

УДК 629.7.085

А. П. ПИЛИПЧУК, Ю. А. ГРИБКОВ

Военная академия Республики Беларусь, Минск

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУСКОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗАПУСКА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Разработана математическая модель пусковой установки беспилотных летательных аппаратов. На основе модели исследовано влияние изменения угла наклона направляющей к горизонту на динамику разгона беспилотного летательного аппарата. Результаты моделирования позволяют определить кинематические и динамические свойства пусковой установки.

Беспилотные летательные аппараты (БЛА) сегодня являются перспективными, динамично развивающимися, уникальными системами военного и гражданского назначения. В настоящее время БЛА широко применяют для мониторинга и оповещения о природных и техногенных катастрофах, контроля состояния лесных массивов и атмосферы, патрулирования газо- и нефтепроводов, защиты посевов от градобитий, распыления инсектицидов.

В зависимости от класса аппарата существуют различные способы пуска. Для взлета малоразмерных БЛА широко используют пусковые устройства типа катапульты, позволяющие обеспечить быстрый и эффективный взлет с неподготовленных площадок в полевых условиях, сократить время старта и расход топлива. Например, взлет БЛА «по-самолетному» под малым углом требует значительного участка для набора высоты, что приводит к большим расходам бортового запаса горючего. Применение наземного пускового устройства обеспечивает значительные энергетические выгоды. Так, БЛА Shadow, стартующий с помощью мощной гидравлической катапульты, имеет максимальную практическую дальность полета 125 км, что на 25 км больше, чем у БЛА аэродромного старта такого же класса Scout [1].

Основными конструктивными элементами катапульт являются: направляющая, стартовая тележка, механическая трансмиссия и собственно привод (источник энергии). По принципу использования энергии катапульты разделяют на пневматические, гидравлические, инерционные; катапульты с упругими элементами и катапульты с реактивными разгонными блоками. При этом динамика разгона БЛА на стартовом участке зависит от принципа создания тягового усилия, а также механических свойств элементов катапульт.

В связи с интенсивным развитием беспилотных авиационных комплексов в Республике Беларусь в рамках государственных научных программ в на-

стоящее время необходимо проведение комплекса теоретических исследований для оценки возможности создания пусковых установок на предприятиях страны. В связи с этим актуальна задача разработки математических моделей функционирования пусковых установок и методик расчета основных элементов. Результаты моделирования позволят определить кинематические и динамические свойства и возможности механизма.

В представленной работе разработана математическая модель пусковой установки на основе обобщенной расчетной схемы (рисунок 1). Данная механическая система состоит из следующих элементов: БЛА 1, ложемент 2, трос 3, направляющая 4 длины L , установленная под углом α к горизонту, и трансмиссия (полиспаст) 5, состоящая из двух подвижных и двух неподвижных блоков. Разгон БЛА с ложементом общей массой m до требуемой скорости $v_{взл} = 30$ м/с осуществляется в результате действия постоянной силы F , приложенной к подвижной обойме полиспаста массы m_2 . Блоки полиспаста считаем однородными круглыми дисками радиуса r одинаковой массы m_1 . Коэффициент трения ложемента о направляющую равен f , трос в процессе работы не деформируется, находится в натянутом состоянии, скольжение по поверхности блоков отсутствует.

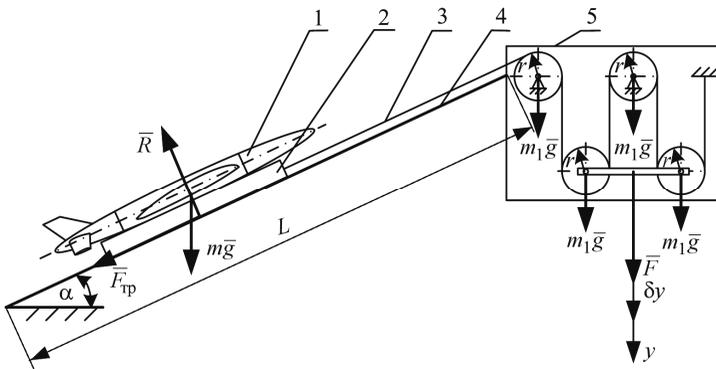


Рисунок 1 – Расчетная схема пускового устройства

Для определения закона движения элементов пусковой установки при запуске БЛА использован математический аппарат уравнений Лагранжа II рода как наиболее общий и универсальный инструмент исследований [2]. Рассматриваемая пусковая установка является системой с одной степенью свободы. В качестве обобщенной координаты выбрано линейное перемещение y точки приложения силы F .

Уравнение Лагранжа для обобщенной координаты y имеет вид:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}} - \frac{\partial T}{\partial y} = Q. \quad (1)$$

Для определения обобщенной силы Q дадим возможное перемещение δy в направлении действия силы F . Сумма работ всех сил на возможных перемещениях точек системы, соответствующих обобщенному возможному перемещению δy :

$$\delta A = F\delta y + 2m_1 g\delta y - 4mg \sin \alpha \delta y - 4 fmg \cos \alpha \delta y .$$

Тогда выражение обобщенной силы Q имеет вид:

$$Q = F + 2m_1 g - 4mg \sin \alpha - 4 fmg \cos \alpha . \quad (2)$$

При определении кинетической энергии системы была решена задача определения угловых скоростей подвижных блоков на основе использования уравнений плоскопараллельного движения твердого тела. Кинетическая энергия системы, состоящей из БЛА и блоков, совершающих вращательное и плоское движение:

$$T = \dot{y}^2 \left(8m + \frac{34m_1}{4} + \frac{m_2}{2} \right) .$$

Частная производная от кинетической энергии по обобщенной скорости \dot{y} запишется в виде:

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{y}} = 2\dot{y} \left(8m + \frac{34m_1}{4} + \frac{m_2}{2} \right) .$$

Производная от полученного результата по времени

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}} = 2\ddot{y} \left(8m + \frac{34m_1}{4} + \frac{m_2}{2} \right) . \quad (3)$$

Учитывая, что в выражение кинетической энергии не входит обобщенная координата y , имеем:

$$\frac{\partial T}{\partial y} = 0 . \quad (4)$$

В результате подстановки выражений (2)–(4) в уравнение Лагранжа (1) получим дифференциальное уравнение движения БЛА для обобщенной координаты y :

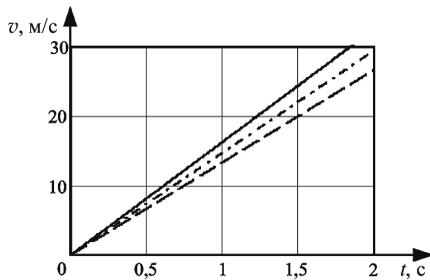
$$2\ddot{y} \left(8m + \frac{34m_1}{4} + \frac{m_2}{2} \right) = F + 2m_1 g - 4mg \sin \alpha - 4 fmg \cos \alpha ,$$

откуда определим ускорение точки приложения силы F :

$$\ddot{y} = \frac{F + 2m_1 g - 4mg \sin \alpha - 4 fmg \cos \alpha}{2 \left(8m + \frac{34m_1}{4} + \frac{m_2}{2} \right)} . \quad (5)$$

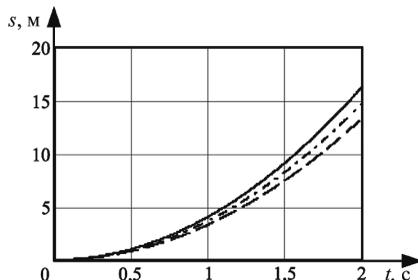
Выражение (5) позволяет определить закон движения БЛА по направляющей и исследовать влияние показателей отдельных звеньев на функционирование всей системы.

В ходе реализации модели проанализировано влияние изменения угла наклона направляющей к горизонту на динамику разгона БЛА. На рисунках 2, 3 представлены график изменения скорости и график движения БЛА с ложементам по направляющей для трех значений угла α : 10° ; 20° ; 30° при $F = 10000$ Н, $m = 120$ кг, $m_1 = 2$ кг, $m_2 = 20$ кг, $r = 0,02$ м, $f = 0,15$, $g = 9,8$ м/с².



Значения угла α : — 10°; - - - 20°;
- · - · 30°

Рисунок 2 – График изменения скорости при движении БЛА по направляющей



Значения угла α : — 10°; - - - 20°;
- · - · 30°

Рисунок 3 – График движения БЛА по направляющей

Разработанная модель может быть использована на этапе проектирования для оценки наиболее предпочтительных значений параметров, обеспечивающих минимальные массогабаритные характеристики пусковой установки. Также на основании представленной модели и использованного подхода возможно проведение теоретических исследований с целью обоснования и сравнения выбранных установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Амброжевич, М. В. Критериальные оценки энергетического совершенства процесса выведения беспилотных летательных аппаратов аэродромного старта / М. В. Амброжевич // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – № 1. – С. 5–9.

2 Бать, М. И. Теоретическая механика в примерах и задачах. Т. 2: Динамика / М. И. Бать, Г. Ю. Джанелидзе, А. С. Кельзон. – М.: Наука, 1966. – 664 с.

A. P. PILIPCHUK, YU. A. GRIBKOV

MATHEMATICAL MODELING OF THE START LAUNCHER FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES

The mathematical model of a launcher for unmanned aerial vehicles has been developed. Based on the model there has been examined the influence of the tilt angle changes of the guide to the horizon on the acceleration of an unmanned aerial vehicle. The simulation results allow to determine the kinematic and dynamic properties of a launcher.

Получено 31.03.2012