

REFERENCES

- [1] Kolesnikov A.A., Kobzev B.A. of the flight and control // Taganrog, 2009.
- [2] Per-Olof Person, David J. Willis, Jaime Peraire. The Numerical Simulation of Flapping Wings at Low Reynolds Numbers [Текст] // 48th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition 4-7 January 2010, Orlando, Florida.
- [3] Tobalske B.W., Altshuler D.L., Powers D.L. (2004). "Take-off mechanisms in hummingbirds": 1345–1352.
- [4] Lobanovskiy Y.I. Elementary theory of flapping flight, 2008
- [5] Vinogradov I.N. Aerodynamics of birds, 1951. P 128.

«ҚҰС» ТИПНДЕГІ ҰШҚЫШСЫЗ ӘУЕ КӨЛІГІН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

Чигамбаев Темырбай Отарбаевич, техника ғылымдарының кандидаты, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан, t.chigambayev@aes.kz

Жексенбаев Еламан Ержанулы, магистр, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан, yelaman.zhexenbayev@gmail.com

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ БПЛА ТИП «ПТИЦА»

Чигамбаев Темырбай Отарбаевич, кандидат технических наук, Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, г. Алматы, Казахстан, t.chigambayev@aes.kz

Жексенбаев Еламан Ержанулы, магистр, Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, г. Алматы, Казахстан, yelaman.zhexenbayev@gmail.com

Аннотация. В данной статье был разработан и исследован беспилотный летательный аппарат типа «Птица». Были выбраны элементы, необходимые для разработки беспилотного летательного аппарата. В качестве приемника и передатчика в системе управления была выбрана российская фирма «Serplus».

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, птица, полет, аэродинамика, передатчик, приемник.

The Bulletin of Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev, ISSN 1609-1817, DOI 10.52167/1609-1817, Vol. 118, No.3 (2021) pp.92-102

DESIGN OF A «BIRD» TYPE UNMANNED AERIAL VEHICLE

Chigambaev Temyrbai Otarbaevich, Cand.Sc.(Tech.), Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan, t.chigambayev@aes.kz

Zhexenbayev Yelaman Yerzhanuly, Master student, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan, yelaman.zhexenbayev@gmail.com

Abstract. We are concentrating on the aerial vehicles; want to integrate our ideas and work to develop a new type of flight system to improve the control and maneuvering abilities of flying UAVs or drones. Our logic is nothing can fly efficient as the birds do. So copying from the flying behavior of it, is possible to gain all the abilities like the bird.

In this research we developed an airframe of an unmanned aerial vehicle (UAV) mimics anatomy and control mechanism of a bird. The objective is to get a UAV with shape of a bird with maximum take-off weight (MTOW) of 600 gr. Bird species that referred in the design is Euroasian sparrowhawk, *accipter nisus*. This species has wing span of between 59 to 80 cm and length of between 29 to 41 cm. Sparrowhawk is one of bird species that fly mostly in gliding and soaring maneuver. During gliding and soaring, the wing is spread wide just like a fixed-wing aircraft. The control mechanism of bird also applied to the UAV. The outer wing of the UAV can change its angle of attack to mimic morphing ability of bird's wing. The tail of the UAV only consist of horizontal stabilizer, which can be rotate in 2 axis, x-body axis and parallel to the y-body axis. The aerodynamic and flight stability calculation of the design are done by using theoretical equations. We found that the design and configuration that has been developed is stable. From this research, we got design of a bird-like fixed-wing UAV with a good quality in aerodynamics and flight stability analysis and calculations.

Keywords: bird, fixed-wing, UAV, aircraft design, biomimetic, flight, aerodynamics

УДК 681.3(075.8)

DOI 10.52167/1609-1817-2021-118-3-92-102

Т.О. Чигамбаев, Е.Е. Жексенбаев

Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, г. Алматы, Казахстан

КОНСТРУКЦИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ТИПА «ПТИЦА»

Аннотация. В этом исследовании мы разработали планер беспилотного летательного аппарата (БПЛА), имитирующий анатомию и механизм управления птицы. Задача - получить БПЛА в форме птицы с максимальной взлетной массой 600 гр. Вид птиц, упомянутых в дизайне, - евразийский перепелятник, *accipter nisus*. У этого вида птиц размах крыльев от 59 до 80 см и длина от 29 до 41 см. Ястреб-перепелятник - один из видов птиц, которые летают в основном в планирующем и парящем маневрах. Во время планирования и парения крыло расправлено, как у самолета с неподвижным крылом. Механизм управления птицей применен и к БПЛА. Наружное крыло БПЛА может изменять угол атаки, чтобы имитировать способность к морфингу крыла птицы. Хвостовая часть БПЛА состоит только из горизонтального стабилизатора, который может поворачиваться по двум осям, оси X и параллельно оси Y. Расчет аэродинамики и устойчивости полета конструкции выполнен с использованием теоретических уравнений. Мы обнаружили, что разработанный дизайн и конфигурация стабильны. В результате этого исследования мы получили проект БПЛА с неподвижным крылом, напоминающий птицу, с хорошим качеством аэродинамики и анализа и расчетов устойчивости полета.

Ключевые слова: птица, самолет, БПЛА, конструкция самолета, биомиметика, полет, аэродинамика

Птица - природный летчик, она была источником вдохновения при разработке самолетов. «Летун» знаменитого братьев Райтов также был разработан с учетом принципов кинематики птичьего крыла. С тех пор исследования принципа полета птиц ведутся непрерывно. Д. В. Шреяс и др. [7]

содержит обзор принципов аэродинамики птиц и летающих насекомых. Птица использует устойчивую аэродинамику, в то время как летающее насекомое использует неустойчивую аэродинамику. Устойчивая аэродинамика - это тот же аэродинамический механизм, который используется в полете самолетов с неподвижным крылом.

Машущий механизм не всегда используется в птичьем полете. Некоторые птицы, такие как грифы и ястребы, длительное время выдерживают полет, не взмахивая крыльями. Они разводят крыло в планирующем и парящем режимах полета. В одной из своих статей В. А. Такер наблюдал планирующий полет следующих видов птиц; лаггарский сокол [4], белоспинный гриф [5] и харриский ястреб [6]. Коэффициент подъемной силы при планирующем полете сокола, стервятника и ястреба составляет 1.6, 1.1 и 1.6 соответственно.

Механизм управления полетом птицы прост, но продвинуто. Птицы изменяют форму своего крыла и хвоста, чтобы выполнять любой маневр полета в целях контроля и стабилизации. Д. Ю. Су и др. обнаружил, что белоглазая воробьиная птица активно использует свой хвост для сохранения устойчивости во время полета [8]. В конфигурации обычного самолета горизонтальное оперение играет роль в продольном управлении и устойчивости, а вертикальное оперение играет роль в поперечном. Хвост птицы может играть роль в управлении и устойчивости полета как в продольном, так и в поперечном направлении.

Несмотря на то, что птица активно летает с машущими крыльями, имитировать анатомию птицы и механизм управления можно с помощью конструкции самолета с неподвижным крылом. Дж. Магласанг и др. разработали микро-летательный аппарат (MAV), имитирующий кинематику голубя [2]. Они обнаружили, что имитировать анатомию и кинематику крыла птицы для конструкции БПЛА возможно, и дали эффективный

результат. Что касается управления полетом, исследователям из Бристольского университета удалось применить к БПЛА механизм посадки, имитирующий маневр птицы [9]. Внешняя часть крыла БПЛА может отклоняться для замедления движения БПЛА на этапе посадки. Этот прием почти аналогичен механизму, который используют птицы, когда они пытаются приземлиться на землю или на ветку дерева.

В этом исследовании мы разрабатываем конструкцию БПЛА с неподвижным крылом, имитирующую анатомию евразийской птицы перепелятника. БПЛА будет питаться от электродвигателя и аккумулятора. Хвост имеет форму дельты, которая может вращаться по двум осям: оси x-тела и оси, параллельной оси y-тела. Этот механизм передаст управление хвосту в продольной и поперечной устойчивости. Вместо использования элеронов, как в конфигурации обычного самолета, вся внешняя часть крыла будет действовать как поверхность управления. Внешняя часть крыла может вращаться и изменять угол атаки.

Размер и конфигурация

Евразийский перепелятник, *accipiter nisus*, - небольшая хищная птица семейства Acciptridae. У взрослых самцов верхняя часть тела голубовато-серая и верхняя часть тела с оранжевыми полосами, в то время как самки коричневатого цвета. Евразийский перепелятник мелкий, длиной от 28 до 38 см, с массой взрослого самца от 110 до 196 г и взрослой самки от 185 до 342 г [10]. Размах крыльев взрослого перепелятника составляет от 59 до 80 см.

Размер БПЛА будет в пределах размеров евразийского перепелятника. Размах крыла b составит 74 см, общая длина l - 40 см. На рисунке 1 показана фотография летящего евразийского перепелятника. Форма крыла БПЛА будет повторять форму крыла перепелятника. При масштабировании этой фотографии до размеров БПЛА площадь крыла и размер оперения измеряются по фотографии. На рисунке 2 показана та же фотография,

дополненная контуром формы крыла и хвоста БПЛА. Чтобы упростить форму крыла, кончик крыла БПЛА будет просто закругленным, а не распростертым открытым пером, как у перепелятника. По

измерениям площадь крыла S БПЛА составляет 987.1 см^2 . Размер хвоста в размахе 15 см , b_h , и площади 225.3 см^2 , S_h . Удлинение крыла AR составляет 5.5 .



Figure 1 – Euroasian sparrowhawk in flight [11]
Рисунок 1 – Евразийский перепелятник в полете [11]

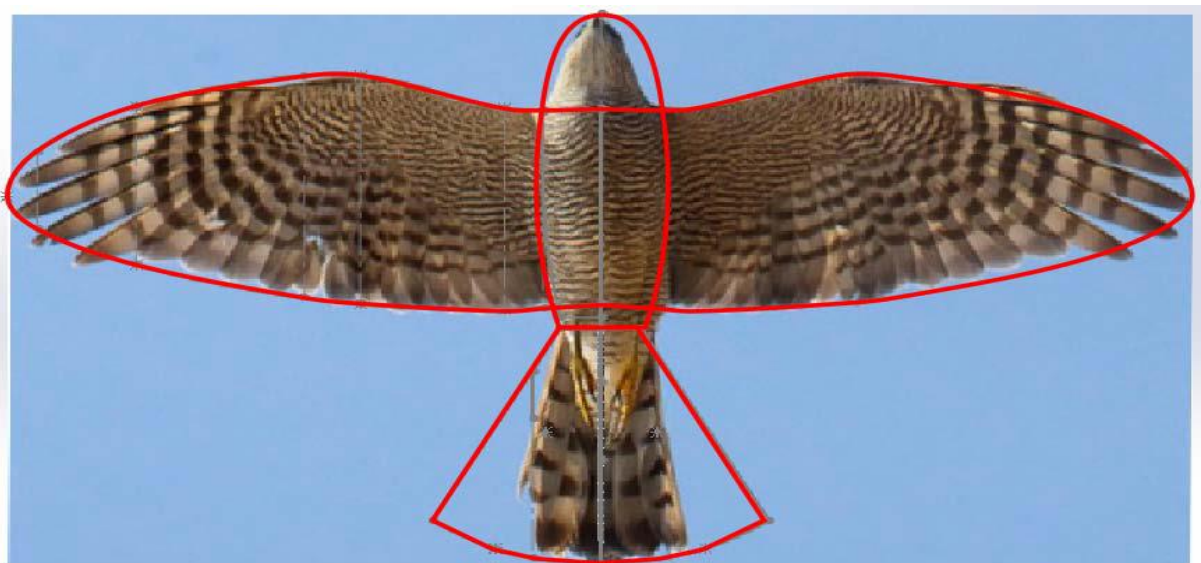


Figure 2 – Sizing of UAV compared to the sparrowhawk
Рисунок 2 – Размеры БПЛА по сравнению с ястребом-перепелятником.

На рисунке 2 мы можем измерить углы крыла БПЛА. Угол обзора по хорде 0,25, $\Lambda_{0,25c}$, и по хорде 0,5, $\Lambda_{0,5c}$, составляет 1,47 градуса и -1,96 градуса соответственно. Крыло будет расположено горизонтально, так что эдрический угол Γ равен 0 градусам. Угол закручивания тоже не будет, $\varepsilon = 0$ град.

Оценка максимальной взлетной массы БПЛА рассчитывается путем оценки компонентов БПЛА. Планер будет

построен с использованием материала для 3D-печати, пробкового дерева, стержня из карбонного волокна и пенополистирола. Система авионики будет состоять из батареи, контроллера мотора, мотора, сервоприводов, полетного контроллера и радиоуправляемого приемника. В таблице 1 представлены весовые составляющие взлетной массы БПЛА.

Таблица 1 - Разбивка оценки веса

Весовые компоненты	Масса, кг
Планер	0.3
Система авионики	0.2
Полезная нагрузка	0.1
Взлетная масса	0.6

Исходя из размеров, длина корневой хорды крыла c_r и хорды законцовки c_t составляет 0.14 м и 0.056 м соответственно. Средняя аэродинамическая хорда (с.а.х), \bar{c} , может быть рассчитана с использованием следующего уравнения [3]

$$\bar{c} = \frac{1}{S} \int_{-b/2}^{b/2} c^2(y) dy, \quad (1)$$

где c - длина хорды на станции, расположенной на расстоянии y от корневой хорды.

Согласно расчету, средняя аэродинамическая хорда (с.а.х), \bar{c} , составляет 0,142 м. Используя то же уравнение, (с.а.х) хвоста составляет 0,135 м.

В целях аэродинамического анализа число Рейнольдса рассчитывается с использованием уравнения (2) следующим образом:

$$R_e = \frac{\rho V L}{\mu}. \quad (2)$$

Возьмем скорость БПЛА во время взлета $V_{(TO)}$, крейсерскую, $V_{(cruise)}$ и во

время парения, $V_{(loiter)}$, 10 м/с, 18 м/с и 15 м/с соответственно. На стандартном уровне моря плотность воздуха ρ составляет 1,225 кг/м³, а динамическая вязкость μ составляет $1,789 \times 10^{-5}$ Па·с. В крыле контрольная длина L - это (с.а.х), \bar{c} . По расчетам, число Рейнольдса крыла и хвоста находится в диапазоне от 100 000 до 200 000.

Первая поверхность управления БПЛА - его хвостовая часть. Как и у птицы, хвост может вращаться по двум осям: оси x -тела и оси, параллельной оси y -тела. Два поворота предназначены для замены функции горизонтального и вертикального оперения в обычной конфигурации самолета. Вторая поверхность управления - внешняя часть крыла. Вместо использования элеронов, как в обычной конфигурации, вся внешняя часть крыла может вращаться, чтобы изменить угол атаки.

Аэродинамика

Исходя из расчетной максимальной взлетной массы, мы можем рассчитать проектный коэффициент подъемной силы C_{L0} . Требуемая сила L для подъема БПЛА минимум равна его весу W . Таким образом, C_{L0} для каждой фазы полета

можно рассчитать с помощью уравнения (3) следующим образом:

$$W = m \cdot g = L$$

$$W = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_L, \quad (3)$$

где m равняется максимальной взлетной массе,

g - ускорение свободного падения, а ρ - плотность воздуха.

Возьмем расчет со свойствами в стандарте уровня моря, C_{L0} для взлета, крейсерскую и во время парения составляет 0.97, 0.3 и 0.43 соответственно.

Профиль, выбранный для формы крыла в плане, - NACA 6412. На рисунке 3 показан график коэффициента подъемной силы крыла c_l и угла атаки α при числе Рейнольдса, равном 100000. Важная информация из рисунка 3 - это угол атаки при нулевой подъемной силе α_0 , который составляет -4 градуса, градиент линейной кривой $c_{l\alpha}$ составляет 0,109 град⁻¹, а максимальный коэффициент подъемной силы c_{lmax} равен 1,522.

Профиль, выбранный для хвостового оперения, - NACA 0012. На рис. 4 показан аэродинамический коэффициент профиля NACA 0012 для числа Рейнольдса 100 000. Из рисунка 4 мы можем вывести некоторую переменную, такую как нулевой угол атаки α_0 , который равен 0 градусов, градиент линейной кривой $c_{l\alpha}$ равен 0.11 град⁻¹, а максимальный коэффициент подъемной силы c_{lmax} равен 0.992.

Максимальная подъемная сила крыла c_{Lmax} рассчитывается по следующему уравнению [3]:

$$c_{Lmax} = 0.9 c_{lmax} \cos \Lambda_{0.25c}. \quad (4)$$

Из приведенного выше уравнения (4) максимальный коэффициент подъемной силы крыла составляет 1.37. Если мы введем это c_{Lmax} в уравнение (3), скорость сваливания V_S БПЛА составит 8.42 м/с.

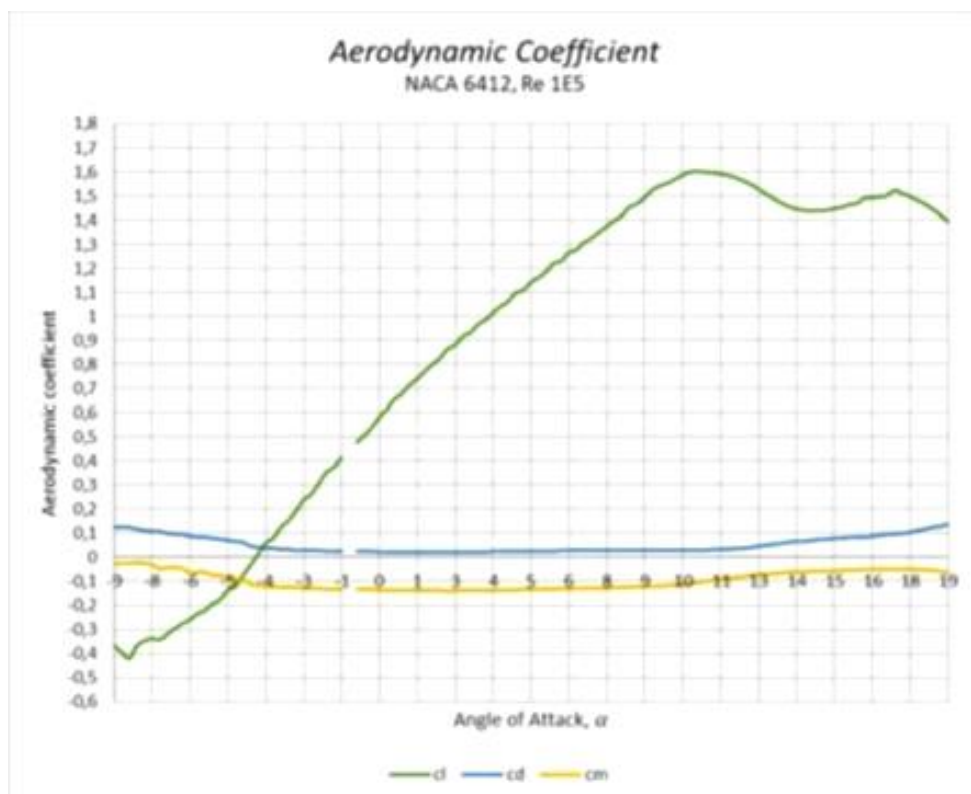


Figure 3 – Aerodynamic coefficient of NACA 6412 airfoil (generated from [12])
Рисунок 3 – Аэродинамический коэффициент профиля NACA 6412 (получено из [12])

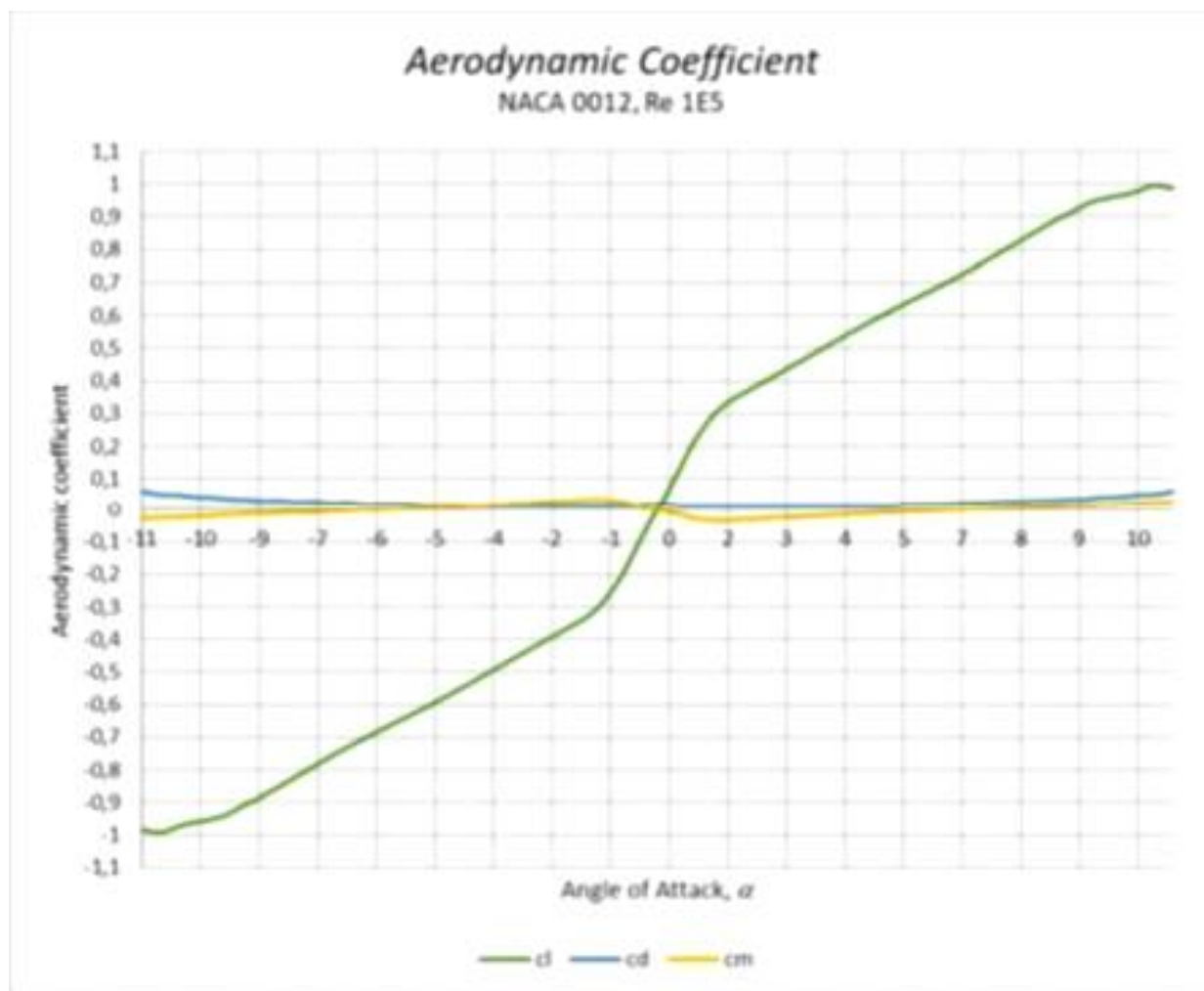


Figure 4 – Aerodynamic coefficient of NACA 0012 airfoil. (generated from [12])

Рисунок 4 – Аэродинамический коэффициент профиля NACA 0012. (получено из [12])

Градиент коэффициента подъемной силы крыла $C_{LW\alpha}$ и коэффициента подъемной силы хвостового оперения $C_{Lh\alpha}$ рассчитываются с использованием следующего уравнения [3]:

$$C_{L\alpha} = f \frac{c_{l\alpha}}{E + \frac{c_{l\alpha}}{\pi AR}}, \quad (5)$$

где f - поправочный коэффициент для конусности крыла,
 E - коэффициент скорости кромки по Джону.

Из уравнения (5) выше градиент коэффициента подъемной силы крыла $C_{LW\alpha}$ будет $0,074 \text{ град}^{-1}$, а градиент коэффициента подъемной силы хвостового оперения $C_{Lh\alpha}$ будет $0,0252 \text{ град}^{-1}$.

Уравнение коэффициента подъемной силы для крыла C_{LW} получено из следующего уравнения [3]:

$$C_L = C_{L\alpha} \{ \alpha_r - (\alpha_{i0})_r - \alpha_{01} \varepsilon_r \}, \quad (6)$$

где α_r - угол атаки в основании крыла,

$(\alpha_{i0})_r$ - угол атаки при нулевой подъемной силе в корневой части крыла, α_{01} - угол атаки при нулевой подъемной силе на единицу поворота для прямых крыльев [3].

На рисунке 5 показана трехмерная модель БПЛА, созданная с помощью автоматизированного проектирования (САПР), в результате этих аэродинамических расчетов.

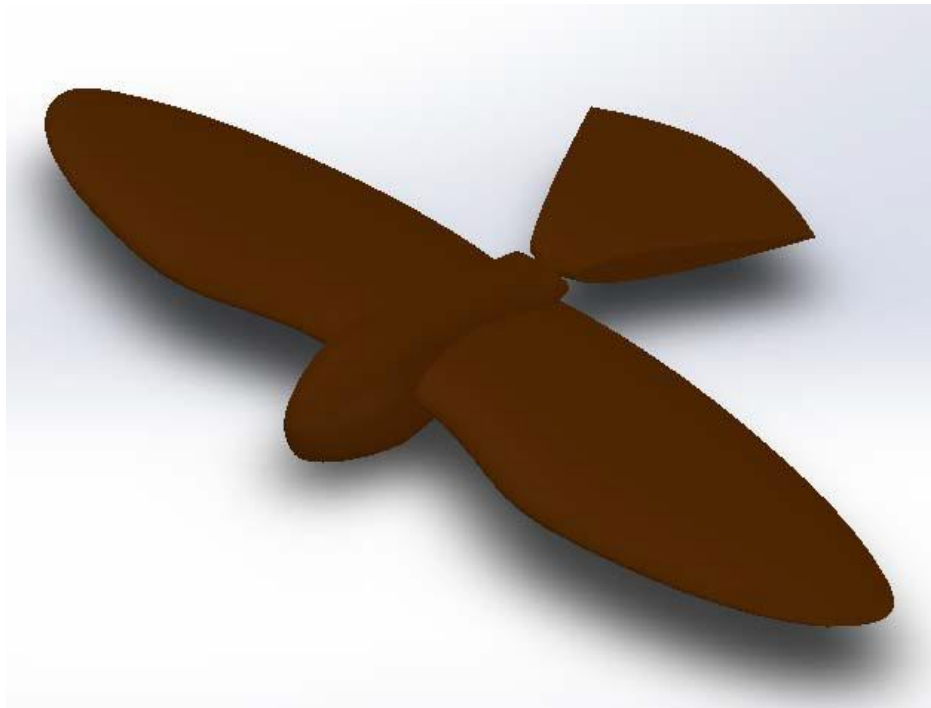


Figure 5 – 3D CAD model of the bird-like fixed-wing UAV

Рисунок 5 – Трехмерная САД-модель птицеподобного БПЛА с неподвижным крылом

Размер фюзеляжа измерен на рисунке 2. Ширина фюзеляжа, b_f , составляет 0,074 м, а площадь крыла за пределами фюзеляжа, S_{net} , составляет 0,088 м². Градиент коэффициента подъемной силы крыло-фюзеляж $(C_{L\alpha})_{wf}$ рассчитывается с использованием следующего уравнения [3]:

$$(C_{L\alpha})_{wf} = K_I C_{Lw\alpha}, \quad (7)$$

K_I - коэффициент для расчета подъемной силы на крыле и фюзеляже,

$$C_{Lwf} = (C_{L\alpha})_{wf} \left[(\alpha_f - \alpha_{01} \varepsilon_t) + \frac{K_{II}}{K_I} \{i_w - (\alpha_{10})_r\} \right] + \Delta_z C_L, \quad (9)$$

где K_{II} еще один фактор для расчета подъемной силы крыла и фюзеляжа, который можно рассчитать как [3]:

$$K_{II} = \left(1 + 0.7 \frac{b_f}{b} \right) \frac{S_{net}}{S}, \quad (10)$$

И $\Delta_z C_L$, как утверждает С. Ф. Хёрнер [1] для высокого крыла, составляет:

который для $b_f/b < 0,2$ может быть рассчитан как [3]:

$$K_I = \left(1 + 2.15 \frac{b_f}{b} \right) \frac{S_{net}}{S} + \frac{\pi}{2C_{Lw\alpha}} \frac{b_f^2}{S}. \quad (8)$$

Коэффициент подъемной силы крыла и фюзеляжа вместе, C_{Lwf} , рассчитывается на основе следующего уравнения [3]:

$$\frac{\Delta_z C_L S}{c_r b_f} = -0.1. \quad (11)$$

Угол падения крыла i_w рассчитывается следующим образом [3]:

$$i_w = \frac{C_{Lwf}^* - \Delta_z C_L}{K_{II} C_{Lw\alpha}} + \frac{K_I}{K_{II}} \alpha_{01} \varepsilon_t + (\alpha_{10})_r, \quad (12)$$

где C_{Lwf}^* рассчитывается следующим образом [3]:

$$C_{Lwf}^* = \frac{(C_{L0} - \frac{\bar{c}}{l_h} c_{mac})}{(1 + \frac{x_{cg} - x_{ac}}{l_h})} \quad (13)$$

Расчет выполнен в режиме ожидания, при $C_{L0} = 0.43$. Исходя из размеров, расстояние между 25% крыла и 25% длины хвостового оперения, l_h ,

$$C_{L\alpha} = (C_{L\alpha})_{wf} + C_{Lh\alpha} (1 - \frac{d\varepsilon_h}{d\alpha}) \frac{S_h q_h}{S q} \quad (14)$$

с участием,

$$\frac{d\varepsilon_h}{d\alpha} = 1.75 \frac{C_{Lw\alpha}}{\pi AR(\lambda r)^{0.25} (1 + |m|)}, \quad (15)$$

Где

$$r = \frac{2l_h}{b} \text{ и } m = \frac{z_h}{b/2} \quad (16)$$

z_h определяет перпендикулярное расстояние от линии хорды корневой части крыла с нулевой подъемной силой с 25% с.а.х. хвоста. Поскольку БПЛА относительно небольшой, можно предположить, что динамическое давление на оперение равно на давление на крыло, или $\frac{q_h}{q} = 1$.

УСТОЙЧИВОСТЬ

Местоположение нейтральной точки БПЛА рассчитывается с использованием следующего уравнения [3]:

$$\frac{x_n}{\bar{c}} = \frac{x_{ac}}{\bar{c}} + \frac{C_{Lh\alpha}}{C_{L\alpha}} \left(1 - \frac{d\varepsilon_h}{d\alpha}\right) \frac{S_h l_h q_h}{S \bar{c} q}. \quad (17)$$

Используя уравнение (17), мы получаем положение нейтральной точки x_n на 28,4% с.а.х. Поскольку он расположен за x_{cg} , можно сделать вывод, что конфигурация БПЛА стабильна.

Для прогнозирования продольной устойчивости рассчитываем момент

составляет 0,188 м. Расположение центра тяжести (ц.т), x_{cg} , установлено на 25% \bar{c} , а предполагаемое расположение аэродинамического центра, x_{ac} , находится на 25% \bar{c} . Из уравнения (12) угол падения крыла i_w равен 3,3 градуса.

Полный коэффициент подъемной силы самолета с учетом подъемной силы крыла-фюзеляжа и оперения. Расчет выполняется с использованием следующего уравнения [3]:

тангажа самолета. Коэффициент момента рассчитывается с использованием следующего уравнения [3]:

$$C_m = C_{m0} + \frac{dC_m}{dC_L} C_L, \quad (18)$$

Где

$$C_{m0} = C_{mac} - C_{Lh\alpha} i_h \frac{S_h l_h q_h}{S \bar{c} q}, \quad (19)$$

а также

$$\frac{dC_m}{dC_L} = -\frac{x_n - x_{cg}}{\bar{c}}. \quad (20)$$

Из уравнения (18) получаем моментный коэффициент летательного аппарата как:

$$c_m = -0.097 - 0.034C_L. \quad (21)$$

Необходимым условием для продольной устойчивости является то, что

производная коэффициента момента от угла атаки должна быть меньше нуля, $\frac{dC_m}{d\alpha} < 0$. Из уравнения получаем, что производная коэффициента момента составляет $-0,003 \text{град}^{-1}$.

Выводы.

Из исследования можно понять, что создание БПЛА, имитирующего форму птицы, вполне возможно. На основе этого

исследования мы разработали дизайн БПЛА в форме евразийского перепелятника. Размер БПЛА составляет 40 см в длину и 74 см в размахе крыла. Площадь крыла $225,3 \text{см}^2$. Анализ и расчет на устойчивость показывает, что конфигурация БПЛА стабильна. Следующим шагом этого исследования будет создание прототипа БПЛА.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] S. F. Hoerner, "Fluid dynamic drag," Published by author, 1965.
- [2] J. Maglasang, N. Goto, and K. Isogai, "Development of bird-like micro aerial vehicle with flapping and feathering wing motions," *Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences*, vol. 51, no. 171, pp. 8-15, 2008.
- [3] E. Torenbeek, "Synthesis of subsonic airplane design," Netherlands: Delft University Press, 1976.
- [4] V. A. Tucker, and G. C. Parrot, "Aerodynamics of gliding in a falcon and other birds," *Journal of Experimental Biology*, vol. 52, pp. 345-367, 1970.
- [5] V. A. Tucker, "Gliding birds: descending flight of the white-backed vulture, *gyps africanus*," *Journal of Experimental Biology*, vol. 140, pp. 325-344, 1988.
- [6] V. A. Tucker, "Aerodynamics of gliding flight in a harris' hawk, *parabuteo unicinctus*," *Journal of Experimental Biology*, vol. 149, pp. 469-489, 1990.
- [7] J. V. Shreyas, S. Devrajan, and K. R. Sreenivas, "Aerodynamics of bird and insect flight," *Journal of the Indian Institute of Science*, vol. 91, no. 3, pp. 415-427, July-Sept., 2011.
- [8] J. Y. Su, S. C. Ting, Y. H. Chang, and J. T. Yang, "A passerine spread its tail to facilitate a rapid recovery of its body posture during hovering," *Journal of the Royal Society Interface*, vol. 9, pp. 1674-1684, 2012.
- [9] News article, "UAV performs first ever perched landing using machine learning algorithms,"
- [10] <http://www.bristol.ac.uk/news/2017/january/uav-perched-landing.html>.
- [11] <https://www.hbw.com/species/eurasian-sparrowhawk-accipiter-nisus>
- [12] <http://www.pbse.com/image/130446883> [12] <http://airfoiltools.com/>
- [13] Лобановский Ю.И. Элементарная теория машущего полета, 2008
- [14] Виноградов И.Н. Аэродинамика птиц-парителей. М.: ДОСАРМ, 1951. 128 с.
- [15] Колесников А.А., Кобзев В.А. Динамика полета и управления [Текст]: синергетический подход // Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009.

REFERENCES

- [1] S. F. Hoerner, "Fluid dynamic drag," Published by author, 1965.
- [2] J. Maglasang, N. Goto, and K. Isogai, "Development of bird-like micro aerial vehicle with flapping and feathering wing motions," *Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences*, vol. 51, no. 171, pp. 8-15, 2008.
- [3] E. Torenbeek, "Synthesis of subsonic airplane design," Netherlands: Delft University Press, 1976.
- [4] V. A. Tucker, and G. C. Parrot, "Aerodynamics of gliding in a falcon and other birds," *Journal of Experimental Biology*, vol. 52, pp. 345-367, 1970.

- [5] V. A. Tucker, "Gliding birds: descending flight of the white-backed vulture, *gyps africanus*," *Journal of Experimental Biology*, vol. 140, pp. 325-344, 1988.
- [6] V. A. Tucker, "Aerodynamics of gliding flight in a harris' hawk, *parabuteo unicinctus*," *Journal of Experimental Biology*, vol. 149, pp. 469-489, 1990.
- [7] J. V. Shreyas, S. Devrajan, and K. R. Sreenivas, "Aerodynamics of bird and insect flight," *Journal of the Indian Institute of Science*, vol. 91, no. 3, pp. 415-427, July-Sept., 2011.
- [8] J. Y. Su, S. C. Ting, Y. H. Chang, and J. T. Yang, "A passerine spread its tail to facilitate a rapid recovery of its body posture during hovering," *Journal of the Royal Society Interface*, vol. 9, pp. 1674-1684, 2012.
- [9] News article, "UAV performs first ever perched landing using machine learning algorithms,"
- [10] <http://www.bristol.ac.uk/news/2017/january/uav-perched-landing.html>.
- [11] <https://www.hbw.com/species/eurasian-sparrowhawk-accipiter-nisus>
- [12] <http://www.pbase.com/image/130446883> [12] <http://airfoiltools.com/>
- [13] Lobanovskiy Y.I. Elementarnaya teoriya poleta, 2008
- [14] Vinogradov I.N. Aerodynamika ptic-paritelei, 1951. P 128.
- [15] Kolesnikov A.A., Kobzev B.A. Dinamika poleta i upravleniya // Taganrog, 2009.

КОНСТРУКЦИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ТИПА «ПТИЦА»

Чигамбаев Темырбай Отарбаевич, кандидат технических наук, Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, г. Алматы, Казахстан, t.chigambayev@aes.kz

Жексенбаев Еламан Ержанулы, магистр, Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, г. Алматы, Казахстан, yelaman.zhexenbayev@gmail.com

«ҚҰС» ТИПІНДЕГІ ҰШҚЫШСЫЗ ӘУЕ КӨЛІГІН ЖОБАЛАУ

Чигамбаев Темырбай Отарбаевич, техника ғылымдарының кандидаты, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан, t.chigambayev@aes.kz

Жексенбаев Еламан Ержанулы, магистр, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан, yelaman.zhexenbayev@gmail.com

Андатпа. Бұл мақалада «құс» типіндегі ұшқышсыз әуе көлігі жобаланды. Ұшқышсыз әуе көлігін жобалау үшін қажет есептеулер жүргізілді. Көліктің тұрақтылық, аэродинамика, өлшемі мен конфигурациясы секілді сипаттамалары есептелді.

Түйінді сөздер: ұшқышсыз әуе көлігі, құс, ұшу, аэродинамика, биомиметика.

The Bulletin of Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyspayev, ISSN 1609-1817, DOI 10.52167/1609-1817, Vol. 118, No.3 (2021) pp.102 -111

BASIC APPROACHES TO MODELING THE MOTION OF PEOPLE INSIDE BUILDINGS

Yedilkhan Amirgaliyev, Dr.Tech.Sci., Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK, Almaty, Kazakhstan; amir_ed@mail.ru

Aliya Kalizhanova, Cand. in Physics. - Math. Sciences, Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK, Almaty University of Energy and Communications, Almaty, Kazakhstan; kalizhanova_aliya@mail.ru