

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ БПЛА, ПОЗВОЛЯЮЩЕЙ РАСШИРИТЬ ДИАПАЗОН РАСПОЛАГАЕМЫХ НОРМАЛЬНЫХ УСКОРЕНИЙ ЗА СЧЕТ УПРАВЛЕНИЯ ПО КРЕНУ

*Богданов А.В.,*

*адъюнкт кафедры автоматики, радиолокации и приемо-передающих устройств*

*УО «ВА РБ», г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель – Мороз А.Н., канд. техн. наук, доцент*

В системе противоракетной обороны на театре военных действий, где основными целями являются тактические и оперативно-тактические баллистические ракеты, беспилотные летательные аппараты (БПЛА) средней дальности решают задачу поражения боевой нагрузки целей на нижнем рубеже перехвата – на высотах до 20...25 км и дальностях до 30...35 км.

Требование поражения боевой нагрузки цели (в отличие от установившегося критерия поражения в виде разрушения конструкции цели) является необходимым по отношению к баллистическим БПЛА, особенно оснащенным химическим или бактериологическим оружием, а также к авиационным крылатым и противокорабельным БПЛА.

Если боевая нагрузка подобных целей остается не уничтоженной при подрыве боевой части БПЛА, то она продолжает движение по баллистической траектории и падает вблизи точки прицеливания, нанося ущерб объекту атаки.

Необходимость гарантированного решения подобной задачи предъявляет чрезвычайно высокие требования к точности наведения и манёвренности БПЛА. Для уничтожения боевой нагрузки таких целей требуется обеспечить либо прямое попадание БПЛА в отсек боевой нагрузки цели (при кинетическом способе поражения, в американской терминологии hit-to-kill), либо попадание в область инициирования (или уничтожения) боевой нагрузки цели при подрыве осколочно-фугасной боевой части БПЛА [1].

Наибольшее влияние на динамику систем управления и точность наведения БПЛА на цель оказывают располагаемые нормальные ускорения  $w_p$  [2]. Располагаемыми ускорениями называются максимальные ускорения, которые БПЛА может развивать на данной высоте полета.

### **Основная часть.**

Для увеличения диапазона располагаемых ускорений БПЛА и как следствие уменьшение промаха может быть использовано управление по углу крена [2]. Требуемые ускорения рассчитываются в соответствии, с методом наведения реализованном в устройстве выдачи команд в зависимости от положения в пространстве БПЛА и цели. На рисунке 1 штриховой линией показан диапазон располагаемых ускорений БПЛА в исполнительной системе координат.

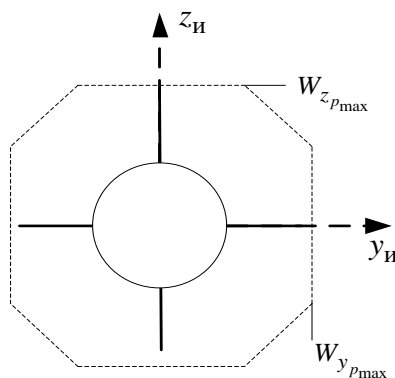


Рисунок 1 – Максимальные располагаемые ускорения БПЛА

Для пояснения принципа управления по крену рассмотрим пример, когда требуемое ускорение по оси  $Oz_{и}$  выходит за пределы располагаемых ускорений, а ускорение по оси  $Oy_{и}$  лежит в диапазоне располагаемых ускорений, что собственно и представлено на рисунке 2.

Для увеличения диапазона располагаемых ускорений необходимо повернуть БПЛА по крену на угол  $\gamma$ , при котором будет обеспечиваться выполнение следующего условия

$$W_{z_{тр}} = W_{z_{p_{max}}} \quad \text{и} \quad W_{y_{тр}} \leq W_{y_{p_{max}}}.$$

Пусть БПЛА повернут на угол  $\gamma$ , тогда проекции требуемых ускорений на новую систему координат будут иметь вид (рисунок 2).

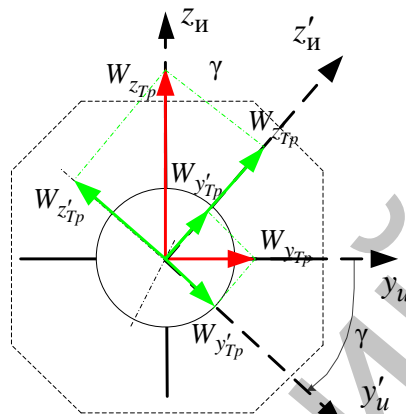


Рисунок 2 – Проекция требуемых ускорений БПЛА на оси исполнительной повернутой СК

Для нахождения проекций требуемых ускорений на оси исполнительной повернутой системы координат воспользуемся следующими выражениями, которые могут быть получены из рисунка 2.

$$W_{y'_{и}} = W_{y_{тр}} \cos(\gamma) - W_{z_{тр}} \sin(\gamma),$$

$$W_{z'_{и}} = W_{z_{тр}} \cos(\gamma) + W_{y_{тр}} \sin(\gamma).$$

Решение системы тригонометрических уравнений построим следующим образом. На первом этапе из первого уравнения системы с учётом условия  $W_{z'_{и_{max}}} = W_{z_{p_{max}}}$  найдём значение угла  $\gamma$  используя следующие выражения.

$$\gamma = \begin{pmatrix} 2 \arctan \left( \frac{W_{y_{тр}} + \sqrt{W_{y_{тр}}^2 + W_{z_{тр}}^2 - W_{z'_{и_{max}}}^2}}{W_{z_{тр}} + W_{z'_{и_{max}}}} \right) \\ 2 \arctan \left( \frac{W_{y_{тр}} - \sqrt{W_{y_{тр}}^2 + W_{z_{тр}}^2 - W_{z'_{и_{max}}}^2}}{W_{z_{тр}} + W_{z'_{и_{max}}}} \right) \end{pmatrix}.$$

На втором этапе выбирается наименьший угол, для обеспечения требуемого быстрого действия и используется в качестве входного воздействия для векторного закона управления, обеспечивающего движение БПЛА с заданными ускорениями и требуемым углом крена [3].

Для окончательного расчета и получения требуемого угла поворота проверяем выполнение условия  $W_{y'_{и}} \leq W_{y_{p_{max}}}$ .

Если данное условие выполняется, то БПЛА не превысит величину максимального ускорения, определяемого конструкционными особенностями планера.

В случае не выполнения данного условия, необходимо ограничивать  $W_{y'_{тр}} = W_{y_{P_{max}}}$ ,

что в конечном итоге негативно отразится на величине промаха.

**Заключение.** Представленный алгоритм управление БПЛА по углу крена позволяет расширить диапазон располагаемых нормальных ускорений за счет управления БПЛА в канале крена, что подтверждается математическим моделированием.

1. Болотов Е. Г. Новое поколение зенитных управляемых ракет средней дальности / Е. Г. Болотов, Б. Я. Мизрохи // Полет к 50-летию МКБ Факел. – 2003. – С. 1–14.

2. Архангельский, П.П. Проектирование зенитных управляемых ракет / И.И. Архангельский, П.П. Афанасьев [и др.] / под ред. И.С. Голубева и В.Г. Светлова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 732 с.

3. Богданов, А. В. Синтез системы стабилизации зенитной управляемой ракеты с использованием нелинейной многомерной математической модели / А. В. Богданов, А. Н. Мороз, О. В. Сидорович // Наука и военная безопасность. – 2020. № 2. – С. 27-35.

## ВЫБОР КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИОННО-УЧЕБНОГО РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА

*Бирюкова Д.В., Шидловский А.В.,*

*магистранты ВГУ имени П.М. Машерова, г. Витебск, Республика Беларусь  
Научный руководитель – Маркова Л.В., канд. физ.-мат. наук, доцент*

Результаты научно-технического прогресса с каждым днем завоевывают все больше и больше различных сфер нашей жизни. Новые технологии позволяют нам облегчить труд, а мобильные средства получать информацию за считанные секунды. Одним из результатов научно-технического прогресса являются роботы-манипуляторы. Их использование обусловлено рядом факторов, такими как, работа без перерывов и в любой среде, точность выполнения действий, высокая производительность и так далее. Роботы-манипуляторы уже давно трудятся на больших и малых предприятиях и дают существенный прирост производительности труда. С каждым днем сфера применения роботов расширяется: их можно встретить и в офисных компаниях, ресторанах. Данная категория манипуляторов называется коллаборативными роботами или сокращенно коботами и представляет отрасль коллаборативной робототехники. Так как использование коллаборативных роботов постоянно увеличивается, то требуется и подготовка человека по приобретению навыков взаимодействия с роботами такого типа.

Целью исследования является выбор кинематической схемы для разработки демонстрационно-учебного робота-манипулятора, позволяющего эффективно изучить принципы взаимодействия с коллаборативными роботами.

**Материал и методы.** Материалом для исследования послужили модели коллаборативных роботов манипуляторов, а так же известные кинематические схемы соединений в робототехнике. При проведении исследований применялись методы компьютерного моделирования.

**Результаты и их обсуждение.** Коллаборативные роботы, как правило, всегда имеют ряд датчиков для безопасного использования человеком. Использование таких роботов в зависимости от выполняемых задач требует, чтобы робот имел определенные физические характеристики. Это требование порождает необходимость применения различных кинематических схем. В основе большинства всех кинематических схем лежит 6 типов низших пар соединений сочленений: вращательное, сферическое, цилиндрическое, винтовое, призматическое и планарное. На данный момент самыми распространёнными являются кинематические схемы с использованием вращательных, цилиндрических и винтовых соединений, которые используются в кинематических схемах типа SCARA, DELTA, а так же в схемах манипуляторов антропоморфного типа [1].

Роботы типа SCARA основаны на рычажной системе, за счет вращательного привода рычагов механизма обеспечивает перемещение последнего звена в плоскости, тем самым обеспечивая цилиндрическую рабочую область. За счет такой кинематической схемы имеют высокую точность повторяемости и жесткость осей в совокупности с высокой скоростью перемещения.