

УДК 629.7.085

А.В. АМБРОЖЕВИЧ<sup>1</sup>, К.В. МИГАЛИН<sup>2</sup>, В.А. СЕРЕДА<sup>1</sup><sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*<sup>2</sup> *ООО НПФ «РОТОР», Россия*

## АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ИЗВЕСТНЫХ ОБРАЗЦОВ НАЗЕМНЫХ ПУСКОВЫХ УСТРОЙСТВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*С целью определения тенденций совершенствования современных наземных пусковых устройств (НПУ) приведен сравнительный анализ известных образцов по шкале абсолютных и безразмерных показателей. В виде трехмерных диаграмм представлены технические характеристики известных образцов наземных катапульт. Сформулирован набор динамических параметров катапульты, позволяющий судить об уровне совершенства организации рабочего процесса. Получены априорные оценки качества проектирования приводов НПУ и указаны резервы модернизации. Отмечены образцы НПУ, поддающиеся совершенствованию.*

**Ключевые слова:** *пусковое устройство, беспилотный летательный аппарат, априорные оценки, критериальный анализ.*

### Введение

Любая инженерная деятельность должна подразумевать гармонизацию основных элементов объекта проектирования. Исходя из этого общего правила, для достижения «достаточного» уровня совершенства беспилотного авиационного комплекса (БАК) безаэродромного базирования необходимо на должном уровне решить задачу проектирования наземного пускового устройства (НПУ), как критического звена, ответственного за фазу ввода в полет. Принятие решений на стадии формирования облика комплекса в целом и его элементов должно исходить из условия воспроизводства опыта, овеществленного в апробированных образцах техники, которые в определенном смысле допустимо рассматривать в качестве аналогов объекта проектирования. Детерминированный подход к принятию проектных решений, предложенный в [1, 2 и др.] основывается на универсальном аппарате теории подобия и размерности, что позволило распространить его на основные классы летающих транспортных систем (ТС). В настоящей статье представлен частный случай данного подхода применительно к задаче формирования облика НПУ беспилотного летательного аппарата (БЛА) [3, 4].

### Оценки совершенства известных образцов НПУ

Основанием для выбора способа ввода БЛА в полет и реализующего его устройства (т.е. - форми-

рования облика НПУ), должны быть априорные оценки совершенства существующих аналогов с позиций поставленной задачи проектирования. Набор априорных оценок, применяемых для данной цели, должен включать в себя размерные и безразмерные величины.

Необходимость размерных оценок продиктована тем обстоятельством, что масштабы в технике «упрямая» вещь, так как любое из известных устройств реализуется в определенных абсолютных параметрических диапазонах.

Использование критериальных комплексов (безразмерных величин) позволяет получить сравнительные оценки совершенства широкого множества аналогов, заданных массивом тактико-технических характеристик (ТТХ). Критерии подобия также задают количественные ориентиры в задачах оптимизации с условными ограничениями.

Из вышеприведенных предпосылок следует обоснование подхода к формированию облика НПУ, учитывая, что полезной функцией является необходимая скорость ввода в полет БЛА заданной взлетной массы, а остальные параметры – максимальная стартовая перегрузка и длина направляющей – представляют собой проектные ограничения.

### Абсолютные показатели целесообразной реализации НПУ

Масштабный фактор на предпроектной стадии разработки главным образом характеризуется следующим набором размерных величин: скорость

схода БЛА (ввода в полет)  $V_0$ , стартовая масса аппарата  $m_{\text{БЛА}}$ , длина направляющей (разгонного участка)  $L$ , стартовая перегрузка  $n_x$ . Накопленный в данной сфере опыт проектирования [5–7 и др.] (табл. 1) представлен в указанных координатах на рис. 1, где диаметры соответствующих сфер калиброваны по величине стартовой перегрузки.

Заметна четкая сепарация различных видов НПУ по группам, отражающим физический принцип создания тягового усилия привода (рис. 1).

Наиболее компактно на диаграммах представлена группа механических НПУ, что свидетельствует об их крайне узкой специализации, ориентированной на класс комплексов с БЛА авиамодельного облика. Механические катапульты не обладают потенциалом интенсификации в виду низкой энергетики механических приводов.

Несмотря на наличие в выборке всего двух образцов реактивных тележек представляется возможным сделать вывод об их общем уровне среди НПУ. Варьирование энергетики ракетных двигателей твердого топлива (РДТТ) возможно в широчайших пределах, но основным препятствием для их широкого внедрения является проблема малозаметного старта и лицензирования на предмет проведения пиротехнических работ.

Затратность использования гидравлических катапульт оправдывается высокими энергетическими показателями и исходной конструктивной возможностью обеспечения постоянной перегрузки [8].

В наиболее широком диапазоне ТТХ (рис. 1, 2) реализуются пневматические НПУ, что свидетельствует о высокой их универсальности. Тем не менее, в абсолютном в большинстве известных образцов данной группы (поз. 12-15) остается нерешенной проблема поддержания постоянства перегрузки, что влечет за собой ограничение по максимальному значению данного параметра по циклограмме за счет соответствующего увеличения длины направляющей (поз. 21-23).

### Критериальный анализ аналогов

С позиций теории размерности и подобия облик НПУ определяется условиями функционирования в составе ТС и представляется следующим набором общепринятых критериев подобия:

1) компактность конструкции характеризуется отношением длин БЛА и направляющей:

$$X = \frac{l_{\text{БЛА}}}{L}, \quad (1)$$

2) тип БЛА определяется главным образом предельно допустимой стартовой перегрузкой:

$$n_x = \frac{j}{g}, \quad (2)$$

3) скоростной класс БЛА оценивается числом Маха в фазе старта:

$$M_0 = \frac{V_0}{a}, \quad (3)$$

где  $l_{\text{БЛА}}$  - размер БЛА;  $L$  - длина направляющей;  $j$ ,  $g$  - ускорения: центра масс БЛА и свободного падения;  $V_0$ ,  $a$  - стартовая скорость БЛА и местная скорость звука соответственно.

Сопоставительный анализ различных типов НПУ формально сводится к установлению неравенственных соотношений в параметрическом пространстве « $n_x - M_0 - X$ ».

На рис. 2 представлены результаты применения критериальных оценок (1)-(3) в классе НПУ катапультного типа для БЛА со стартовой массой 10...350 кг (см. табл. 1).

Для всех классов катапульт наблюдается повышение компактности конструкции (критерий  $X$ ) за счет увеличения стартовой перегрузки  $n_x$ , что однозначно свидетельствует о переменном законе тягового усилия. Однако среди преобладающего множества ординарных образцов НПУ выделяются атипичные.

Использование потенциальной энергии поднятого груза позволяет механической катапulte для запуска БЛА «Грант» (поз. 6) демонстрировать уровень, соизмеримый с некоторыми гидравлическими НПУ. Постоянное значение ускорения свободного падения через систему полиспастов преобразуется в постоянное тяговое усилие привода, обеспечивая компактность конструкции при высокой скорости ввода в полет БЛА.

Использование вариатора копирного типа в катапulte для запуска БЛА «ScanEagle» позволяет выйти на уровень гидравлических НПУ. Вообще, передовой уровень некоторых пневматических НПУ объясняется значительным объемом ресивера (поз. 16, 18), в котором падение давления происходит в узком диапазоне, не выходящем за допустимые пределы депрессии.

Особо высокая мощность и компактность гидравлической катапульты «Phoenix» объясняется наличием предстартовой пневмокамеры, обеспечивающей постоянный закон перегрузки.

Несмотря на рекордно высокую стартовую перегрузку БЛА «Пчела-1» и «DoDt-25» (поз. 31 и 32), разработчикам реактивных тележек не удалось обеспечить достаточной компактности НПУ, что свидетельствует об отличном от нейтрального закона горения зарядов твердого топлива.

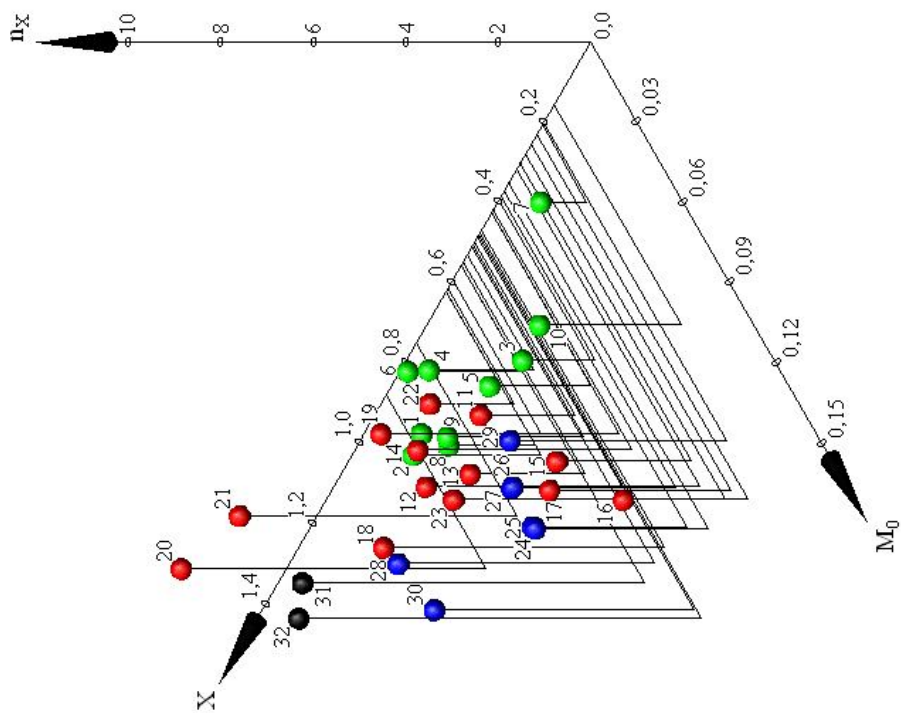


Рис. 2. Оценки совершенства НПУ в критериальном пространстве « $n_x$ - $M_0$  -  $X$ »

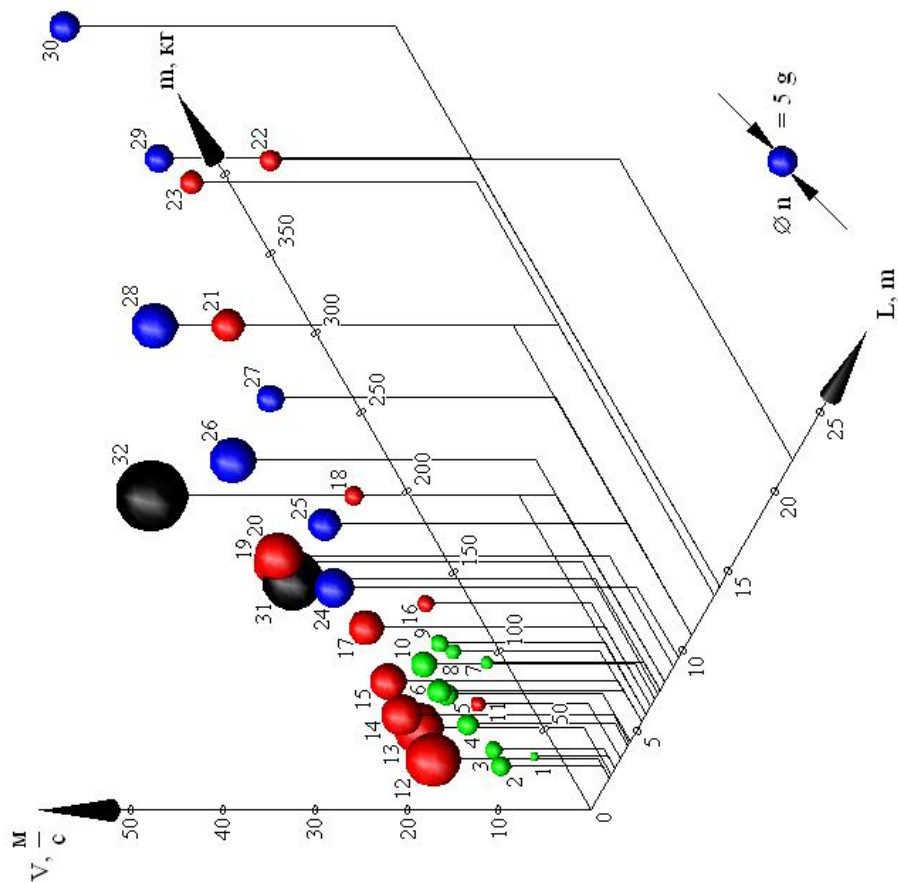


Рис. 1. Сепарация зон реализации различных типов НПУ в параметрическом пространстве « $V_0$  -  $m_{БЛА}$  -  $L$   $n_x$ »

Таблица 1

## Спецификация и ТТХ НПУ [5 – 7, 9]

№№	Название БЛА	Тип НПУ	Масса БЛА, кг	Длина направляющей, м	Скорость схода, м/с	Перегрузка, ед
1	Boomerang	механ.	8	2.6	8	1.26
2	Bat 3	механ.	8	2	11	3.09
3	Skylite B	механ.	12	2.6	12	2.83
4	CL-18	механ.	14	4	16	1.97
5	Luna X-2000	механ.	30	4.3	17	3.43
6	Грант	механ.	20	5.5	20	3.71
7	CL-28	механ.	18	7.5	17	1.97
8	Micro-V	механ.	45	5.5	16	2.54
9	Sparrow	механ.	45	6	18	2.76
10	Альбатрос	механ.	22	7	23	3.86
11	Skylark	пневмат.	35	3.2	12	2.30
12	Silver Fox	пневмат.	12	2	18	8.27
13	Кулон-2	пневмат.	30	2.2	18	7.51
14	ScanEagle	пневмат.	18	4.2	23	6.43
15	Avartek	пневмат.	26	5.5	25	5.80
16	I-View	пневмат.	65	6.5	18	2.54
17	Типчак	пневмат.	50	6.5	26	5.31
18	Scout	пневмат.	118	8	22	3.09
19	Ababil	пневмат.	83	7.3	33	7.61
20	E95M	пневмат.	70	9	36	7.35
21	Creccerelle	пневмат.	170	13.5	36	4.90
22	Pioneer	пневмат.	189	22	38	3.35
23	Sperwer	пневмат.	260	13.5	31	3.63
24	Exdrone	гидравл.	45	9.5	33	5.85
25	Banshee	гидравл.	70	11	33	5.05
26	Phoenix	гидравл.	140	8	33	6.95
27	Shadow	гидравл.	149	11	31	4.46
28	Hermes 180	гидравл.	195	11	39	7.05
29	Ranger	гидравл.	270	14	34	4.21
30	SkyEye	гидравл.	353	14	36	4.72
31	Пчела-1	реакт. тел.	138	6	33	9.26
32	DoDt-25	реакт. тел.	70	7.5	40	10.88

### Заключение

Сложившаяся зональная диспозиция групп НПУ свидетельствует о том, что в классе аппаратов тяжелее 180 кг со скоростями схода в районе 40 м/с и выше уверенно лидируют катапульты с пневмоприводом.

Недостатком пневматических катапульт с однокаскадным подводом рабочего тела являются высокие переменные стартовые перегрузки, для устранения которых требуется разработка специальных способов организации рабочего процесса.

Анализ диспозиции групп, очевидным образом приводит к заключению о целесообразности использования катапульты с пневмоприводом, сочетающих относительно высокий уровень скоростей схода с

благоприятными показателями компактности. «Отягощающим» обстоятельством здесь, впрочем, являются высокие стартовые перегрузки, свойственные пневмокатапультам с одноступенчатым рабочим процессом.

Представленный график абсолютных показателей полностью отражает ТТХ катапульты, в которые входит весь набор параметров, так как масса запускаемого аппарата и перегрузка дают возможность оценить тяговое усилие привода.

### Литература

1. Амброжевич, М.В. Критериальные оценки скоростного и транспортного совершенства авиационных средств поражения дистанционного при-

менения [Текст] / М.В. Амброжевич, А.С. Карташев, В.А. Серeda // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2010. – № 3 (70). – С. 45–50.

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

3. Серeda, В.А. Критериальные оценки энергетического совершенства систем ввода в полет беспилотных летательных аппаратов [Текст] / В.А. Серeda // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2008. – № 2 (59). – С. 49–52.

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

5. Мосов, С. Беспилотная разведывательная авиация стран мира: история создания, опыт бое-

вого применения, современное состояние, перспективы развития [Текст]: монография / С. Мосов. – К.: Изд. дом. «Румб», 2008. – 160 с.

6. Василин, Н.Я. Беспилотные летательные аппараты [Текст] / Н.Я. Василин. – Мн.: ООО «Попурри», 2003. – 272 с.

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

8. Серeda, В.А. Комплексно-сопряженная модель пневмогидравлического наземного пускового устройства беспилотного летательного аппарата [Текст] / В.А. Серeda // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*. – Вып. 50. – X., 2011. – С. 17–24.

9. Сведения о БЛА [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.uav.ru>. – 12.01.2011 г.

Поступила в редакцию 12.01.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., проф. кафедры теоретической механики В.Н. Доценко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

#### АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІДОМИХ ЗРАЗКІВ НАЗЕМНИХ ПУСКОВИХ ПРИСТРОЇВ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

*О.В. Амброжевич, К.В. Мигалин, В.О. Серeda*

З метою визначення тенденцій вдосконалення сучасних наземних пускових пристроїв (НПП) наведено порівняльний аналіз відомих зразків за шкалою абсолютних та безрозмірних показників. У вигляді тривимірних діаграм подано технічні характеристики відомих зразків наземних катапульт. Зроблено апріорні висновки про роботу приводів НПП та висловлено припущення з їх модернізації. Сформульовано набір динамічних параметрів катапульти, котра дозволяє судити про рівень досконалості організації робочого процесу. На підставі цього набору відокремлено зразки НПП, що належать вдосконаленню.

**Ключові слова:** пусковий пристрій, безпілотний літальний апарат, апріорні оцінки, критеріальний аналіз.

#### THE ANALYSIS OF FUNCTIONAL STATES OF KNOWN SAMPLES OF PILOTLESS VEHICLE GROUND STARTING DEVICE

*O.V. Ambrozhevich, K.V. Migalin, V.O. Sereda*

For the purpose of definition of tendencies of perfection of modern ground starting device (GSD) the comparative analysis of known samples on a scale of absolute and dimensionless indicators is resulted. In the form of three-dimensional diagrams technical characteristics of known samples of land catapults are presented. Aprioristic conclusions are drawn on work of drives GLD and assumptions on their modernization are come out. The set of dynamic parameters of a catapult which allows to judge level of perfection of the organization of working process is formulated. On the basis of this set samples GLD which is giving in to perfection are allocated.

**Key words:** launching device, pilotless vehicle, a priori evaluation, criterial analysis.

**Амброжевич Александр Владимирович** – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры ракетных двигателей и энергетических установок летательных аппаратов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

**Мигалин Константин Валентинович** – канд. техн. наук, ООО НПФ «РОТОР», директор, Россия, Тольятти, e-mail: MigalinK@mail.ru.

**Серeda Владислав Александрович** – канд. техн. наук, асс. кафедры ракетных двигателей и энергетических установок летательных аппаратов факультета ракетно-космической техники Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: sereda\_vlad@ukr.net.