стартовая перегрузка находится в пределах 4...10 g.

7. Предложенный критерий явно указывает на ограничения при использовании ПУ с реактивными тележками. Невысокое энергетическое совершенство сочетается здесь с повышенными перегрузками, чем обуславливаются специальные требования к проектированию БЛА и тем самым сужается область применения ПУ данного типа.

Литература

1. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. – М.: Наука, 1977. – 440 с.

2. Амброжевич М.В., Карташев А.С., Яшин С.А. Критериальные оценки транспортного совершенства летательных аппаратов с баллистическими и орбитальными траекториями полета // Авиационно-косми-

ческая техника и технология. – 2006. – №4(30). – С. 25-30.

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

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

5. Трофимов А.П. Землеройные и подъемно-транспортные машины. Справочное пособие. – К.: Будівельник, 1978. – 326 с.

6. Добронравов С.С. Строительные машины. Справочник. – М.: Машиностроение, 1992. – 850 с.

7. Сведения о КПД различных гидромашин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://stroygidravlika.com.ua>.

8. Сведения о БЛА [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.uav.ru>.

9. Сведения о БЛА [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.airwar.ru>.

10. Сведения о БЛА [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dpla.ru>.

11. Сведения о ПУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.robonic.fi>.

12. Сведения о ПУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ruag.com>.

Поступила в редакцию 28.03.2007

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