

КИБЕРНЕТИКА И МЕХАТРОНИКА

УДК 681.51

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРАЕКТОРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЗАДАЧЕ ОБЛЕТА СТАТИЧНОЙ КРУГОВОЙ ЗОНЫ

Е.М. Воронов¹, А.А. Карпунин²

¹Кафедра кибернетики и мехатроники
Инженерный факультет

Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

²Кафедра систем автоматического управления
МГТУ им. Н.Э. Баумана

2-я Бауманская ул., 5, Москва, Россия, 105005

Рассматриваются вопросы, связанные с обеспечением траекторной безопасности в задаче облета статичной круговой зоны, запрещенной для движения динамического управляемого объекта на плоскости. Выявлены подзадачи, решение которых необходимо для обеспечения траекторной безопасности. Проведено формирование модели обобщенной запрещенной зоны, получено описание границы зоны безопасного отворота от запрещенной зоны, определены границы диапазона опасных направлений движения динамического управляемого объекта.

Ключевые слова: траекторная безопасность, управление, динамический управляемый объект, движение на плоскости.

В данной работе рассматривается движение динамического управляемого объекта (ДУО) с постоянной скоростью на плоскости, в качестве фазового ограничения на движение выступает статичная круговая зона.

Математическая модель движения динамического управляемого объекта

Пусть движение ДУО на плоскости описывается системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dot{\Psi} = -\frac{n_Z \cdot u}{V}, \\ \dot{x}_g = V \cdot \cos \Psi, \\ \dot{z}_g = -V \cdot \sin \Psi, \end{cases} \quad (1)$$

где $V = \text{const} > 0$ — скорость ДУО; x_g, z_g — координаты положения ДУО в нормальной земной системе координат Ox_gz_g ; Ψ — угол поворота траектории (рис. 1); n_z — максимальное значение нормальной перегрузки; $u = u(t)$ — управление, удовлетворяющее ограничению $|u| \leq 1$.

Система (1) часто используется при простейшем описании движения транспортного средства или самолета в горизонтальной плоскости.

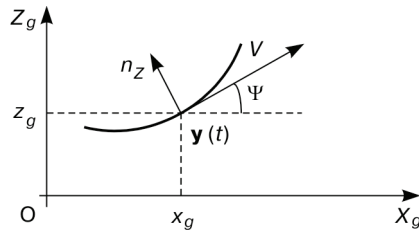


Рис. 1. Система координат движения ДУО

На рис. 1 обозначено: $\mathbf{y}(t) = (x_g, z_g)$ — вектор позиции системы (1), $\mathbf{y}(t_0) = \mathbf{y}_0$ — произвольное состояние системы (1) в момент времени t_0 .

Интегрированием системы дифференциальных уравнений (1) может быть найдено аналитическое решение при использовании следующих типов программных управлений.

1. $u(t) = \text{const} \neq 0$.

Пусть начальные условия имеют вид

$$t_0 = 0, \quad x(t_0) = z(t_0) = \Psi(t_0) = 0. \quad (2)$$

Тогда аналитическое решение системы (1) при начальных условиях (2) имеет вид

$$\begin{cases} \Psi(t) = \int_0^t -\frac{n_z u}{V} dt = -\frac{n_z u}{V} t, \\ x_g(t) = \int_0^t V \cos \Psi(t) dt = \frac{V^2}{n_z u} \sin\left(\frac{n_z u}{V} t\right), \\ z_g(t) = \int_0^t -V \sin \Psi(t) dt = \frac{V^2}{n_z u} \left(1 - \cos\left(\frac{n_z u}{V} t\right)\right). \end{cases} \quad (3)$$

Последние два уравнения в (3) соответствуют следующей системе уравнений:

$$\begin{cases} x_g(t) = R \sin(at), \\ z_g(t) = R - R \cos(at), \end{cases} \quad (4)$$

$$R = \frac{V^2}{n_z u}, \quad a = \frac{n_z u}{V}. \quad (5)$$

Угол $\alpha = a \cdot \tau$, описываемый при движении по окружности разворота в течение времени τ , далее будем называть центральным углом разворота ДУО.

2. $u(t) = \text{const} = 0$.

Пусть начальные условия имеют вид

$$t_0 = 0, \quad x(t_0) = z(t_0) = 0, \quad \Psi(t_0) = \Psi_0; \quad (6)$$

$$\begin{cases} \Psi(t) = \int_0^t -\frac{n_z u}{V} dt = \int_0^t 0 dt = \Psi_0 = \text{const}, \\ x_g(t) = \int_0^t V \cos \Psi dt = V \cdot t \cdot \cos \Psi_0, \\ z_g(t) = \int_0^t -V \sin \Psi_0 dt = -V \cdot t \cdot \sin \Psi_0. \end{cases} \quad (7)$$

Система уравнений (1) при управлении $u(t) = \text{const} = 0$ описывает прямолинейное движение с начальным углом к оси OX_g , равным Ψ_0 .

Таким образом, движение ДУО с динамикой (1) в классе кусочно-постоянных управлений представляет собой комбинацию участков прямолинейных участков и участков движения по окружности, радиус которой R определяется уравнением (5).

Постановка задач обеспечения траекторной безопасности при облете статичной круговой запрещенной зоны

Пусть запрещенная статическая круговая зона имеет вид круга с центром в точке B

$$x_B(t) = x_B(0) = \text{const}, \quad z_B(t) = z_B(0) = \text{const}.$$

Пусть граница запрещенной зоны (ЗЗ) ∂B определяется радиусом $r(t) = r(0) = \text{const}$. Движение ДУО по границе ЗЗ является безопасным. Граница ЗЗ ∂B описывается следующей системой

$$\begin{cases} X_{\partial B} = r \cos \varphi + x_B, \\ Z_{\partial B} = r \sin \varphi + z_B. \end{cases} \quad (8)$$

Пусть движение ДУО описывается динамикой (1), тогда ДУО при $|u| = 1$ может выполнить разворот по траекториям максимальной кривизны, которые представляют собой окружности радиуса R с центрами в точках O_1 и O_2 , касательные к оси, вдоль которой направлен вектор скорости ВМЛА из точки O , в которой в текущий момент времени находится ЛА.

На рис. 2 выбранная система координат OXZ получается из стартовой $O_o X_c Z_c$ путем переноса центра СК на величину z_B , соответствующую координате центра ЗЗ. Таким образом, ось OX в полученной СК будет проходить через центр ЗЗ коллинеарно вектору скорости V ДУО.

$$x_g(0) = 0, \quad \Psi(0) = 0; \quad z_B = 0.$$

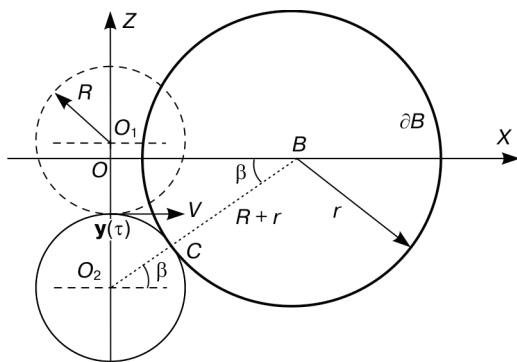


Рис. 2. Траектории предельной кривизны и запрещенная зона

Очевидно, что траектория разворота не должна пересекаться с границей ЗЗ ∂B , в предельном случае она может касаться границы. Для безопасного облета ЗЗ достаточно, чтобы хотя бы одна из окружностей разворота касалась границы ЗЗ ∂B . При облете ЗЗ при движении в направлении оси OX предельной точкой для начала отворота ДУО будет являться некоторая точка C (см. рис. 2), поворот из которой по окружности разворота с центром в точке \tilde{O}_2 позволит облететь ЗЗ. Любое другое движение приведет в итоге к попаданию в ЗЗ.

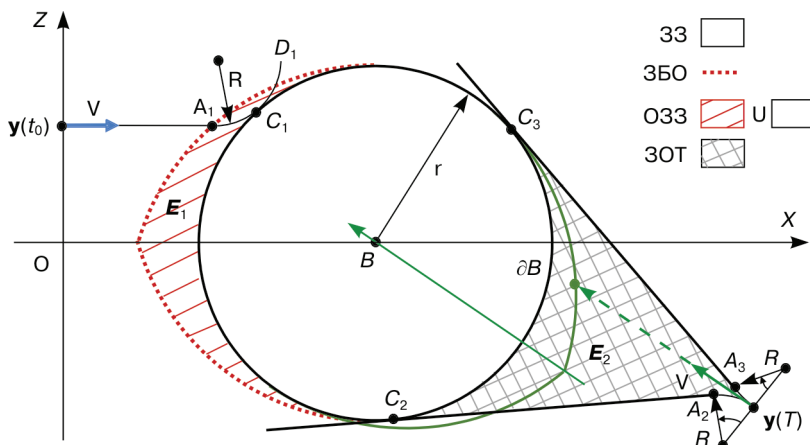


Рис. 3. Постановка задачи обеспечения траекторной безопасности

На рис. 3 приведена постановка задач, составляющих задачу обеспечения траекторной безопасности при облете статичной круговой ЗЗ:

- 1) построение модели обобщенной ЗЗ (ОЗЗ), состоящей из круговой ЗЗ и области E_1 , из которой не существует траекторий движения ДУО, позволяющих избежать попадания внутрь ЗЗ при начальном движении ДУО в направлении оси OX ;
- 2) построение зоны безопасного отворота (ЗБО), которая ограничена границей ОЗЗ, состоящей из множества предельных точек A_1 при движении ДУО в направлении оси OX , из которых возможно построение траектории предельной кривизны, имеющей одну точку касания ЗЗ C_1 ; ЗБО соответствует множеству точек пространства, в которых необходимо начинать принудительный отворот от ЗЗ, иначе попадания внутрь ЗЗ избежать не удастся;

3) определение зоны опасных траекторий (ЗОТ) и соответствующих им опасных управлений, задающих движение ДУО, приводящее к попаданию внутрь ЗЗ (на рис. 3 ЗОТ представлена в виде заштрихованной области E_2). ЗОТ ограничивается траекториями $O_2A_2C_2$ и $O_2A_3C_3$, состоящими:

- из участков разворота предельной кривизны $y(T)A_2, y(T)A_3$; данные участки траектории определяются управлением $u = -1$ или $u = 1$ и временем разворота τ_i (или соответствующим ему центральным углом разворота α_i),
- участков прямолинейного движения A_2C_2, A_3C_3 .

Определение границы зоны безопасного отворота и обобщенной запрещенной зоны

На рис. 4 показана структура ЗБО, а также граница зоны безопасного разворота (ЗБР) ∂Q , из которой возможно совершить безопасный разворот по траектории окружности предельной кривизны в произвольную сторону.

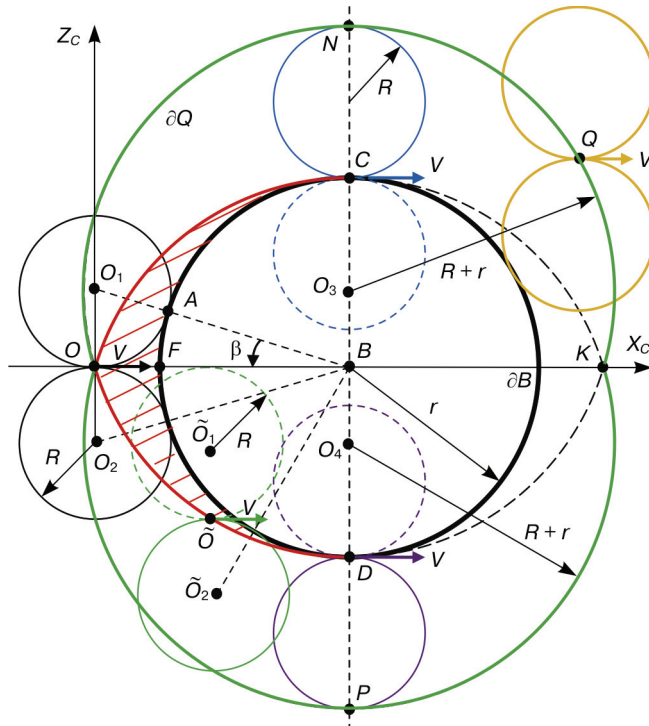


Рис. 4. Граница зоны безопасного отворота ДУО от ЗЗ

Координаты точки B : $((R+r)\cos\beta; 0)$, где угол $\beta = \angle OBO_1 = \arcsin \frac{R+r}{R}$.

Угол β будет всегда острым, поскольку радиус запрещенной зоны $r > 0$.

Центральный угол $\alpha = \angle OO_1B$ — это угол, который необходимо пройти ДУО при движении из точки O по окружности разворота максимальной кривизны для того, чтобы облететь зону. Величина этого угла составит: $\alpha = \frac{\pi}{2} - \beta$.

Координаты точки \tilde{O} : $(0; -(R+r)\sin\beta + R)$.

Геометрическое место предельных точек начала отворота \tilde{O} при $z_g(0) < 0$ является окружностью радиуса $R + r$, смещенной относительно центра зоны B на расстояние R в положительном направлении оси OZ . Координаты центра окружности: $((R+r)\cos\beta; R)$. На рис. 4 это окружность с центром в точке O_3 .

По аналогии геометрическое место предельных точек начала отворота при $z_g(0) > 0$ — окружность радиуса $R + r$, смещенную относительно центра зоны B на расстояние R в направлении, противоположном направлению оси OZ . Координаты центра окружности: $((R+r)\cos\beta; -R)$. На рис. 4 это окружность с центром в точке O_4 .

Точка O пересечения этих двух окружностей, лежащая на оси OX , будет наиболее удаленной от центра запрещенной зоны предельной точкой начала отворота. Из данной точки возможен отворот в любую сторону (траектории разворота показаны сплошными линиями, во всех остальных случаях сплошной линией изображена допустимая траектория разворота, а штрихпунктирной — траектория разворота, приводящая в 33). Точка O на рис. 4 — начало стартовой системы координат. Расстояние от точки O до центра зоны B из треугольника BOO_1

$$OB = \sqrt{(BO_1)^2 - (OO_1)^2} = \sqrt{(R+r)^2 - R^2} = \sqrt{r^2 + 2rR}. \quad (9)$$

На рис. 4 точки C и D обозначают конечные предельные точки начала отворота, в которых уже возможно движение не только по траекториям максимальной кривизны по направлению от запрещенной зоны, но и движение по прямой.

Координаты точки C : $(\sqrt{r^2 + 2rR}; r)$. Координаты точки D : $(\sqrt{r^2 + 2rR}; -r)$.

Область $OCFDO$, ограниченная дугой границы 33 радиуса r CFD и дугами OC окружности центром в точке O_4 и DO окружности с центром в точке O_3 радиусами $R + r$, является областью, при попадании в которую не существует траектории, позволяющей ДУО миновать 33, поскольку дуги OC и OD являются геометрическим местом предельных точек начала отворота. На рис. 4 данная область изображена заштрихованной.

Утверждение 1. Обобщенной запрещенной зоной (ОЗ3) является область, полученная объединением исходной 33 с центром в точке B и области $OCFDO$, попадание в которую при полете в направлении, коллинеарном оси OX , приведет в дальнейшем к попаданию в 33. Данное объединение имеет каплеобразную форму. Чем больше радиус 33, тем менее вытянутой получается «капля».

Утверждение 2. Дуги окружностей ONK и OPK ограничивают зону безопасного разворота 33 ∂Q . Из любой точки, лежащей на них или за пределами области, ограниченной данными дугами, можно совершить разворот по траекториям максимальной кривизны без попадания в 33 при совершении маневра.

На рис. 4 в качестве примера приведены траектории разворота из точки Q . Обе они являются допустимыми.

Получим описание дуг окружностей OC и OD при движении, коллинеарном оси OX для случая, когда центр зоны B лежит не на оси OX : $X_B \neq 0, Z_B \neq 0$.

Зона, запрещенная для движения объекта описывается уравнениями

$$\begin{cases} X_{\partial B} = r \cos \varphi + x_B, \\ Z_{\partial B} = r \sin \varphi + z_B. \end{cases}$$

Окружности с центрами в точках O_3 и O_4 будут описываться уравнениями (для O_3 взять знак «плюс», для O_4 — знак «минус»).

$$\begin{cases} X_{3,4} = (R+r) \cos \varphi + x_B \\ Z_{3,4} = (R+r) \sin \varphi + z_B \pm R, \end{cases} \quad \varphi = \overline{0, 2\pi}. \quad (10)$$

Для построения дуги окружности O_3 , являющейся геометрическим местом предельных точек начала отворота ЗБО, в последней формуле необходимо ограничить угол $\varphi \in \left[-\pi + \arcsin \frac{R}{R+r}, -\frac{\pi}{2} \right]$. Для построения дуги окружности O_4 — угол $\varphi \in \left[\frac{\pi}{2}, \pi - \arcsin \frac{R}{R+r} \right]$.

Таким образом, рассмотрен вопрос построения границы допустимой для пролета области при полете в направлении, коллинеарном направлению оси OX .

Для построения границы допустимой для пролета области независимо от направления полета воспользуемся соотношениями поворота точки вокруг центра запрещенной зоны B на угол Ψ , являющийся углом поворота траектории управляемого объекта, описываемого динамикой (1)

$$\begin{cases} X' = x_B + (X - x_B) \cos \Psi - (Z - z_B) \sin \Psi, \\ Z' = z_B + (X - x_B) \sin \Psi + (Z - z_B) \cos \Psi. \\ \begin{cases} X'_{3,4} = x_B + (R+r) \cos(\varphi + \Psi) \mp R \sin \Psi, \\ Z'_{3,4} = z_B + (R+r) \sin(\varphi + \Psi) \pm R \cos \Psi. \end{cases} \end{cases} \quad (11)$$

Данные соотношения описывают дуги окружностей O_3 и O_4 соответственно порядку знаков в формуле при R .

На рис. 5 приведен пример трехмерного представления ОЗЗ в пространстве (X, Z, Ψ) . Фиксируя угол Ψ , т.е. задавая сечение плоскостью, параллельной плоскости XOZ , получаем ОЗЗ $\partial B \cup OCFDO$.

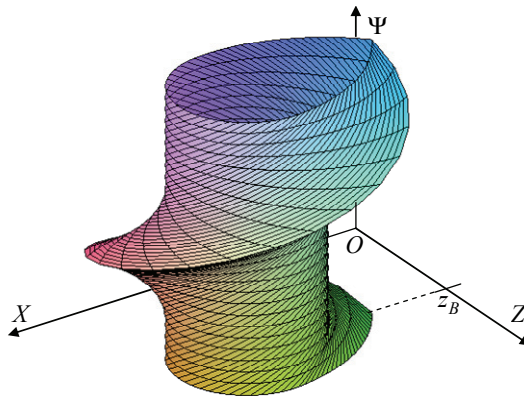


Рис. 5. ОЗЗ для ДУО в пространстве (X, Z, ψ)

Таким образом, разработана методика оценки параметризованной ЗБО в трехмерном множестве состояния ВМЛА (X, Z, Ψ) . Внутренняя граница ЗБО определяется мгновенной скоростью V ВМЛА, кривизной траектории с радиусом R и радиусом r ЗЗ.

Определение диапазона опасных траекторий движения ВМЛА

При определении направлений движения, опасных с точки зрения возможности попадания в ЗЗ, возможны следующие два варианта.

1. Радиус запрещенной зоны $r = 0$, тогда ЗЗ вырождается в запрещенную точку B . Необходимо определить центральный угол α , на который должен развернуться ВМЛА для того, чтобы вектор его скорости был ориентирован на эту точку.

Траектория движения ДУО будет состоять из двух участков: участка разворота по траектории максимальной кривизны до направления на точку B и прямолинейного участка движения. На рис. 6 представлена иллюстрация данной задачи. Траектория движения состоит из отрезка дуги OA траектории разворота максимальной кривизны, представляющей собой окружность радиуса R с центром в точке O_1 и прямолинейного участка движения AB , являющегося отрезком касательной к данной окружности, проходящей через точку B .

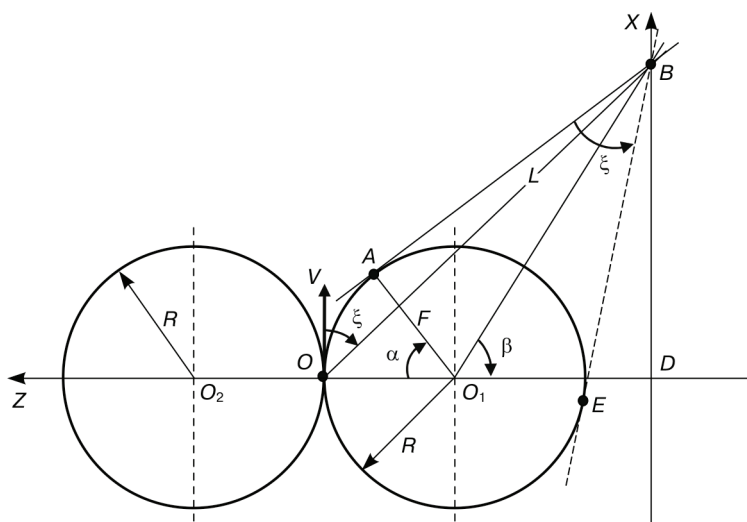


Рис. 6. Построение траектории движения ВМЛА

Вводятся следующие обозначения:

$\xi = \angle VOB$ — угол пеленга на точку B ;

$\alpha = \angle OO_1A$ — центральный угол разворота;

$\beta = \angle BO_1D$ — угол направления на точку B из центра O_1 окружности разворота;

L — расстояние от точки O до точки B .

Для одной окружности можно провести две различные касательные, проходящие через заданную точку вне окружности. На рис. 6 это прямые AB и BE . Однако только касательная AB удовлетворяет направлению обхода траектории разворота максимальной кривизны — окружности радиуса R с центром в точке O_1 , поэтому касательная BE не рассматривается (на рис. 6 показана пунктиром).

Из рис. 6 величины углов соответственно равны

$$\beta = \arccos \frac{\|O_1 D\|}{\|O_1 B\|} = \arccos \frac{L \sin \xi - R}{\sqrt{L^2 - 2R \cdot L \sin \xi + R^2}}; \quad (12)$$

$$\alpha = \pi - \arccos \frac{L \sin \xi - R}{\sqrt{L^2 - 2R \cdot L \sin \xi + R^2}} - \arccos \frac{R}{\sqrt{L^2 - 2R \cdot L \sin \xi + R^2}}. \quad (13)$$

Утверждение 3. Центральный угол разворота до направления на произвольную запрещенную точку B определяется выражением (13).

2. Случай статичной круговой ЗЗ ненулевого радиуса $r > 0$.

Между двумя окружностями можно провести четыре различные касательные. Обозначим их через l_1, \dots, l_4 в направлении обхода по окружности. Лишь две из них будут удовлетворять направлению поворота ДУО по траектории предельной кривизны радиуса R . Касательные l_1 и l_2 удовлетворяют направлению движения по траектории разворота (окружность с центром в точке O_1), а касательные l_3 и l_4 являются в данном случае траекториями, приводящими ДУО на круговую траекторию с центром в точке O_1 , а не уводящими с нее, таким образом, их можно не рассматривать (рис. 7).

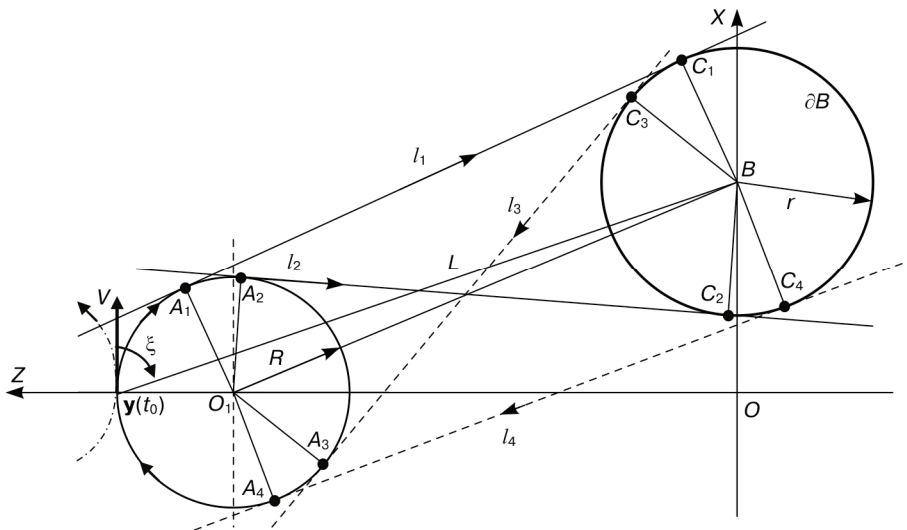


Рис. 7. Касательные между траекторией предельной кривизны ДУО и ЗЗ

Итак, имеются две касательные, проходящие через окружность траектории разворота максимальной кривизны. Точки касания этой окружности A_1 и A_2 будут задавать центральные углы α_1 и α_2 , на которые должен повернуть ВМЛА,

чтобы вектор его скорости был ориентирован в направлении точек C_1 и C_2 соответственно. Данные два угла будут определять диапазон опасных направлений $\alpha_{on} \in (\alpha_1, \alpha_2)$.

Рассматривается движение ДУО в стартовой системе координат OX_cZ_c .

На рис. 8 введены следующие обозначения: $\alpha_1 = \angle OO_1A_1$, $\alpha_2 = \angle OO_1A_2$, $\alpha = \angle OO_1A$, $\beta = \angle BO_1D$.

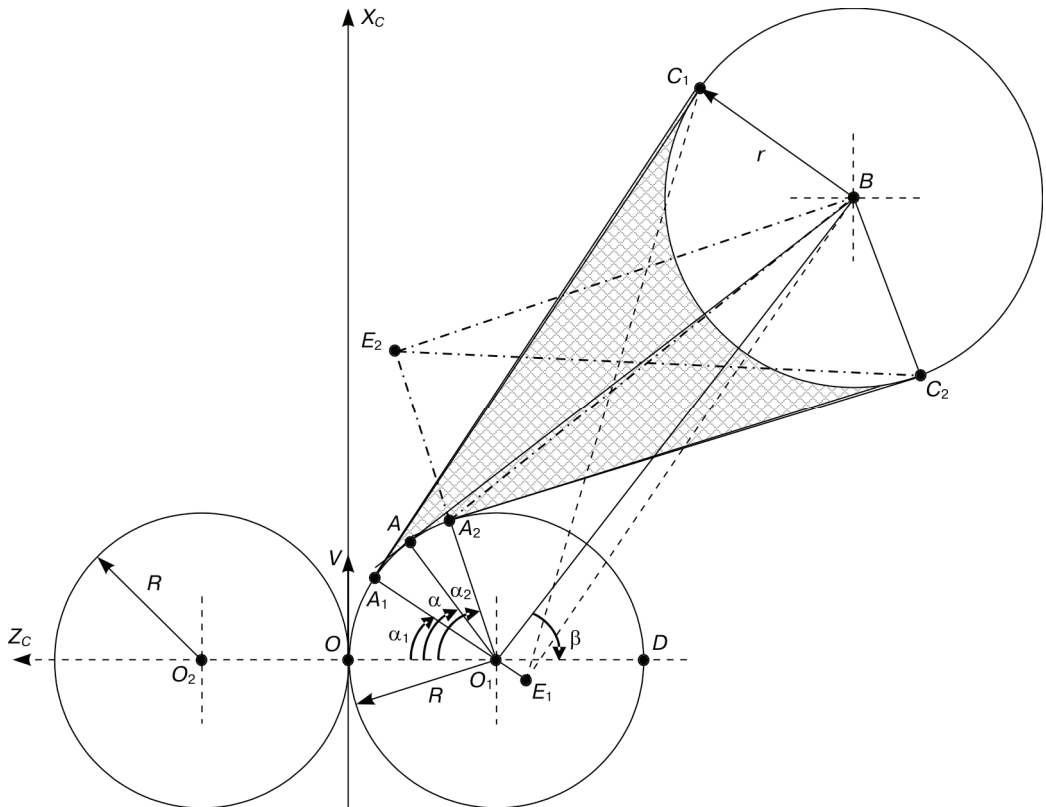


Рис. 8. Построение граничных углов диапазона опасных направлений

Искомый угол $\alpha_2 = \pi - \beta - \angle BO_1E_2$ может быть найден из следующего выражения

$$\alpha_2 = \pi - \arccos \frac{L \sin \xi - R}{\sqrt{L^2 - 2R \cdot L \sin \xi + R^2}} - \arccos \frac{R + r}{\sqrt{L^2 - 2R \cdot L \sin \xi + R^2}}. \quad (14)$$

Длина $\|A_2C_2\| = \|BE_2\|$ из треугольника BO_1E_2

$$l_2 = \|A_2C_2\| = \|BE_2\| = \sqrt{L^2 - r^2 - 2R \cdot (L \sin \xi + r)}. \quad (15)$$

Координаты точки A_2

$$A_2 : (R \sin \alpha_2, -R + R \cos \alpha_2). \quad (16)$$

Координаты точки C_2

$$C_2 : \begin{pmatrix} R \sin \alpha_2 + \sqrt{L^2 - r^2 - 2R \cdot (L \sin \xi + r) \cdot \cos \alpha_2} \\ -R + R \sin \alpha_2 - \sqrt{L^2 - r^2 - 2R \cdot (L \sin \xi + r) \cdot \sin \alpha_2} \end{pmatrix}^T. \quad (17)$$

Далее необходимо определить угол α_1 .

Можно выделить три варианта расположения точки E_1 как следствия соотношения радиуса окружности разворота максимальной кривизны R и радиуса запрещенной зоны r

$$\|A_1 E_1\| = \|BC_1\| = r.$$

1. $R < r$ (рис. 8). Точка E_1 лежит вне пределов отрезка $O_1 A_1$.

В этом случае искомый угол α_1 можно определить из выражения

$$\alpha_1 = \arccos \frac{r - R}{\sqrt{L^2 - 2R \cdot L \sin \xi + R^2}} - \arccos \frac{L \sin \xi - R}{\sqrt{L^2 - 2R \cdot L \sin \xi + R^2}}. \quad (18)$$

2. $r = R$. В этом случае для расчета угла α_1 можно воспользоваться формулой (13), полученной для случая запрещенной точки, считая запрещенной точку C_1

$$\alpha_1 = \pi - \arccos \frac{L \sin \xi - R}{\sqrt{L^2 - 2R \cdot L \sin \xi + R^2}} - \arccos \frac{R}{\sqrt{L^2 - 2R \cdot L \sin \xi + R^2}}. \quad (19)$$

Данный случай представлен на рис. 9.

3. $R > r$. В этом случае точка E_1 будет принадлежать отрезку $O_1 A_1$ (рис. 10).

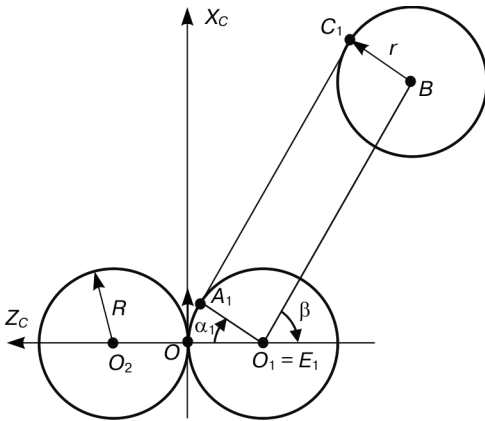


Рис. 9. Угол α_1 ($R = r$)

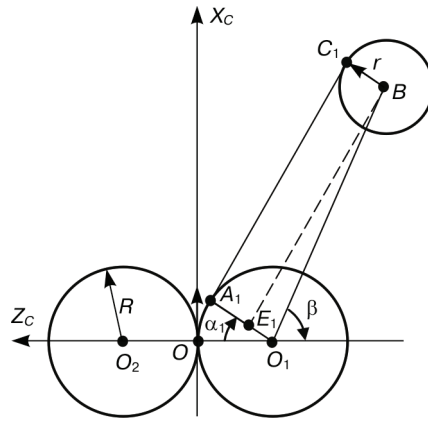


Рис. 10. Угол α_1 ($R > r$)

Тогда искомый угол $\alpha_1 = \pi - \angle A_1 O_1 B - \beta$ может быть найден из уравнения

$$\alpha_1 = \pi - \arccos \frac{R - r}{\sqrt{L^2 - 2R \cdot L \sin \xi + R^2}} - \arccos \frac{L \sin \xi - R}{\sqrt{L^2 - 2R \cdot L \sin \xi + R^2}}. \quad (20)$$

Утверждение 4. ЗОТ для ЗЗ радиуса r определяется двумя общими касательными ЗЗ и окружности радиуса R — траектории разворота ВМЛА максимальной кривизны с центральными углами разворота α_1 и α_2 , где угол α_2 определяется выражением (14), а угол α_1 для $R < r$ выражением (18), для $R = r$ — выражением (19), а для $R > r$ — выражением (20).

$$l_1 = \|A_1 C_1\| = \|BE_1\| = \sqrt{L^2 - r^2 - 2R \cdot (L \sin \xi - r)}.$$

Координаты точки A_1 :

$$A_1 : (R \sin \alpha_1, -R + R \cos \alpha_1). \quad (21)$$

Координаты точки C_1 :

$$C_1 : \begin{pmatrix} R \sin \alpha_2 + \sqrt{L^2 - r^2 - 2R \cdot (L \sin \xi - r)} \cdot \cos \alpha_2, \\ -R + R \sin \alpha_2 - \sqrt{L^2 - r^2 - 2R \cdot (L \sin \xi - r)} \cdot \sin \alpha_2 \end{pmatrix}^T. \quad (22)$$

Если угол разворота на необходимое направление полета ВМЛА принадлежит диапазону опасных углов $\alpha_{\text{он}} \in (\alpha_1, \alpha_2)$, то следует выполнить построение границы ЗЗ ∂B для того, чтобы вычислить предельное время движения в выбранном направлении до начала выполнения отворота от запрещенной зоны.

Таким образом, в работе исследованы вопросы обеспечения траекторной безопасности в задаче облета статичной круговой зоны, запрещенной для движения динамического управляемого объекта на плоскости. В качестве составных частей задачи обеспечения траекторной безопасности выявлены следующие подзадачи: формирование обобщенной запрещенной зоны и получение ее математического описания, определение границы зоны безопасного отворота от статичной круговой ЗЗ, получение границы зоны безопасного разворота при движении ДУО, определение опасных направлений движения ДУО в виде зоны опасных траекторий. Все перечисленные задачи были успешно решены. Получен ряд утверждений, позволяющих решать задачу обеспечения траекторной безопасности при наличии фазового ограничения в виде круга на плоскости.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Воронов Е.М., Карпунин А.А. Алгоритм оценки границ области достижимости летательного аппарата с учетом тяги // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Приборостроение. — 2007. — № 4. — С. 81—99.
- [2] Воронов Е.М., Карпунин А.А., Рыбин И.Б. Алгоритмическое обеспечение траекторной безопасности ЛА // Актуальные проблемы российской космонавтики: Труды XXXII академических чтений по космонавтике. — М., 2008. — С. 426.

TRAJECTORY ACCIDENT PREVENTION IN PROBLEM OF FLY-AROUND OF STATIC CIRCULAR FORBIDDEN ZONE

E.M. Voronov¹, A.A. Karpunin²

¹Department of Cybernetics and Mechatronics
Engineering Faculty
Peoples' Friendship University of Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

²Department of Automatic Control Systems
Moscow State Technical University
2-nd Baumanskaya str., 5, Moscow, Russia, 105005

Trajectory accident prevention in a problem of fly-around of static circular zone forbidden for planar motion of a dynamic controlled system is considered. Subproblems which are necessary to solve for trajectory accident prevention are developed. Generation of generalized forbidden zone model is realized, description of boundary zone of safe turn-away from forbidden zone is obtained, range limits of dangerous motion directions of the dynamic controlled system are developed.

Key words: trajectory safety, control, dynamic controlled system, planar motion.