

МИНИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ НАХОЖДЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ТЕЛА В ЗОНЕ ОПАСНОСТИ

О.Л. Арапов¹, Ю.С. Зуев²

Предлагается способ формирования траектории движения неуправляемого летательного аппарата для уменьшения времени нахождения в опасных зонах. Задача рассматривается в детерминированной постановке при известных характеристиках зоны опасности. Решение задачи сводится к определению начальных условий движения летательного аппарата, которые обеспечивают повышение вероятности преодоления зоны опасности. Представлены результаты численного эксперимента по исследованию ряда типовых траекторий.

Ключевые слова: аэродинамическое тело; угол наклона траектории; зона опасности.

Постановка задачи

Одной из известных мер по увеличению вероятности преодоления летательным аппаратом (ЛА) опасных зон (пожары, сложные погодные условия и др.) является пространственное маневрирование ЛА.

Однако данный подход неприменим для ЛА, не имеющего двигателя и органов управления, в этом случае требуется реализация иных мер по увеличению вероятности преодоления опасных зон. Условно назовём подобный ЛА аэродинамическим телом (АДТ).

Для увеличения вероятности преодоления АДТ зоны опасности предлагается минимизировать время нахождения АДТ в этой зоне за счёт формирования соответствующей траектории полёта АДТ. Формирование траектории возможно путём изменения начальных условий движения неуправляемого АДТ. К начальным условиям, которые определяют параметры траектории, относятся скорость АДТ v_0 и его угол наклона траектории Θ_0 в точке начала движения [1].

Изменение начальной скорости АДТ v_0 на практике является более сложной задачей по сравнению с изменением его начального угла наклона траектории Θ_0 . В статье рассматривается влияние угла Θ_0 на время нахождения АДТ в зоне опасности при одинаковом значении скорости v_0 .

Для оценки результатов преодоления зоны опасности в качестве показателя принимается время нахождения АДТ в этой зоне. Время нахождения внутри зоны опасности Ω_{OP} определяется с момента её пересечения траекторией движения АДТ:

$$t_{OP} \in \Omega_{OP} \text{ при } D_{ADT} < H_{OP}, \quad (1)$$

где t_{OP} – время нахождения внутри зоны опасности; Ω_{OP} – зона опасности; D_{ADT} – высота полёта АДТ над земной поверхностью; H_{OP} – максимальная высота зоны опасности.

Расчёты полёта АДТ проводятся при следующих положениях и допущениях:

- движение АДТ рассматривается в нормальной земной (стартовой) системе координат, которая полагается инерциальной.
- параметры атмосферы стандартные [2], ветер отсутствует;
- вращение Земли и ее кривизна поверхности не учитываются;
- АДТ движется как материальная точка;
- баллистический коэффициент рассматривается в диапазоне $9,4 \cdot 10^{-5} \dots 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{кг}$.

¹ Арапов Олег Леонидович – аспирант, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (СФТИ НИЯУ МИФИ) г. Снежинск.

E-mail: aol_snz@mail.ru

² Зуев Юрий Семёнович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий кафедрой технической механики, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (СФТИ НИЯУ МИФИ), г. Снежинск.

Влияние угла Θ_0 на характер траекторий полёта АДТ показано на рис. 1. На нём представлены зависимости высоты $D_{\text{АДТ}}$ от времени полёта АДТ при различных начальных углах наклона траектории ($\Theta_0 = 0^\circ, 30^\circ, 50^\circ, 70^\circ$). Начальная скорость для всех расчётных траекторий приня-

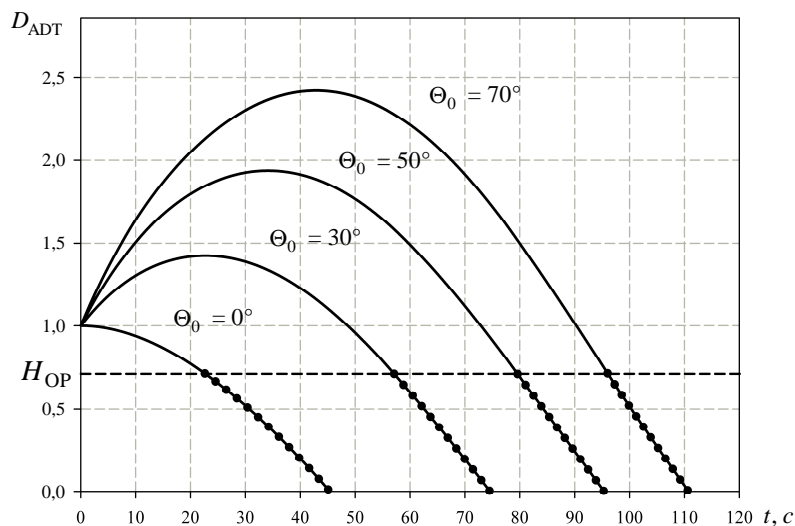


Рис. 1. Зависимости высоты полёта $D_{\text{АДТ}}$ от времени полёта АДТ t, c

та одинаковой. Пунктирной линией обозначена максимальная высота зоны опасности $H_{\text{ОР}}$.

Круглые маркеры чёрного цвета определяют время пребывания АДТ внутри зоны опасности $\Omega_{\text{ОР}}$.

На рис. 2 представлены зависимости времени нахождения внутри зоны опасности $t_{\text{ОР}}$ от начального угла наклона траектории Θ_0 для трёх значений коэффициента ($k = 0,7, 0,8, 0,9$). На дан-

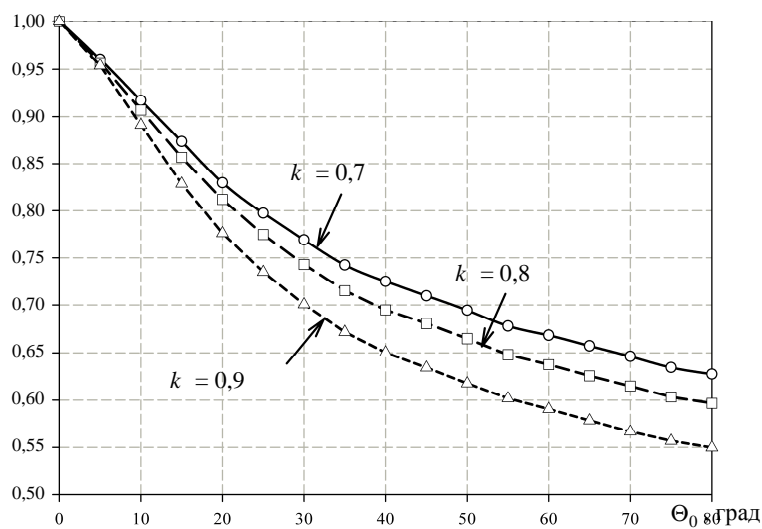


Рис. 2. Изменение времени нахождения внутри зоны опасности $t_{\text{ОР}}$ от начального угла наклона траектории Θ_0 и коэффициента k

ном рисунке коэффициентом k , $k = H_{\text{ОР}}/H_0$ обозначено отношение максимальной высоты зоны опасности $H_{\text{ОР}}$ к начальной высоте полёта АДТ H_0 . Время нахождения внутри зоны опасности $t_{\text{ОР}}$ при угле наклона траектории $\Theta_0 = 0^\circ$ принято за относительную единицу.

Из рис. 2 видно, что увеличение угла наклона траектории Θ_0 для рассмотренных траекторий приводит к уменьшению времени нахождения внутри зоны опасности $t_{\text{ОР}}$ (на 35 % от начального

значения при угле $\Theta_0 = 65^\circ$ при $k = 0,7$). С увеличением коэффициента k тенденция уменьшения времени нахождения внутри зоны опасности при увеличении угла наклона траектории также сохраняется.

С изменением угла Θ_0 изменяется и дальность полёта L_{ADT} . Зависимость дальности полёта L_{ADT} от начального угла наклона траектории Θ_0 представлена на рис. 3. Дальность полёта L_{ADT} при угле наклона траектории $\Theta_0 = 0^\circ$ принята за относительную единицу.

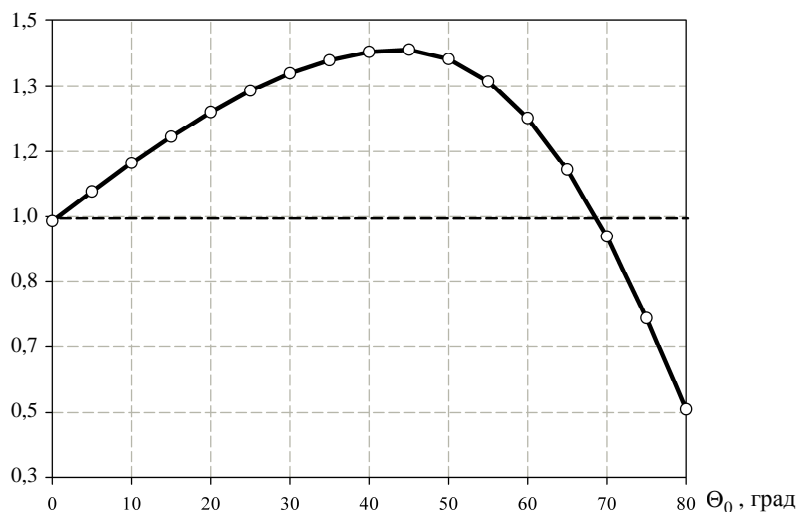


Рис. 3. Влияние начального угла наклона траектории Θ_0 на дальность полёта L_{ADT}

Из рис. 3 подтверждается аксиома о том, что одному и тому же значению дальности полёта L_{ADT} соответствуют два значения угла Θ_0 (до и после 45°). При этом большему углу Θ_0 соответствует меньшее время пребывания в зоне опасности.

При решении задачи попадания АДТ с неизменной начальной скоростью движения в заданную точку пространства с минимальным временем нахождения внутри зоны опасности возможны следующие варианты:

- 1) Изменение расстояния (в вертикальной и/или горизонтальной плоскости) между АДТ и заданной точкой пространства;
- 2) Увеличение начального угла Θ_0 (более 45°), который бы обеспечивал попадание АДТ в заданную точку пространства;
- 3) Сочетание вариантов 1 и 2.

Принятие мер по минимизации времени нахождения внутри зоны опасности всецело зависит от различного рода ограничений в каждой конкретной ситуации. Однако одно только увеличение начального угла Θ_0 обеспечивает уменьшение времени t_{OP} (на 35–40 %) при одинаковой дальности полёта АДТ.

Выводы

Принятая методика формирования траектории движения аэродинамического тела, а также способ её осуществления показывают принципиальную возможность минимизации времени нахождения в опасной зоне. Метод позволяет уменьшить время нахождения аэродинамического тела в зоне на 35–40 % и существенно повысить вероятность преодоления зоны опасности.

Литература

1. Дмитриевский, А.А. Внешняя баллистика / А.А. Дмитриевский. – М.: Машиностроение, 1972. – 584 с.
2. ГОСТ 4401-81 «Атмосфера стандартная. Параметры». – М.: ИПК Издательство стандартов, 1981.

Поступила в редакцию 20 ноября 2013 г.

MINIMIZATION OF THE FLYING TIME OF THE AERODYNAMIC BODY IN A DANGER ZONE

O.L. Arapov¹, Yu.S. Zuyev²

A method of creating an uncontrolled mechanical trajectory of an aircraft with the aim to reduce the flying time in a danger zone is offered. The problem is considered in the deterministic setting with known characteristics of a danger zone.

One of the known measures to increase the probability of overcoming a danger zone (fire, severe weather conditions, etc.) is the aircraft's spatial maneuvering.

However, this approach is not applicable for devices that do not have the motor and controls. In this case implementation of other measures to increase the probability of overcoming danger zones is required. Such a device can be conventionally called an aerodynamic body (AB).

To increase the probability of overcoming a danger zone, it is offered to minimize the flying time of the aerodynamic body in this zone by forming the corresponding AB trajectory. The trajectory can be formed by changing initial conditions of AB motion. Initial conditions that determine trajectory parameters include AB speed and the slope of the flight path at the start point of movement.

The solution of the problem is reduced to the determination of initial conditions of the aircraft motion, which provide an increase of probability of overcoming a danger zone. The paper presents the results of a numerical experiment in studying a number of typical trajectories.

Keywords: aerodynamic body; slope of the flight path; danger zone.

References

1. Dmitrievskiy A.A. *Vneshnyaya ballistika* (External ballistics). Moscow, Mashinostroenie Publ., 1972. 584 c. (in Russ.).
2. GOST 4401-81 *Atmosfera standartnaya. Parametry* (GOST 4401-81 Standard atmosphere. Parameters). Moscow, IPK Izdatel'stvo standartov Publ., 1981. (In Russ.).

Received 20 November 2013

¹ Arapov Oleg Leonidovich is Post-graduate Student, National Nuclear Research University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Snezhinsk.

E-mail: aol_snz@mail.ru

² Zuyev Yuriy Semyonovich is Cand. Sc. (Engineering), Senior Staff Scientist, Chief of the Engineering Mechanics Department, National Nuclear Research University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Snezhinsk.