

УДК 629.7.085

В.А. СЕРЕДА

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯГОВОГО УСИЛИЯ НАЗЕМНЫХ ПУСКОВЫХ УСТРОЙСТВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

На основе предложенных комплексно-сопряженных газотермодинамических и механических моделей наземных пусковых устройств (НПУ) беспилотных летательных аппаратов (БЛА) получены законы распределения тягового усилия. Согласно характеру изменения различные законы сведены к трем типам. Основные результаты исследования представлены в виде графического материала. Изложены особенности условий старта БЛА при различных законах тяги привода НПУ, а также их достоинства и недостатки. Сделан вывод о целесообразности применения компенсирующих устройств (копиров) для приводов с регрессивным законом.

Ключевые слова: *пусковое устройство, беспилотный летательный аппарат, закон распределения тягового усилия.*

Введение

Динамика разгона беспилотного летательного аппарата (БЛА) на стартовом участке зависит от принципа создания тягового усилия, а также частных свойств пускового устройства (ПУ) и определяется соответствующим законом. Фаза ввода в полет критична для всех без исключения летательных аппаратов (ЛА) и, вследствие этого, установление законов создания тягового усилия тех или иных типов ПУ является необходимым информационным условием, обеспечивающим процесс проектирования комплексов с БЛА. В известных открытых библиографических источниках [1 – 4 и др.] указанная проблематика не получила системного освещения. Лишь некоторые сведения о динамике могут быть извлечены косвенным путем из публикуемых материалов, касающихся принципа действия ПУ, и интегральных характеристик общего вида. В предлагаемой статье представлен опыт систематизации известных типов наземных ПУ (НПУ) в соответствии с законом создания тягового усилия на основе анализа результатов натурных и численных исследований. Из существующего многообразия современных типов НПУ в качестве предмета рассмотрения выделен катапультный старт, как наиболее распространенный и целесообразный в условиях наземного запуска легких БЛА.

Классификация законов

Несмотря на наличие сходных конструктивных элементов катапульт: направляющей, стартовой те-

лежки, трансмиссии и собственно привода, каждому типу соответствует индивидуальный закон тягового усилия:

$$F = F\{m_{\text{БЛА}}, w, n_{\text{X}}, L, \theta, M, E\}, \quad (1)$$

где $m_{\text{БЛА}}$ – масса запускаемого БЛА; L – длина направляющей; θ – угол пуска; n_{X} – предельно допустимая стартовая перегрузка; w – стартовая скорость; M – массогабаритные параметры привода; E – энергетические параметры привода.

Варьируемыми параметрами в зависимости от конкретного типа катапульты могут выступать следующие характеристики.

$$M = \left\{ \begin{array}{l} S \\ m_{\text{max}} \\ m_{\text{гр}} \\ \dots \end{array} \right\}; \quad E = \left\{ \begin{array}{l} p \\ n \\ k \\ \dots \end{array} \right\}, \quad (2)$$

где S – площадь поршня расширительной машины; m_{max} – масса маховика; $m_{\text{гр}}$ – масса падающего груза; p – рабочее давление; n – частота вращения маховика; k – коэффициент упругости эластичных элементов.

Независимо от типа НПУ масса БЛА $m_{\text{БЛА}}$ в фазе старта остается неизменной. Стартовая перегрузка n_{X} зависит от типа ЛА и ограничена предельно допустимым значением. Достижение необходимой (заданной) скорости схода БЛА w является конечной целью проектирования НПУ. Таким образом, фиксированными параметрами катапульты следует считать $m_{\text{БЛА}}, w, n_{\text{X}} = \text{idem}$.

Варьирование длиной направляющей L позволяет добиться необходимой стартовой скорости БЛА. Изменение угла наклона направляющей к горизонту θ дает возможность исключить просадку БЛА после схода с направляющей. Определение массогабаритных (M) и энергетических (E) параметров катапульта, обеспечивающих необходимые стартовые характеристики, является конечной целью проектирования. Следовательно, к варьируемым показателям следует отнести L , $\theta = \text{var}$ и M , $T = \text{var}$. В дальнейшем изложении указываются специфические фиксированные и варьируемые параметры конкретных типов НПУ. Результаты исследований, представленные на рис. 1–4, получены на основе опережающего численного эксперимента и натурных испытаний катапульта. Численный эксперимент проводился на основе комплексно-сопряженных моделей различных типов

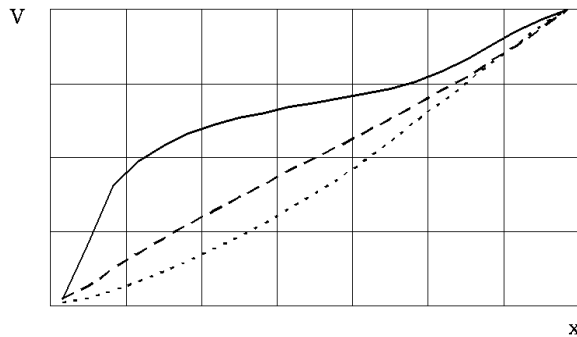


Рис. 1. Динамика разгона БЛА при различных законах тягового усилия: — — регрессивный; — — — — постоянный; ····· — депрессивный

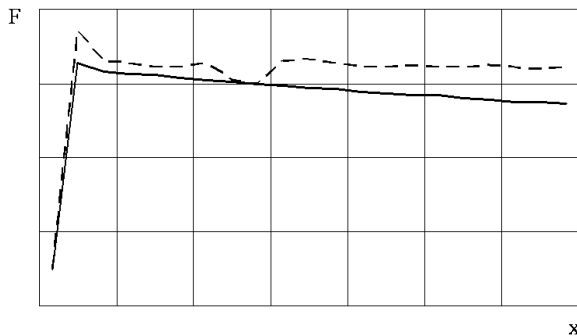


Рис. 3. Постоянный закон тягового усилия. Типы НПУ: — — — — инерционная; — — — — вакуумная

Далее приведен анализ характеристик старта БЛА с помощью катапульта, реализующих ту или иную разновидность закона тягового усилия.

В связи с тем, что пороховые НПУ (реактивные тележки, газодинамические системы старта и пороховые аккумуляторы давления) занимают особое место и исключены из рассмотрения, так как варьирование геометрии шашки и площадью поверхности горения заряда твердого топлива позволяет реализовать любую разновидность закона изменения тягового усилия.

НПУ катапультного типа, включающих в себя нестационарную газотермодинамическую подмодели тепловой расширительной машины и механической трансмиссии [5 – 6]. Опережающие численные исследования на основе предложенных моделей, в совокупности с натурными испытаниями на экспериментально-производственной базе ООО НПС КБ «Взлет», позволили выделить три основных разновидности закона изменения тягового усилия: 1) регрессивный; 2) постоянный; 3) депрессивный.

К числу доминирующих факторов также относится закон изменения действующей на БЛА продольной перегрузки, которая не только определяет класс запускаемого ЛА, но и динамику старта (рис. 1), что в конечном итоге определяет скорость схода аппарата с направляющей. В связи с этим в рассмотрении включена продольная перегрузка n_x .

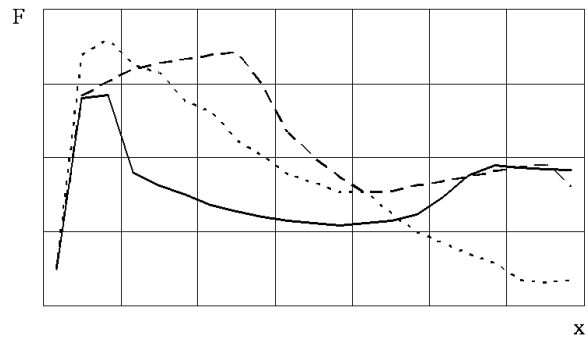


Рис. 2. Регрессивный закон тягового усилия. Типы НПУ: — — — — пневматическая; — — — — пороховая; ····· — резиновая

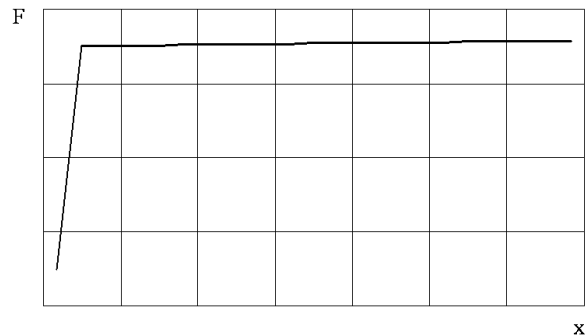


Рис. 4. Депрессивный закон тягового усилия НПУ на основе противомассы

Регрессивный закон

Регрессивный закон распределения тягового усилия (БЛА Sperwer, Luna X–2000, Ranger) присущ преобладающему большинству наземных катапульта. Зачастую к ним относятся НПУ с промежуточным рабочим телом: пневматические, гидравлические, паровые и т.д. [7], а также катапульти на упругих элементах – резиновые. Подобный закон в расширительных машинах объясняется увеличением рабочего объема при постоянном давлении (рис. 2). Этот

тип катапульта является наиболее востребованным ввиду высокой мощности и как следствие позволяет запускать БЛА в широком диапазоне масс. Основным положительным моментом заброса стартовой перегрузки в начальный момент страгивания является уверенное преодоление трения покоя и реализация энергичного старта.

Рассматриваемые катапультные приводы имеют следующие недостатки. Весь последующий полет большинства БЛА проходит со значительно сниженными перегрузками, поэтому начальный заброс характеристик невыгоден по причине необходимости обеспечения однократной защиты БРЭО в фазе старта, что приводит к удорожанию БЛА в целом. Кроме того, регрессивный закон неэффективен вследствие нецелесообразного использования всей длины направляющей. Зачастую разгон на 2/3 длины осуществляется по инерции (рис. 1).

Основной целью проектирования привода катапульта на базе тепловых расширительных машин является определение площади поршня S и давления в цилиндре p (т.е. $S, p = \text{var}$).

Постоянный закон

К катапультам, обеспечивающим постоянное тяговое усилие, условно можно отнести лишь инерционную и вакуумную [7] (БЛА Альбатрос, Vulture), т.е. рассматриваемый закон осуществим только для некоторых типов НПУ.

Во-первых, для инерционного НПУ незначительное падение тягового усилия привода возможно лишь при значительном наращивании массы маховика (по отношению к запускаемому БЛА), при этом его частота вращения должна быть достаточно высокой. Во-вторых, в вакуумной катапulte постоянное тяговое усилие реализуется вследствие постоянства давления атмосферы, выступающей в данном случае в качестве рабочего тела.

Постоянный закон в вакуумном приводе возможен при незначительном возрастании противодавления в камере, что достигается применением мощных вакуумных насосов и спаренных вакуумных камер большого объема. Рассматриваемый закон распределения тягового усилия гораздо выгоднее предыдущего по причине эффективного использования всей длины направляющей (рис. 3).

Описываемые НПУ занимают промежуточное место по мощности, так как атмосферное давление имеет фиксированное значение, а минимальное значение давления в камере лимитируется предельными возможностями вакуумного насоса. Для инерционного НПУ предельная мощность определяется прочностными ограничениями гибкой трансмиссии.

Как и в предыдущем случае, катапультам с постоянным законом тягового усилия также свойствен

незначительный заброс характеристик в начальный момент времени, что исключает возможность «вялого» старта. В отличие от других типов катапульта, системы с подобным законом обеспечивают линейный закон увеличения скорости БЛА (рис. 1).

Существенное воздействие на стартовые характеристики инерционных НПУ оказывает варьирование частоты вращения n и массы маховика m_{max} . Следовательно, в данном случае $m_{\text{max}}, n = \text{var}$.

Дегрессивный закон

Одним из немногих типов наземных систем старта, приближенно обеспечивающих дегрессивный закон распределения тягового усилия, является катапульта, основанная на падении противомассы в поле гравитационных сил [8] (БЛА Грант). Среди механических НПУ гравикатапульта является наиболее маломощной и громоздкой, т.к. перегрузка, действующая на БЛА, кратна массе груза. Для нее наибольшее значение перегрузки наблюдается в момент схода БЛА с направляющей (рис. 4). Особенностью рассматриваемой катапульта является обеспечение равноускоренного движения БЛА по направляющей, и как следствие, возможность придания необходимой начальной скорости на меньшей длине направляющей (рис. 1). В связи с вышесказанным подобные НПУ требуют применения гибкой трансмиссии – полиспастных механизмов с передаточным отношением четыре и более.

В случае гравикатапульта, значительное влияние на стартовые характеристики будет оказывать изменение массы и высоты падения груза $m_{\text{пр}}, h = \text{var}$.

Заключение

Результаты проведенных исследований обеспечивают возможность детерминированного принятия проектного решения по выбору того или иного типа наземных систем старта, ориентируясь в особенностях динамики разгона БЛА.

Предложенная классификация катапульта согласно разновидностям закона тягового усилия дает возможность принимать адекватные меры по модернизации в зависимости от необходимости обеспечения необходимого закона тяги. Для этой цели возможно, например, применение копиров [9] – специальных устройств, обеспечивающих движение стартовой тележки по заданному закону.

Основным достоинством копира, как вариатора, является возможность бесступенчатой передачи тягового усилия за счет создания непрерывной рабочей поверхности. Одним из немногих примеров успешного использования копиров является пневматическая катапульта БЛА Scan Eagle Boeing [9].

Катапультирование постоянного и дегрессивной разновидности закона тягового усилия могут эффективно применяться для ввода в полет БЛА небольшой массы с низкой удельной нагрузкой на крыло без внесения изменений в конструкцию.

Катапультирование, реализующие регрессивную разновидность закона тягового усилия, предназначены для запуска тяжелых БЛА с высокой удельной нагрузкой на крыло. Данный тип наземных катапультирования обладает наибольшим проектным потенциалом, так как высокая мощность приводов может эффективно сочетаться с вариаторами, выполненными, например, в виде тех же копиров, что обеспечивает постоянную или регрессивную разновидность закона тягового усилия.

Литература

1. Мосов С. *Беспилотная разведывательная авиация стран мира: история создания, опыт боевого применения, современное состояние, перспективы развития: монография* / С. Мосов. – К.: Изд. дом. «Румб», 2008. – 160 с.
2. Василин Н.Я. *Беспилотные летательные аппараты* / Н.Я. Василин. – Мн: Попурри, 2003. – 272 с.
3. Матусевич А.Н. *Советские беспилотные самолеты-разведчики первого поколения* / А.Н. Матусевич. – М: АСТ, Мн: Харвест, 2002. – 48 с.
4. *Сведения о БЛА [Электронный ресурс]*. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.uav.ru>.
5. Авилов И.С. *Комплексно-сопряженная модель инерционного стартового устройства легкого беспилотного летательного аппарата* / И.С. Авилов, А.В. Амброжевич, В.А. Серeda // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2008. – № 2 (49). – С. 5-8.
6. Амброжевич А.В. *Комплексная траекторная модель летательного аппарата* / А.В. Амброжевич, В.А. Серeda // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2008. – № 5 (52). – С. 40-44.
7. Серeda В.О. *Метод формування вигляду наземних пускових пристроїв безпілотних літальних апаратів: дис... канд. техн. наук: 05.07.06; захищено 23.10.09; затв. 10.02.10* / Серeda Владислав Олександрович. – Х., 2009. – 176 с.
8. *Сведения о НПУ [Электронный ресурс]*. – Режим доступа к ресурсу: [ttp://dpla.ru/grantpromo/index.htm](http://dpla.ru/grantpromo/index.htm).
9. *Сведения о НПУ [Электронный ресурс]*. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.boeing.com>.

Поступила в редакцию 19.05.2010

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

КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛЕННЯ ТЯГОВОГО ЗУСИЛЛЯ НАЗЕМНИХ ПУСКОВИХ ПРИСТРОЇВ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

В.О. Серeda

На основі запропонованих комплексно–спряжених газотермодинамічних й механічних моделей наземних пускових пристроїв (НПП) безпілотних літальних апаратів (БЛА) отримані закони розподілення тягового зусилля. Згідно характеру змінення різноманітні закони зведено до трьох типів. Основні результати дослідження подано у вигляді графічного матеріалу. Викладено особливості умов старту БЛА при різних законах тяги приводу НПП, а також їх переваги та недоліки. Зроблено висновок про доцільність застосування компенсуючи пристроїв (копірів) для приводів з регрессивним законом.

Ключові слова: пусковий пристрій, безпілотний літальний апарат, закон розподілення тягового зусилля.

CLASSIFICATION OF LAWS OF DISTRIBUTION OF TRACTION EFFORT OF GROUND LAUNCHING DEVICE OF UNMANNED AERIAL VEHICLE

V.O. Sereda

On the basis of offered in a complex–connected gas thermodynamic and mechanical models of ground launching device (GLD) of unmanned aerial vehicle (UAV) laws of distribution of traction effort are received. According to character of change various laws are shown to three types. The basic results of research are submitted as a graphic material. Features of conditions of start UAV are stated at various laws of draft of drive GLD, and also their merits and demerits. The conclusion about expediency of application of compensating devices (templet) for drives with the regressive law is made.

Key words: launching device, unmanned aerial vehicle, the law of distribution of traction effort.

Серeda Владислав Александрович – канд. техн. наук, вед. инженер кафедры ракетных двигателей факультета ракетно-космической техники Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: sereda_vlad@ukr.net.