

Московский государственный технический университет им. Н.Э.
Баумана

Факультет «Радиоэлектроника и лазерная техника (РЛ)»

Кафедра «Технология приборостроения (РЛ6)»

Научно исследовательская работы
на тему «Проектирование малых беспилотных летательных аппаратов»

Выполнил ст. группы РЛ6-71

Филимонов С. В.

Преподаватель Дмитриев Д. Д.

Москва, 2023

Содержание

Цель работы.....	2
Глава 1.....	3
Глава 2.....	8
Глава 3.....	13
Глава 4.....	16
Вывод.....	18

Цель работы

Разработать модель малого беспилотного летательного с использованием языка программирования Python. Модель должна уметь изменять угол по рысканию, тангажу, крену.

Цель работы по проектированию малых беспилотных летательных аппаратов заключается в создании передовой технической системы, способной решать различные задачи в областях гражданской авиации, мониторинга окружающей среды, доставки грузов, сельского хозяйства, медицины и других сферах.

Глава 1

Проектирование малых беспилотных летательных аппаратов (МБЛА) в последние десятилетия стало одной из самых инновационных и перспективных областей инженерии. Малые беспилотные летательные аппараты – это компактные автономные устройства, способные выполнять различные миссии без присутствия пилота на борту. Их применение охватывает множество сфер, от исследования и картографии до безопасности и развлечений.

Проектирование МБЛА требует учета широкого спектра факторов, таких как аэродинамические свойства, энергопотребление, управляемость и безопасность. Кроме того, устройства должны быть компактными, легкими и легко маневрируемыми. В последние годы новые технологии, включая микроэлектронику, дроны и искусственный интеллект, значительно повысили возможности проектирования и улучшили характеристики МБЛА.

Преимущества использования МБЛА включают снижение риска для жизни и здоровья людей, уменьшение затрат на операцию и возможность добраться до труднодоступных мест. Они могут быть использованы для обнаружения и спасения, патрулирования и мониторинга окружающей среды, а также для доставки товаров и обеспечения скорой помощи в аварийных ситуациях.

Однако проектирование МБЛА также сталкивается с рядом вызовов и ограничений. Это включает вопросы безопасности, взаимодействия с другими воздушными судами и законодательство, регулирующее их использование. Кроме того, усовершенствование энергетической системы и бортовых систем управления также является актуальной задачей для проектировщиков МБЛА.

В заключение, проектирование малых беспилотных летательных аппаратов представляет собой сложный и увлекательный процесс, сочетающий в себе инновационные технологии и непрерывное стремление к улучшению. МБЛА предоставляют невиданные ранее возможности в различных сферах жизнедеятельности и являются важным направлением развития техники и технологий.

Итак перейдем к проектированию, модель которая будет реализована в для симмулятора БЛА AeroSonde. Aerosonde является моделью малых беспилотных летательных аппаратов, которая обладает некоторыми уникальными особенностями.

Первая особенность Aerosonde заключается в его компактном размере и лёгком весе. Это позволяет ему летать в небольших и ограниченных пространствах, где другие беспилотные аппараты не могут достичь.



Рис. 1 - Модель самолета

Вторая особенность состоит в его долгой автономной работе. Aerosonde может оставаться в воздухе до 30 часов без дозаправки, что является впечатляющим показателем для его размеров. Благодаря этому, Aerosonde может использоваться для длительных миссий, таких как наблюдение за погодными условиями, мониторинг окружающей среды или осуществление поисковых и спасательных операций.

Третьей особенностью является способность Aerosonde работать в различных климатических условиях. Он может выдерживать сильные ветры, низкие и высокие температуры, а также суровые погодные условия. Благодаря этому, аппарат способен выполнять задачи даже в экстремальных ситуациях.

Параметр	Значение	Продольный коэфф.	Значение	Боковой коэфф.	Значение
m	13,5 кг	C_{L_0}	0,8	C_{Y_0}	0
J_x	0,8244 кг-м ²	C_{D_0}	0,03	C_{l_0}	0
J_y	1,135 кг-м ²	C_{m_0}	-0,02338	C_{n_0}	0
J_z	1,759 кг-м ²	C_{L_a}	3,45	C_{Y_β}	-0,98
J_{xz}	0,1204 кг-м ²	C_{D_a}	0,30	C_{l_β}	-0,12
S	0,55 м ²	C_{m_a}	-0,38	C_{n_β}	0,25
b	2,8956 м	C_{L_q}	0	C_{Y_p}	0
c	0,18994 м	C_{D_q}	0	C_{l_p}	-0,26
$S_{\text{Проп.}}$	0.2027 м ²	C_{m_q}	-3,6	C_{n_p}	0,022
ρ	1,2682 кг/м ³	$C_{L_{\delta_e}}$	-0,36	C_{Y_r}	0
$k_{\text{Двиг.}}$	80	$C_{D_{\delta_e}}$	0	C_{l_r}	0,14
k_{T_p}	0	$C_{m_{\delta_e}}$	-0,5	C_{n_r}	-0,35
k_Ω	0	$C_{\text{Проп.}}$	1,0	$C_{Y_{\delta_R}}$	0
e	0,9	M	50	$C_{l_{\delta_R}}$	0,08
		α_0	0,4712	$C_{n_{\delta_a}}$	0,06
		ε	0,1592	$C_{Y_{\delta_r}}$	-0,17
		C_{D_p}	0,0437	$C_{l_{\delta_r}}$	0,105
		$C_{m_{\delta_r}}$	-0,032		

Рис. 2 - Аэродинамические коэффициенты

Кроме того, Aerosonde имеет возможность носить различные типы датчиков и оборудования на борту, которые позволяют ему выполнять разнообразные задачи. Это может включать в себя снимки с высоты, сбор данных или наблюдение за определенными объектами или областями.

На основе коэффициентов выше можно посчитать различные значение для самолета Aerosonde

$$\begin{aligned}
\dot{p}_n &= (\cos \theta \cos \psi)u + (\sin \phi \sin \theta \cos \psi - \cos \phi \sin \psi)v + (\cos \phi \sin \theta \cos \psi + \sin \phi \sin \psi)w \\
\dot{p}_e &= (\cos \theta \sin \psi)u + (\sin \phi \sin \theta \sin \psi + \cos \phi \cos \psi)v + (\cos \phi \sin \theta \sin \psi - \sin \phi \cos \psi)w \\
\dot{h} &= u \sin \theta - v \sin \phi \cos \theta - w \cos \phi \cos \theta \\
\dot{u} &= rv - qw - g \sin \theta + \frac{\rho V_a^2 S}{2m} \left[C_X(\alpha) + C_{X_q}(\alpha) \frac{cq}{2V_a} + C_{X_{\delta_e}}(\alpha) \delta_e \right] + \frac{\rho S_{\text{проп}} C_{\text{проп}}}{2m} \left[(k_{\text{motor}} \delta_t)^2 - V_a^2 \right] \\
\dot{v} &= pw - ru + g \cos \theta \sin \phi + \frac{\rho V_a^2 S}{2m} \left[C_{Y_0} + C_{Y_\beta} \beta + C_{Y_p} \frac{bp}{2V_a} + C_{Y_r} \frac{br}{2V_a} + C_{Y_{\delta_a}} \delta_a + C_{Y_{\delta_r}} \delta_r \right] \\
\dot{w} &= qu - pv + g \cos \theta \cos \phi + \frac{\rho V_a^2 S}{2m} \left[C_Z(\alpha) + C_{Z_q}(\alpha) \frac{cq}{2V_a} + C_{Z_{\delta_e}}(\alpha) \delta_e \right] \\
\dot{\phi} &= p + q \sin \phi \tan \theta + r \cos \phi \tan \theta \\
\dot{\theta} &= q \cos \phi - r \sin \phi \\
\dot{\psi} &= q \sin \phi \sec \theta + r \cos \phi \sec \theta \\
\dot{p} &= \Gamma_1 pq - \Gamma_2 qr + \frac{1}{2} \rho V_a^2 S b \left[C_{p_0} + C_{p_\beta} \beta + C_{p_p} \frac{bp}{2V_a} + C_{p_r} \frac{br}{2V_a} + C_{p_{\delta_a}} \delta_a + C_{p_{\delta_r}} \delta_r \right] \\
\dot{q} &= \Gamma_5 pr - \Gamma_6 (p^2 - r^2) + \frac{\rho V_a^2 S c}{2J_y} \left[C_{m_0} + C_{m_\alpha} \alpha + C_{m_q} \frac{cq}{2V_a} + C_{m_{\delta_e}} \delta_e \right] \\
\dot{r} &= \Gamma_7 pq - \Gamma_1 qr + \frac{1}{2} \rho V_a^2 S b \left[C_{r_0} + C_{r_\beta} \beta + C_{r_p} \frac{bp}{2V_a} + C_{r_r} \frac{br}{2V_a} + C_{r_{\delta_a}} \delta_a + C_{r_{\delta_r}} \delta_r \right]
\end{aligned}$$

Наконец, Aerosonde обладает простым и эффективным дизайном, который облегчает его обслуживание и эксплуатацию. Он быстро готовится к полету, а также легко переносится и транспортируется.

В целом, модель Aerosonde предоставляет уникальные возможности для проведения различных миссий, благодаря своим компактным размерам, долгой автономной работе, способности работать в разных климатических условиях и наличию разнообразного оборудования на борту. Эти особенности делают его незаменимым инструментом для множества приложений в области авиации и научных исследований.

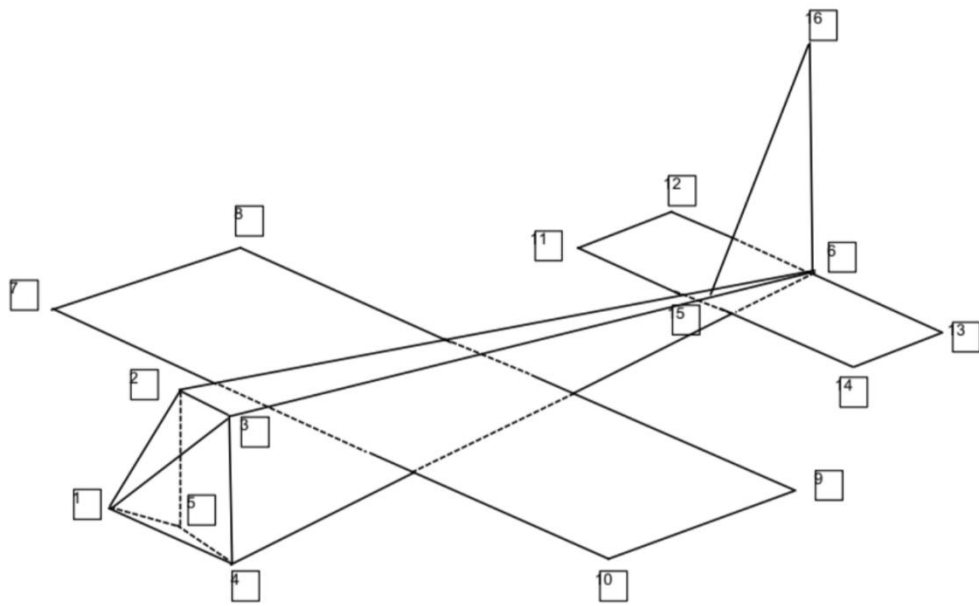


Рис. 3 - Модель самолета в симмуляторе

Проектирование малых беспилотных летательных аппаратов модели Aerosonde с использованием Python и MATLAB представляет собой непростую задачу, требующую углубленных знаний в области авиации, аэродинамики, программирования и симуляции полетов. Формулы углов:

$$\begin{aligned}
 R_v^b(\phi, \theta, \psi) &= R_{v2}^b(\phi) R_{v1}^{v2}(\theta) R_v^{v1}(\psi) \\
 &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} c_\theta c_\psi & c_\theta s_\psi & -s_\theta \\ s_\phi s_\theta c_\psi - c_\phi s_\psi & s_\phi s_\theta s_\psi + c_\phi c_\psi & s_\phi c_\theta \\ c_\phi s_\theta c_\psi + s_\phi s_\psi & c_\phi s_\theta s_\psi - s_\phi c_\psi & c_\phi c_\theta \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Изначально, при создании Aerosonde, необходимо провести анализ требований и задач, которые она должна выполнять. К ним могут относиться задачи наблюдения, съемки, геопозиционирования, обследования местности и метеорологических явлений, а также транспортировки грузов. В зависимости от поставленных задач, потребуется определить набор датчиков, установить и настроить камеры, разработать систему управления и многое другое.

Python и MATLAB, как языки программирования, предоставляют мощные инструменты для моделирования и симуляции полетов беспилотных летательных аппаратов. При проектировании Aerosonde потребуется создать математическую модель, учитывающую аэродинамические, механические и электронные параметры для имитации полета.

Используя Python, можно разработать программу, которая будет учитывать физические законы движения аппарата, аэродинамику, а также управляющие системы. С помощью библиотек, таких как NumPy и SciPy, можно реализовать расчеты и анализ данных, например, моделирование динамики полета, конструкцию аппарата или подобрать оптимальные параметры для достижения требуемой производительности.

С использованием MATLAB можно визуализировать данные, проводить анализ, оптимизацию и контроль процесса разработки. Также с помощью Simulink возможно создание и отладка множества моделей, включая модели полета. Здесь весь проект может быть организован в виде блок-схем и алгоритмов, что значительно облегчает понимание и взаимодействие компонентов системы.

Однако, при проектировании беспилотных летательных аппаратов модели Aerosonde в Python и MATLAB следует помнить о вызовах real-time систем. Оптимизация и эффективность вычислений будет иметь первостепенное значение для обеспечения бесперебойной работы аппарата в реальном времени.

В целом, проектирование малых беспилотных летательных аппаратов модели Aerosonde в Python и MATLAB представляет собой сложную и многогранную задачу, требующую глубоких знаний в области авиации и программирования. Однако, с помощью соответствующих инструментов и подхода, возможно создание надежных и эффективных систем, способных успешно выполнять поставленные задачи.

Глава 2

Итак перейдем к проектированию, в начале построим модель самолета в Python:

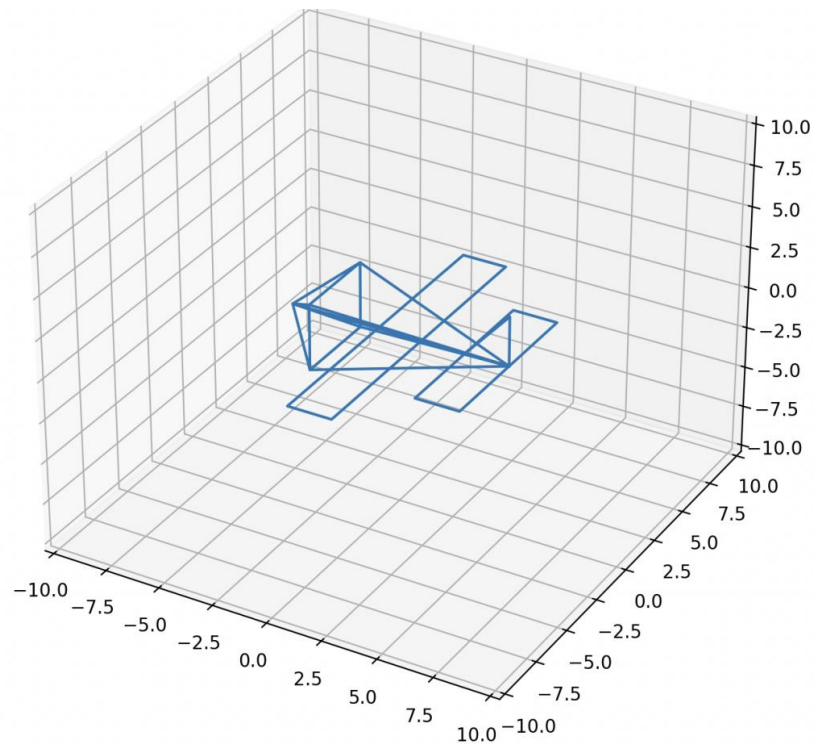


Рис. 4 - Модель самолета

Модель операции тангажа, рыскания и крена представляет собой важную задачу в области управления летательными аппаратами. Для эффективной реализации такой модели необходимо применять различные матрицы перехода. Выполняется по формуле:

$$R_{v1}^{v2}(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{pmatrix}$$

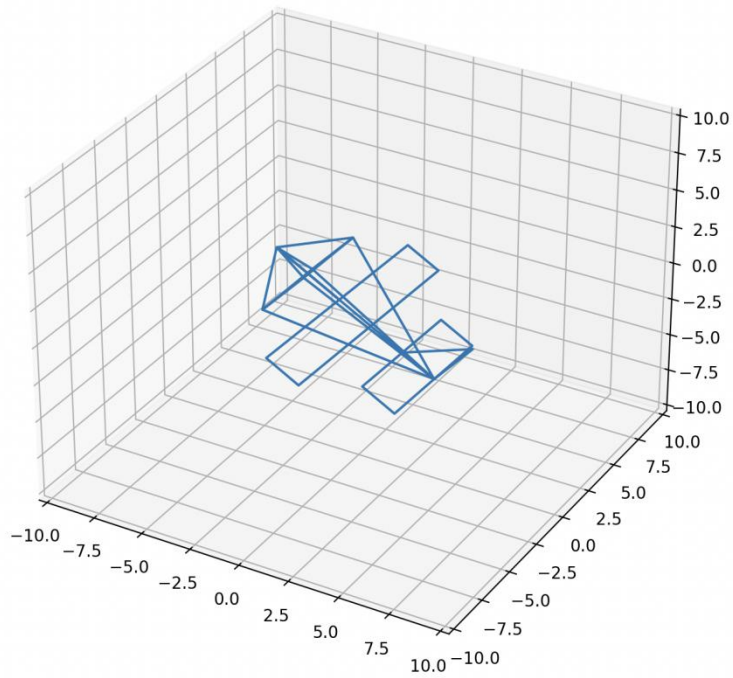


Рис. 5 - Выполнение тангажа на вверх

На аппарат в ходе полета влияет ветер он влияет по формуле:

$$R_s^b(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{pmatrix}$$

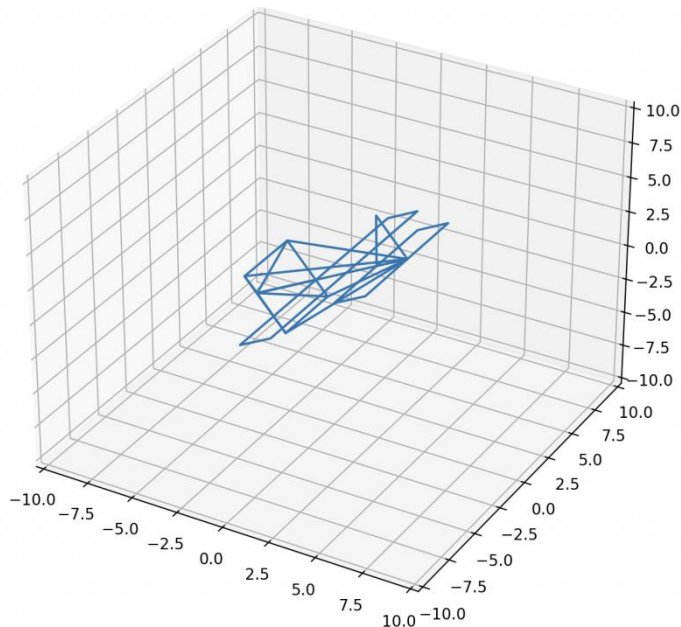


Рис. 6 - Выполнение тангажа вниз

Матрицы перехода в данной модели играют решающую роль, так как определяют обратимое преобразование движения в пространстве. Каждая из

операций - тангаж, рыскание и крен - требует своей собственной матрицы перехода для корректного выполнения.

Матрица перехода для тангажа позволяет изменять вертикальное положение летательного аппарата. Она учитывает угол тангажа и позволяет оперировать высотой полета. Подобная матрица позволяет применять операции подъема и спуска. Крен выполняется по формуле:

$$R_{v2}^b(\phi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \end{pmatrix}$$

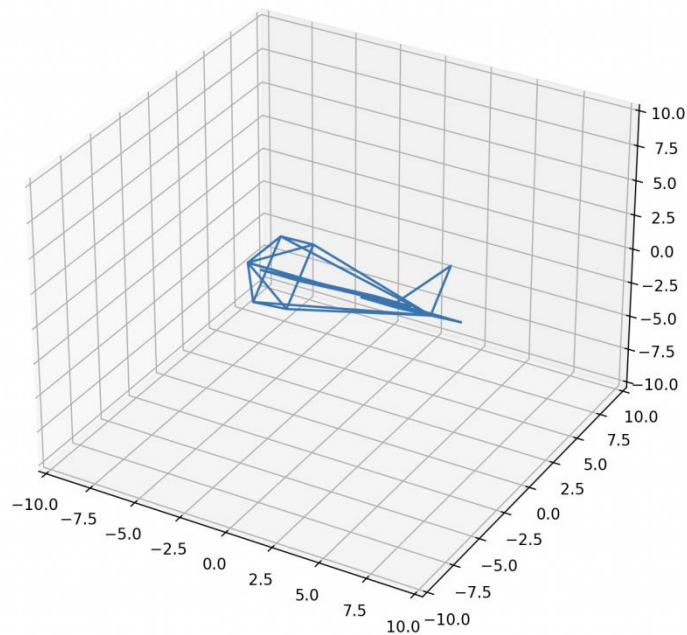


Рис. 7 - Выполнение крена вправо

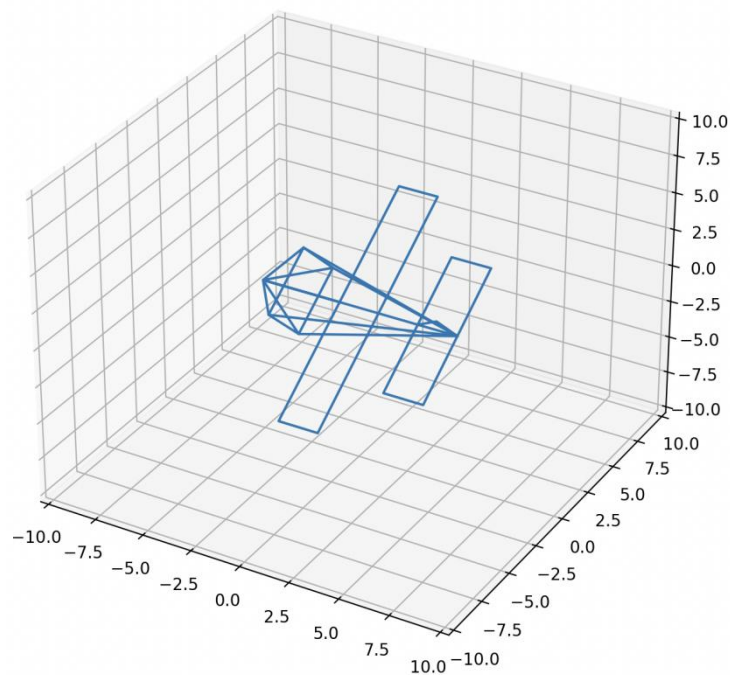


Рис. 8 - Выполнение крена влево

Матрица перехода для рыскания отвечает за изменение горизонтальной ориентации летательного аппарата. Она учитывает угол рыскания и позволяет контролировать направление полета. Применение такой матрицы позволяет совершать повороты вправо и влево. Выполняется по формуле:

$$R_v^1(\psi) = \begin{pmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

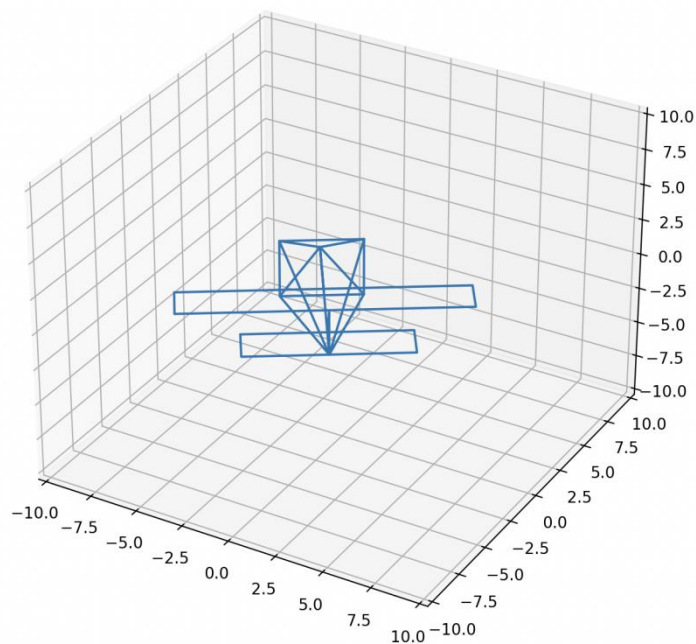


Рис. 9 - Выполнение рыскания вправо

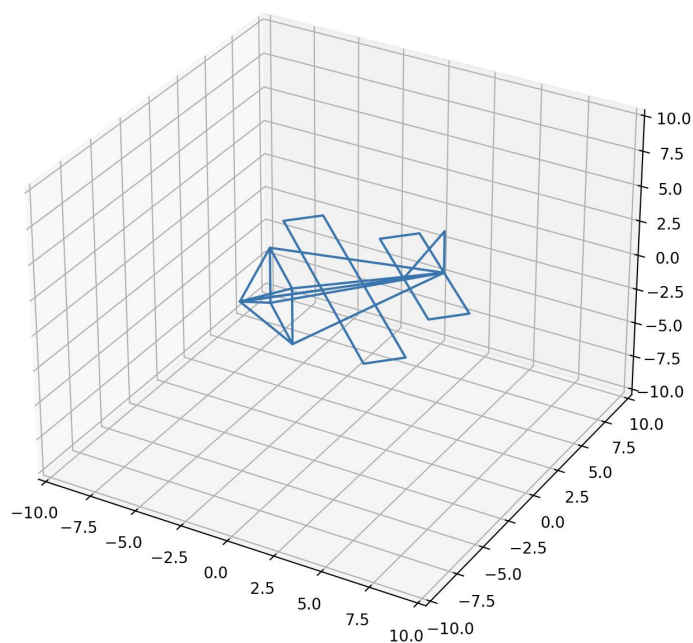


Рис. 10 - Выполнение рыскания влево

Матрица перехода для крена отвечает за поперечные наклоны летательного аппарата. Она учитывает угол крена и позволяет осуществлять боковое перемещение. Такая матрица позволяет выполнять маневры вправо и влево.

Глава 3

Комбинированное применение всех трех матриц перехода позволяет реализовать полноценный контроль летательным аппаратом в пространстве. Тангаж, рыскание и крен являются важными элементами управления, и точное применение соответствующих матриц перехода позволяет достичь желаемых результатов в выполнении операций.

$$\begin{pmatrix} \dot{p}_n \\ \dot{p}_e \\ \dot{p}_d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_\theta c_\psi & s_\phi s_\theta c_\psi - c_\phi s_\psi & c_\phi s_\theta c_\psi + s_\phi s_\psi \\ c_\theta s_\psi & s_\phi s_\theta s_\psi + c_\phi c_\psi & c_\phi s_\theta s_\psi - s_\phi c_\psi \\ -s_\theta & s_\phi c_\theta & c_\phi c_\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix}$$

Таким образом, применение различных матриц перехода является необходимым условием для успешного выполнения операций тангажа, рыскания и крена. Это позволяет летательным аппаратам эффективно маневрировать и контролировать свое положение в пространстве.

$$\begin{pmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{w} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} rv - qw \\ pw - ru \\ qu - pv \end{pmatrix} + \frac{1}{m} \begin{pmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{pmatrix}$$

Я реализовал возможность полета и управления беспилотника с помощью инструмента ввода данных “Клавиатура”. Моделирование полета является важной частью в разработке БЛА. Полет реализован по формулам:

$$\begin{pmatrix} \dot{p}_n \\ \dot{p}_e \\ \dot{p}_d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_\theta c_\psi & s_\phi s_\theta c_\psi - c_\phi s_\psi & c_\phi s_\theta c_\psi + s_\phi s_\psi \\ c_\theta s_\psi & s_\phi s_\theta s_\psi + c_\phi c_\psi & c_\phi s_\theta s_\psi - s_\phi c_\psi \\ -s_\theta & s_\phi c_\theta & c_\phi c_\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix}$$
$$\begin{pmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \sin \phi \tan \theta & \cos \phi \tan \theta \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi \sec \theta & \cos \phi \sec \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p \\ q \\ r \end{pmatrix}$$

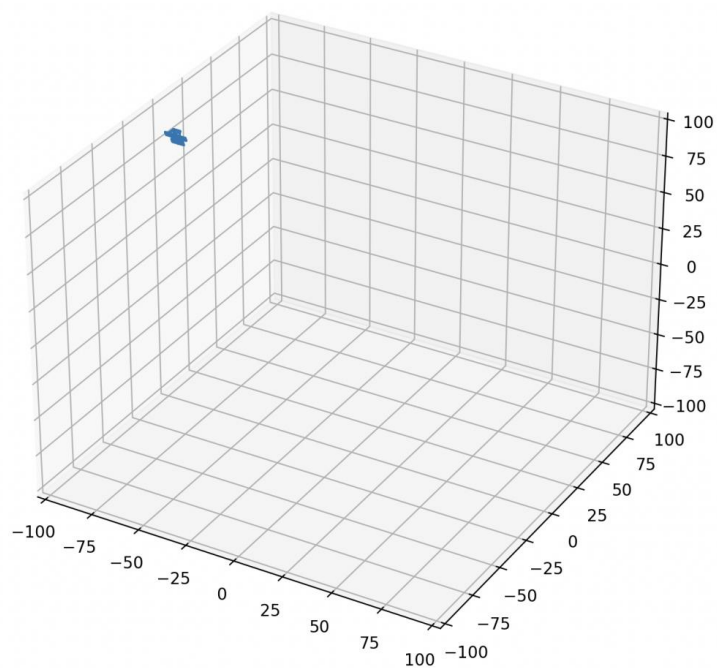


Рис. 10 - Пример полета БЛА

Алгоритм измеряет угол поворота БЛА и на основе него определяет направление полета и соответственно скорости определяет полет и направляет самолет.

Глава 4

Крыло самолета - это одна из основных частей, обеспечивающих его подъемную силу и устойчивость в полете. Крыло имеет аэродинамическую форму, способствующую созданию подъемной силы и уменьшению аэродинамического сопротивления.

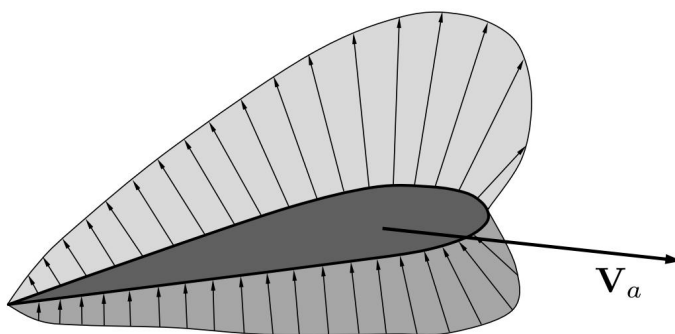


Рис. 11 - форма крыла

Для достижения наилучшей аэродинамической производительности крыла имеет набор элементов, включая различные профили, закругления и закрепления. Важным фактором является также угол атаки - угол между направлением потока воздуха и горизонтальной плоскостью. Изменение угла атаки изменяет подъемную силу и сопротивление крыла, что позволяет контролировать полет и маневрирование самолета.

$$F_{\text{lift}} = \frac{1}{2} \rho V_a^2 S C_L$$
$$F_{\text{drag}} = \frac{1}{2} \rho V_a^2 S C_D$$
$$m = \frac{1}{2} \rho V_a^2 S c C_m$$

$$\begin{pmatrix} f_x \\ f_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -F_{\text{drag}} \\ -F_{\text{lift}} \end{pmatrix}$$

Также крыло может иметь дополнительные элементы, такие как закрылки и хлопушки, которые используются для изменения формы крыла во время взлета и посадки, а также для обеспечения дополнительной подъемной силы и устойчивости на низких скоростях.

Кроме того, современные технологии позволяют создавать крылья с учетом особенностей аэродинамики. Например, некоторые крылья имеют закругленные концы, называемые winglets, которые помогают снизить

вихревое сопротивление и повысить аэродинамическую эффективность самолета.

$$F_{\text{lift}} = \frac{1}{2} \rho V_a^2 S \left[C_{L_0} + C_{L_\alpha} \alpha + C_{L_q} \frac{c}{2V_a} q + C_{L_{\delta_e}} \delta_e \right]$$

$$F_{\text{drag}} = \frac{1}{2} \rho V_a^2 S \left[C_{D_0} + C_{D_\alpha} \alpha + C_{D_q} \frac{c}{2V_a} q + C_{D_{\delta_e}} \delta_e \right]$$

$$m = \frac{1}{2} \rho V_a^2 S c \left[C_{m_0} + C_{m_\alpha} \alpha + C_{m_q} \frac{c}{2V_a} q + C_{m_{\delta_e}} \delta_e \right]$$

В целом, аэродинамика крыла самолета - это сложная и важная область, которая играет решающую роль в обеспечении безопасного и эффективного полета. Разработка и улучшение аэродинамических характеристик крыла является постоянным направлением исследований и инженерных разработок в авиационной отрасли.

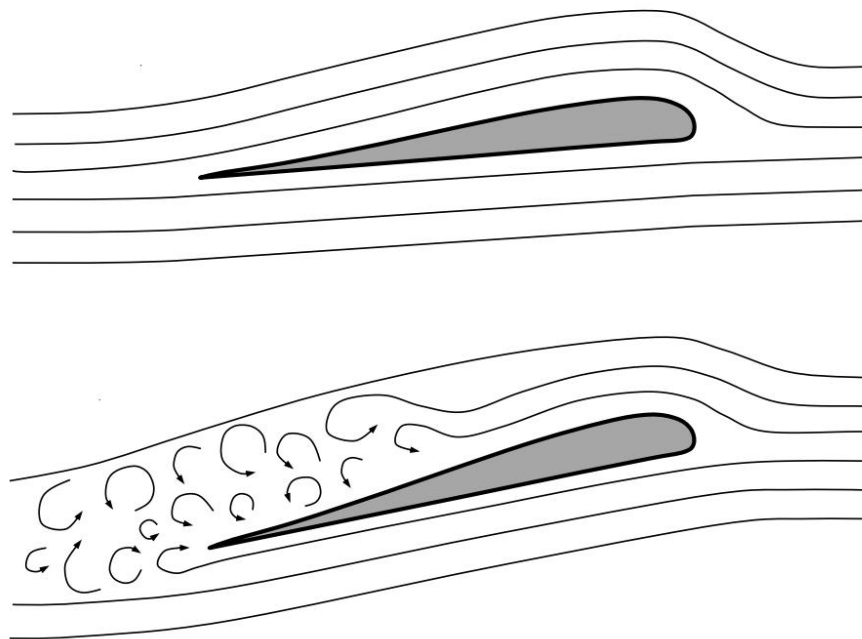


Рис. 12 - Аэродинамика крыла

Вывод

В процессе работы по проектированию малых беспилотных летательных аппаратов были рассмотрены различные аспекты, связанные с их созданием и функциональностью.

Проектирование малых беспилотных летательных аппаратов является сложным и многогранным процессом, требующим учета множества технических, эргономических и безопасностных аспектов. Важными шагами в процессе разработки являются: определение требований и спецификаций, выбор подходящих материалов и компонентов, разработка структуры и систем управления, а также тестирование и оптимизация работы.

Малые беспилотные летательные аппараты находят применение в различных областях, включая гражданскую авиацию, медицину, агрокультуру, разведку и мониторинг, а также развлекательную и коммерческую сферы. Они позволяют выполнять задачи, которые ранее могли быть выполнены только с помощью пилотируемых летательных аппаратов или человеческого труда.

Проектирование малых беспилотных летательных аппаратов также открывает новые возможности в исследованиях и разработках в области автономных систем и искусственного интеллекта. Важно учитывать приватность и безопасность данных, а также следовать соответствующим правилам и законодательству, связанным с использованием таких аппаратов.

Однако проектирование малых беспилотных летательных аппаратов также сталкивается с различными вызовами, такими, как ограниченная энергетическая емкость, ограниченная грузоподъемность, потенциальные проблемы со стабильностью и управлением, а также вопросы безопасности воздушного пространства.

В целом, проектирование малых беспилотных летательных аппаратов является важной и перспективной областью, которая имеет широкий спектр применения и может существенно оптимизировать и упростить выполнение различных задач. Однако необходимо учитывать все аспекты и требования, связанные с их разработкой и использованием, чтобы обеспечить безопасность и эффективность их работы.

По результату работы были изучены различные устройства малых беспилотных летательных аппаратов. Были повышены знания по прикладным наукам. Я приобрел знания по устройству самолета, а результатом работы стал симмулятор написанный на языке Python для имитации модели Aerosonde.