

УДК 629.7.085

В.Ф. Греков, А.Б. Куренко, А.А. Пьянков, Ю.А. Ткаченко

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## НАЗЕМНОЕ ПУСКОВОЕ УСТРОЙСТВО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ИНЕРЦИОННЫМ ПРИВОДОМ

Приведен подход к выбору конструкции и теоретическому определению параметров катапульты с инерционным приводом. При использовании инерционного привода движение каретки осуществляется при максимальной перегрузке на всем пути разгона, что обеспечивает ее равноускоренное перемещение и достижение в конце пути по направляющей максимальной скорости взлета БПЛА при ограничениях на продольные перегрузки.

**Ключевые слова:** инерционный привод катапульты, беспилотный летательный аппарат, допустимая перегрузка, конструктивно-компоновочная схема.

### Введение

Для запуска летательных аппаратов применяются катапульты с приводами конструктивно-компоновочные схемы, которых содержат различные источники энергии, среди которых присутствуют, одноступенчатые пневмоцилиндры с обратными полиспадами или ножничными механизмами, многоступенчатые пневматические цилиндры, а также приводы с инерционными накопителями энергии.

Статья содержит некоторые результаты исследований пусковых устройств беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), состав и устройство, которых определяется применением инерционного привода.

Анализ литературы [1 – 4] показывает, что решение задач в данной постановке отсутствует.

#### Целью статьи является:

– поиск конструкции инерционного привода с постоянным тянущим усилием каретки, что обеспечит ее равноускоренное перемещение и достижение в конце пути по направляющей максимальную скорость взлета БПЛА при ограничениях на продольные перегрузки;

– создание математического аппарата, позволяющего оценивать параметры катапульты с инерционным приводом, обеспечивающей необходимую скорость взлета БПЛА при допустимых продольных перегрузках.

### Основная часть

В приводе катапульты с инерционным накопителем энергии к раскрученному маховику через фрикционную передачу подсоединяется барабан, на который наматывается канат перемещающий БЛА. Или к раскрученному маховику через фрикционную муфту подсоединяется замкнутая канатная (ременная, клиноремennая) транспортная система, обеспечивающая перемещение каретки с БЛА.

Одной из основных проблем является сложность обеспечения постоянного момента на проскальзывающей фрикционной муфте.

Схема инерционного привода катапульты с замкнутой канатной транспортной системой приведена на рис. 1. Каретка 2 может перемещаться по направляющей 1 с помощью троса 8. Трос перемещается за счет взаимодействия с канатоведущим шкивом 9. Натяжение троса осуществляется блоком 5 штока пневмоцилиндра 4. Сила натяжения регулируется давлением сжатого воздуха, который подается из ресивера 7 в пневмоцилиндр 4 через газовый редуктор 6. Применение пневмоцилиндра эквивалентно использованию пружины с нулевой жесткостью.

При вращении шкива 9 по часовой стрелке усилие набегающей на шкив ветви каната зависит от натяжения сбегающей ветви и угла охвата шкива канатом.

Для создания необходимой силы, приводящей каретку в движение необходимо обеспечить вращение шкива с проскальзыванием на нем каната.

Источником энергии служит раскрученный маховик 10. При включении фрикционной муфты 11 рычагом 13 канатоведущий шкив начинает вращаться со скоростью маховика. За счет проскальзывания каната на шкиве создается тянущее каретку усилие, под действием которого каретка перемещается. При постоянном тянущем усилии каретка перемещается равноускоренно, и в конце пути по направляющей будет иметь максимальную скорость.

Постоянное тяговое усилие обеспечивается постоянным усилием натяжения и условием проскальзывания шкива относительно каната (линейная скорость шкива всегда больше скорости каната).

**Расчет инерционного привода.** Присоединение к вращающемуся маховику с угловой скоростью  $\omega_{\max}$  и моментом инерции  $I_0$  неподвижного привода с моментом инерции  $I_p$  увеличивает момент инерции вращающейся системы до  $I_0 + I_p$  и снижает скорость вращения до  $\omega_0$ .

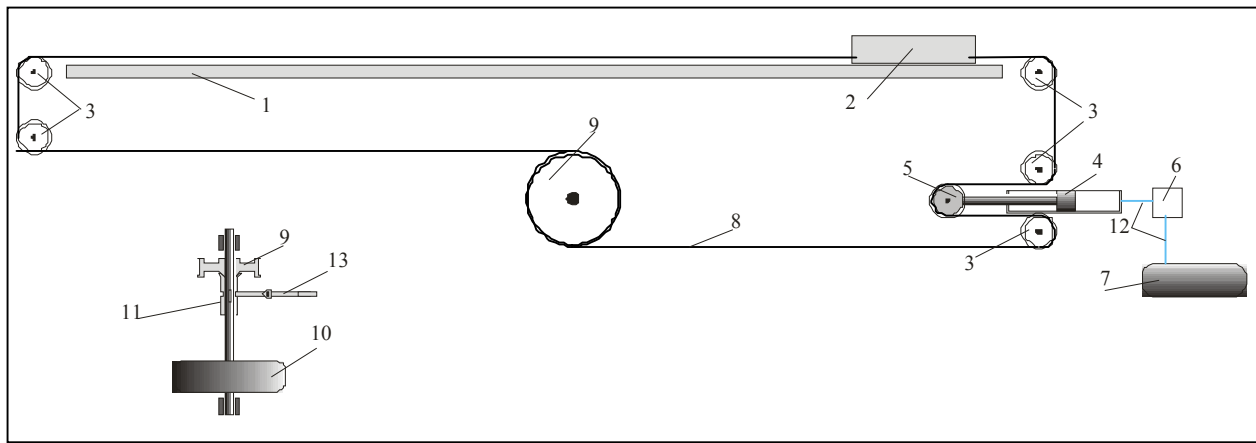


Рис. 1. Кинематическая схема инерционной катапульты:

- 1 – направляющая; 2 – каретка; 3 – направляющие блоки; 4 – натяжной пневмоцилиндр (пружина);  
 5 – натяжной блок; 6 – газовый редуктор; 7 – ресивер; 8 – трос; 9 – канатоведущий шкив;  
 10 – маховик; 11 – фрикционная муфта; 13 – рычаг включения муфты

Баланс моментов инерции и угловых скоростей вращающегося маховика и присоединенного к нему привода имеет вид

$$I_0 \cdot \frac{\omega_{\max}^2}{2} = I_p \frac{\omega_0^2}{2} + I_0 \frac{\omega_0^2}{2}, \quad (1)$$

откуда угловая скорость маховика с присоединенным приводом

$$\omega_0 = \left( \frac{I_0}{I_0 + I_p} \right)^{0.5} \cdot \omega_{\max}. \quad (2)$$

**Определение параметров катапульты.** В соответствии с теоремой об изменении количества движения

$$m \cdot V_{\max} = R \cdot \Delta t, \quad (3)$$

где  $m$  – масса каретки с БЛА,  $V_{\max}$  – максимальная скорость в конце разгона;  $R$  – сила, действующая на массу при разгоне.

Изменение момента количества движения маховика с присоединенным приводом

$$(I_p + I_0) \cdot (\omega_0 - \omega_{\min}) = M \cdot \Delta t, \quad (4)$$

где  $M$  – момент на канатоведущем шкиве,  $\Delta t$  – интервал времени.

Разделив выражение (4) на (3), получим

$$\frac{(I_p + I_0) \cdot (\omega_0 - \omega_{\min})}{m \cdot V_{\max}} = \frac{M}{R}. \quad (5)$$

Учитывая, что  $M = Rr$ , получим,

$$\frac{(I_p + I_0) \cdot (\omega_0 - \omega_{\min})}{m \cdot V_{\max}} = r, \quad (6)$$

где  $M = Rr$ ;  $r$  – радиус канатоведущего шкива,  $m$ ;  $\Delta t$  – интервал времени.

Введем коэффициент момента инерции привода  $k_p = (I_p + I_0)/I_0$ . Обозначив изменение угловой скорости маховика с приводом  $\Delta\omega = \omega_0 - \omega_{\min}$  при разгоне каретки, получим

$$\Delta\omega = \frac{m \cdot r}{k_p \cdot I_0} V_{\max}. \quad (7)$$

Введем параметр  $z$ , связывающий массу каретки с БЛА и момент инерции маховика

$$z = m / (k_p \cdot I_0). \quad (8)$$

Тогда выражение (7) примет вид

$$\Delta\omega(z) = z \cdot r \cdot V_{\max}, \quad (9)$$

Введем коэффициент  $k$  увеличения минимальной скорости маховика с учетом проскальзывания, обеспечивающей достижение кареткой максимальной скорости. Тогда значение минимальной скорости маховика при окончании разгона каретки будет

$$\omega_{\min} = k \cdot \frac{V_{\max}}{r}. \quad (10)$$

Учитывая, что  $\omega_0 = \Delta\omega + \omega_{\min}$  и, принимая во внимание выражение (2), получим необходимую максимальную скорость вращения маховика.

$$\omega_{\max} = \frac{\omega_0}{(1/k_p)^{0.5}} = \omega_0 \cdot (k_p)^{0.5}. \quad (11)$$

**Канатоведущий шкив.** Потребная сила  $R$  на канатоведущем шкиве определяется из условия допустимой перегрузки, действующей на каретку с летательным аппаратом (ЛА)

$$R = m \cdot g \cdot n_{\max}, \quad (12)$$

где  $m$  – масса каретки с БЛА,  $n_{\max}$  – максимальная перегрузка, действующая на каретку с БЛА,  $g$  – ускорение свободного падения.

Потребную силу  $R$  на шкиве можно определить исходя из закона Эйлера

$$R = R_1 \cdot e^{\phi \cdot f}, \quad (13)$$

где  $R_1$  – натяжение каната сбегающего со шкива;  $\phi$  – угол охвата канатом шкива;  $f$  – коэффициент трения каната о шкив.

Необходимый угол охвата канатом шкива мо-

жет быть найден из выражения (13).

$$\varphi = \ln(R/R_1)/f. \quad (14)$$

Используя предложенный подход, рассчитаем параметры катапульты с инерционным приводом при следующих исходных данных:

- максимальная скорость каретки с ЛА  $V_{\max}=20$  м/с;
- масса каретки и ЛА  $m=60$  кг;
- заданная максимальная допустимая перегрузка  $n_{\max}=5$ ;
- ускорение свободного падения,  $9.81$  м/с<sup>2</sup>;
- коэффициент увеличения момента инерции маховика за счет присоединенных деталей  $k_p=1.1$ ;
- радиус канатоведущего шкива,  $r=0.1$  м;

Потребная сила на канатоведущем шкиве

$$R = m \cdot g \cdot n_{\max} = 2943, \text{Н}. \quad (15)$$

Ускорение каретки с ЛА

$$a = g \cdot n_{\max} = 49.05, \text{м/с}^2. \quad (16)$$

Длина направляющей при равномерно ускоренном движении

$$S = \frac{V_{\max}^2}{2 \cdot a} = 4.077, \text{м}. \quad (17)$$

Изменение диапазона угловой скорости  $\Delta\omega(z)$  маховика в зависимости от параметра  $z$  приведено на рис. 2.

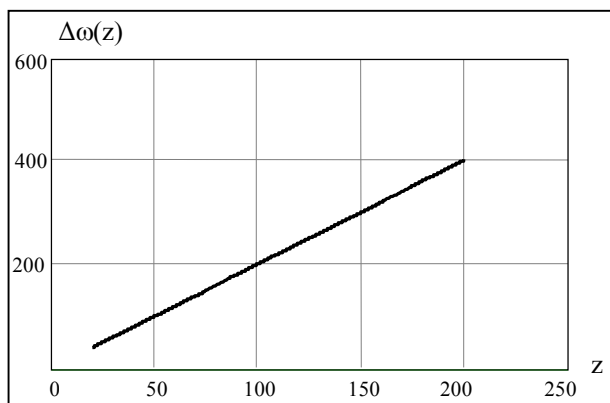


Рис. 2. Изменение диапазона угловой скорости  $\Delta\omega(z)$  маховика в зависимости от параметра  $z$

Минимальная скорость маховика в конце разгона каретки

$$\omega_{\min} = \frac{k \cdot V_{\max}}{r} = 220,1/\text{с}. \quad (18)$$

Угловая скорость маховика с присоединенным приводом

$$\omega_0(z) = \Delta\omega(z) + \omega_{\min} \quad (19)$$

Максимальная скорость маховика в начале разгона каретки

$$\omega_{\max}(z) = \omega_0(z) \cdot k_p^{0.5} \quad (20)$$

Потребные значения угловых скоростей маховика для обеспечения заданной скорости каретки от

параметра  $z$  приведены на рис. 3.

Оценим параметры привода при  $z = z_1 = 200$ . Натяжение каната сбегającego со шкива  $R_1 = 150$  Н. Натяжение каната набегающего на шкив  $R = 2943$  Н.

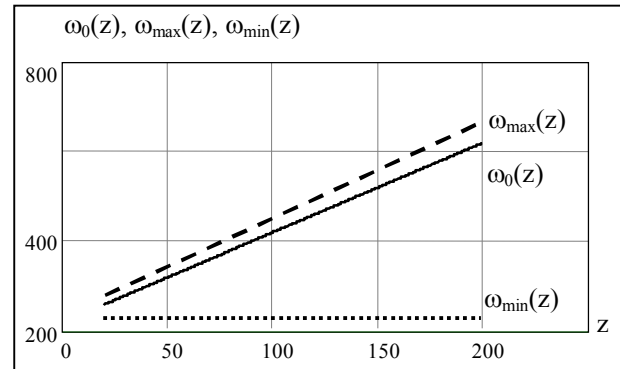


Рис. 3. Потребные значения угловых скоростей маховика для обеспечения заданной скорости каретки от параметра  $z$

Коэффициент трения канат-шкив  $f = 0.15$ . Угол охвата шкива канатом, вычисленный по формуле (14) составляет 19,844 рад или 3,158 оборота каната на шкиве. Потребный момент инерции маховика

$$I_0 = \frac{m}{k_d \cdot z_1} = 0.273, \text{кг} \cdot \text{м}^2. \quad (21)$$

Скорость  $V_k(x)$  каретки с БЛА по мере ее продвижения по катапульте может быть получена из (17)

$$V_k(x) = (2 \cdot a \cdot x)^{0.5}. \quad (22)$$

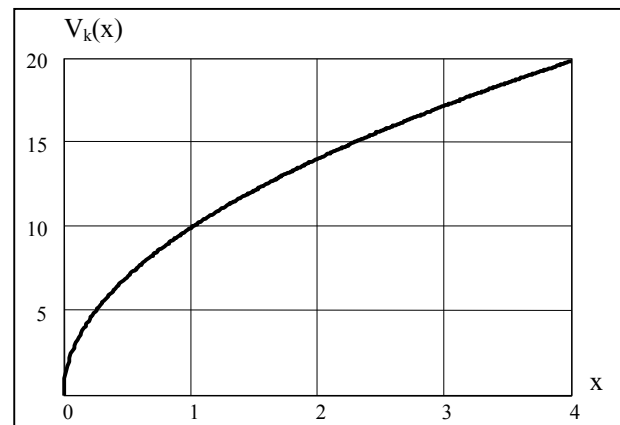


Рис. 4. Изменение скорости каретки от пути  $x$  по направляющей

## Выводы

1. Катапульта с накопителем энергии для привода в виде маховика технически реализуема.
2. Использование канатоведущего шкива позволяет довольно просто получить заданное значение тягового усилия путем изменения угла охвата канатом шкива и изменением натяжения в сбегающей ветви каната натяжным устройством.
3. Увеличение конечной скорости каретки на катапульте достигается увеличением начальной перегрузки и длины направляющей.

4. Движение каретки осуществляется при максимальной перегрузке на всем пути разгона.  
5. Программа расчета катапульты адаптирована к среде Mathcad.

### Список литературы

1. Гулия Н.В. Накопители энергии [Текст] / Н.В. Гулия. – М.: Наука. – 1994. – 150 с.
2. Авилов И.С. Комплексно-сопряженная модель инерционного стартового устройства легких беспилотных летательных аппаратов [Текст] / И.С. Авилов, А.В. Амброжевич, В.А. Середя. – *Авиационно-космическая техника и технология*. – № 2 (49). – 2008. – С. 5-8.
3. Бать М.И. Теоретическая механика в примерах и

задачах [Текст] / М.И. Бать, Г.Ю. Джанелидзе, А. С. Кельзон. – М.: Физматлит, 1966. – 664 с.

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

Поступила в редколлегию 11.02.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Х.В. Раковский, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### НАЗЕМНА ПУСКОВА КАТАПУЛЬТА БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ З ІНЕРЦІЙНИМ ПРИВОДОМ

В.П. Греков, О.Б. Куренко, А.А. П'янков, Ю.А. Ткаченко

*Наведений підхід до вибору конструкції і теоретичного визначення параметрів катапульты з інерційним приводом. При використанні інерційного приводу рух каретки здійснюється при максимальному перевантаженні на усьому шляху розгону, що забезпечує її рівноприскорене переміщення і досягнення у кінці шляху по направляючій максимальної швидкості зльоту БПЛА при обмеженнях на подовжні перевантаження.*

**Ключові слова:** інерційний привід катапульты, безпілотний літальний апарат, допустиме перевантаження, конструктивно-компонувальна схема.

### LAND LAUNCHING DEVICE OF THE UNMANNED AERIAL VEHICLE WITH THE INERTIAL DRIVE

V.F. Grekov, A.B. Kurenko, A.A. Pjankov, Y.A. Tkachenko

*The approach is led to selection of a design and theoretical definition of inertial catapult parameters. At use of an inertial drive carriage motion implements at the maximum g-load on all way of boost that ensures it uniformly accelerated motion and reaching in the end of a way on directing maximum a velocity of flight UAV at limitations on longitudinal g-loads.*

**Keywords:** an inertial catapult, an unmanned aerial vehicle, admissible overload, the arrangement structural scheme.