

**Чепурко Кирилл Вячеславович,**  
курсант,  
**Гончаренко Владимир Павлович,**  
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры  
*Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»,*  
*г. Минск, Республика Беларусь*  
**Миронов Дмитрий Николаевич,**  
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры  
*Белорусский национальный технический университет*  
*г. Минск, Республика Беларусь*

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ПУСКА БПЛА**

**Аннотация.** В работе с использованием теоремы об изменении кинетической энергии выведена математическая зависимость, которая может быть использована для обоснования конструктивных параметров пусковой установки с целью реализации одного из основных требований – исключение повреждения дорогостоящего БПЛА и обеспечение надежности его запуска.

**Ключевые слова:** Пусковая установка БПЛА, безопасный запуск БПЛА.

**Annotation.** Using the kinetic energy change theorem, a mathematical dependence is derived that can be used to justify the design parameters of the launcher in order to implement one of the main requirements – avoiding damage to an expensive UAV and ensuring the reliability of its launch.

**Keywords:** UAV launcher, safe UAV launch.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в настоящее время решают достаточно широкий спектр задач, поэтому актуальность исследований в сфере их развития и совершенствования не вызывает сомнения [1, 2].

Для теоретического анализа любой сложной системы, в том числе и БПЛА, необходимо разработать ее математическую модель, описывающую зависимость характеристик процесса от его параметров. При изучении системы исследованием ее математической модели неизбежно приходится принимать те или иные допущения, так как стремление к точному учету всех свойств реальной системы может привести к такому усложнению, при котором анализ окажется невозможным. С другой стороны, чрезмерное упрощение математической модели является недопустимым, так как результаты исследований в этом случае могут не отображать наиболее характерных свойств системы. Теорема об изменении кинетической энергии однозначно определяет зависимость кинематических характеристик движущегося посту-

пательно БПЛА по ПУ, с работой, совершенной силами, действующими на БПЛА как материальную точку:

$$\frac{mV_{\text{кон}}^2}{2} - \frac{mV_{\text{нач}}^2}{2} = \Sigma A_i,$$

где  $m$  – взлетная масса БПЛА;

$V_{\text{кон}}$  – скорость БПЛА в момент схода летательного аппарата с ПУ;

$V_{\text{нач}}$  – скорость БПЛА в начальный момент пуска (для данной задачи она равна нулю);

$\Sigma A_i$  – сумма работ всех внешних сил, действующих на БПЛА.

Расчетная схема представлена на рис. 1.

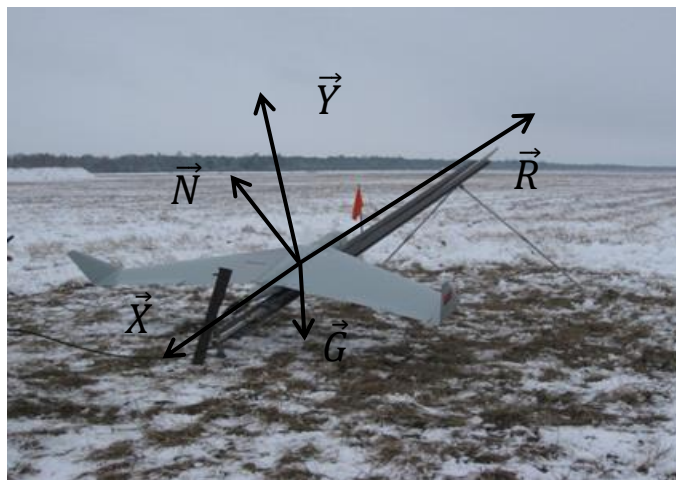


Рисунок 1 – Расчетная схема

Здесь:

$\vec{R}$  – сила упругой реакции пружинного механизма;

$\vec{N}$  – сила нормальной реакции от опоры;

$\vec{Y}$  – аэродинамическая подъемная сила;

$\vec{X}$  – сила лобового сопротивления;

$\vec{G}$  – сила тяжести.

Все эти силы, за исключением силы нормальной реакции  $\vec{N}$ , совершают работу по перемещению БПЛА вдоль ПУ.

Работа силы упругости определяется с использованием следующей зависимости:

$$A_{\text{упр}} = \frac{c}{2} l^2,$$

где  $c$  – коэффициент жесткости пружинного механизма;

$l$  – длина пусковой установки.

Работа силы тяжести:

$$A_G = -mgl \sin \alpha,$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;  
 $\alpha$  – угол установки ПУ по отношению к земле.  
Работа аэродинамической подъемной силы:

$$A_Y = c_Y \frac{\rho v^2}{2} Sl \sin \alpha,$$

где  $c_Y$  – коэффициент подъемной силы;  
 $\rho$  – плотность воздуха;  
 $S$  – площадь крыла.  
Работа силы лобового сопротивления:

$$A_X = c_X \frac{\rho v^2}{2} Sl,$$

где  $c_X$  – коэффициент лобового сопротивления.  
В результате суммарная работа всех сил будет равна:

$$\Sigma A_i = A_{\text{упр}} + A_G + A_Y + A_X.$$

Особенность математической модели заключается в том, что не зная изначально конечного результата – скорости БПЛА в момент схода с ПУ, нельзя определить силы, действующие на летательный аппарат. Решение этой проблемы осуществляется методом бисекции который обладает линейной скоростью сходимости, то есть за одну итерацию точность возрастает в два раза. Достоинство этого метода заключается в том, что он прост, надежно сходящийся, устойчив к ошибкам округления, удобно программируется [3].

Математическая модель и полученные с ее применением результаты могут быть использованы для обоснования конструктивных параметров ПУ с целью реализации одного из основных требований предъявляемых пусковой установке – исключение повреждения дорогостоящего БПЛА и обеспечение надежности его запуска.

#### **Список использованных источников**

1. UAVS. Part I [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http : // medium.com@libertas justitia veritas/](http://medium.com@libertas_justitia_veritas/). – Дата доступа : 28.05.2024.
2. Агафонов, М. М. Особенности аэродинамических схем БПЛА самолетного типа с вертикальным взлетом и посадкой // материалы 58-х научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К. Э. Циолковского, Калуга, 19–21 сентября 2023 г. / Московский гос. техни-

ческий ун-т гражданской авиации; сост.: Н. А. Абакумова. – Калуга : Изд-во «Эйдос», 2023. – С. 319–321.

3. Федоренко, Ю. П. Алгоритмы и программы на C++ Builder / Ю. П. Федоренко. – М. : ДМК Пресс, 2010. – 544 с.