

УДК 629.7.077.4(045)

О. А. Сущенко, канд. техн. наук, проф.,
Н. Ф. Тупицин, канд. техн. наук,
О. И. Хлопов, студ.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВНЕШНЕГО ОБЛИКА И ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА БПЛА ПРИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ СПОСОБЕ ПОСАДКИ

Институт аэрокосмических систем управления НАУ, e-mail: iesy@nau.edu.ua

Рассмотрены характеристики внешнего облика и траектории полета при газодинамическом безаэродромном способе его посадки. Определены требования к аэродинамической компоновке и траектории захода беспилотного летательного аппарата на посадку.

Ключевые слова: газодинамический безаэродромный способ посадки, аэродинамическая схема, система управления, траектория посадки.

Вступление и анализ проблемы. Как известно [1], наиболее распространены следующие способы безаэродромной посадки беспилотного летательного аппарата (БПЛА):

- в сеть;
- с помощью парашюта;
- на трос, натянутый поперек траектории летательного аппарата (ЛА).

Новый газодинамический безаэродромный способ посадки (ГБСП) [2] обладает определенными преимуществами перед способами посадки приведенными выше, в частности, устройство, реализующее ГБСП, может быть размещено на мобильной посадочной платформе 1, как это показано на рис. 1, и доставлено в заданный район действия БПЛА 6, а также реализовано для взлета БПЛА 6. Вместе с этим реализация ГБСП для конкретного БПЛА накладывает определенные требования на его облик, габариты и систему управления.

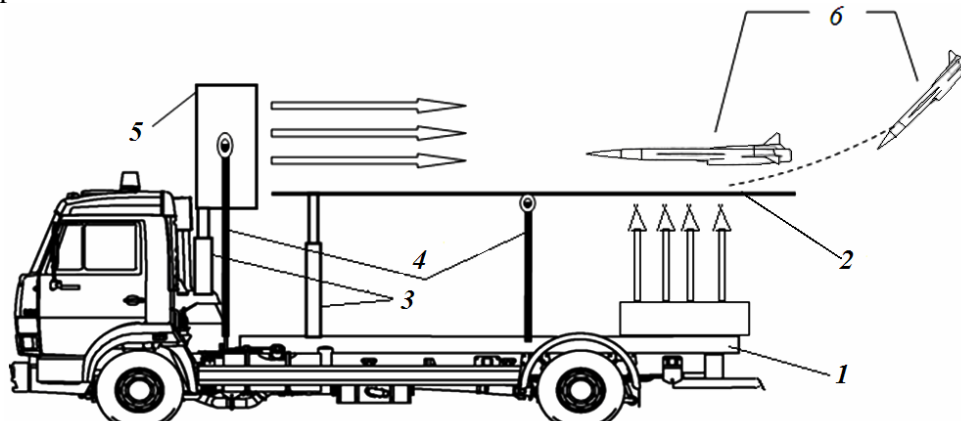


Рис. 1

Постановка задачи. Определить и обосновать требования к внешнему облику, габаритам и кинематике полета БПЛА, реализующего ГБСП; выбрать аэродинамическую схему ЛА, этапы посадки и траектории его полета при подлете к устройству посадки [3], оценить влияние неравномерности воздушного потока в тормозящей БПЛА струе на динамику его полета при посадке.

Решение задачи. Для реализации ГБСП необходимо ограничить размах крыла (L), а точнее удлинение крыла, для уменьшения потребного диаметра тормозящей БПЛА струи от вентилятора 5. Это позволит уменьшить габариты устройства для посадки и снизить потребляемую им мощность. При этом целесообразно использовать для облика БПЛА аэродинамическую схему “утка”, поскольку рули в такой аэродинамической схеме будут обеспечивать более эффективное управление ЛА в струе, которая его тормозит, чем при

нормальной аэродинамической схеме. Скорость воздушного потока в струе, тормозящей БПЛА, будет иметь большее значение у носика, чем в его хвостовой части.

Уменьшение величины скорости на оси дозвуковой струи вдоль посадочной платформы (рис. 2) на протяжении длины корпуса БПЛА зависит от многих факторов и может достигать 30 % [1; 6].

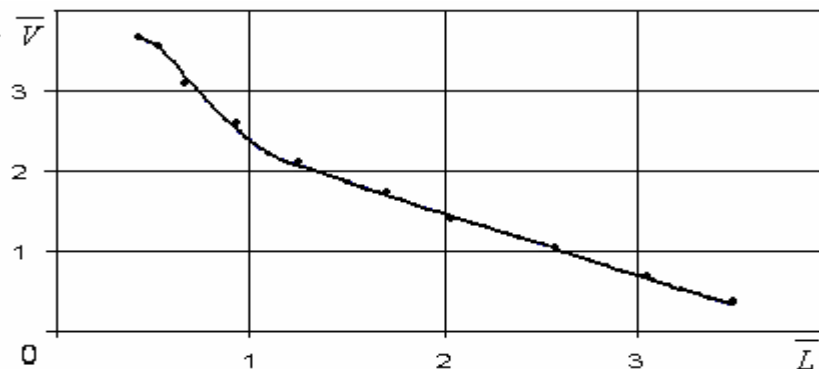


Рис. 2

Снижение величины скорости происходит также и в поперечном направлении от оси струи, создаваемой для торможения БПЛА. В связи с этим не следует удалять на значительные расстояния аэродинамические органы управления ЛА от его продольной оси. К настоящему времени разработано большое количество аэродинамических компоновок облика ЛА. В данном случае для реализации ГБСП можно использовать следующие аэродинамические схемы ЛА [7]: “бесхвостка” (а), “утка” (б), бипланную схему (в), которые показаны на рис. 3.

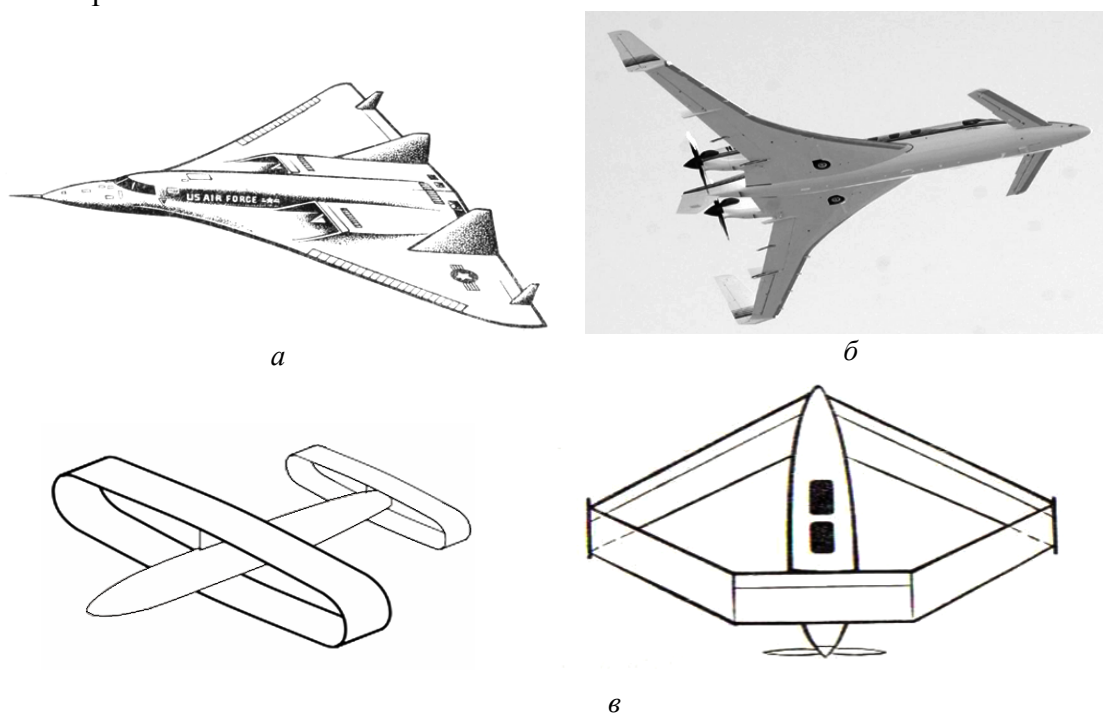


Рис. 3

Этап посадки и траектории захода на посадку для самолетов [4] и БПЛА, как правило, отличаются. В частности, траектории захода на посадку для БПЛА [4; 5] существенно зависят от выбранного способа посадки и реализующего его устройства. Вместе с тем для анализа динамики контуров управления БПЛА на этапе захода на посадку можно применить математические модели, приведенные в работе [4].

Примем, что заход на посадку осуществляется по прямолинейной траектории. В этом случае для анализа динамики контуров управления БПЛА можно использовать линеаризованные модели изолированных продольного и бокового движений, дополненные кинематическими уравнениями, которые связывают известные параметры движения ЛА с навигационными параметрами $\varepsilon_r, \varepsilon_k$, причем параметр ε_r – угловое отклонение центра масс (ЦМ) ЛА от плоскости глисады (ПГ) (рис. 4), а параметр ε_k – угловое отклонение ЦМ ЛА от плоскости посадочного курса (ППК) (рис. 5). На рис. 4 и 5 введены также следующие обозначения: R – дальность от ЦМ ЛА до глисидного радиомаяка (ГРМ) на рис. 4 и курсового радиомаяка (КРМ) на рис. 5; V – скорость ЦМ ЛА; h_r – текущая высота ПГ; H_r – линейное отклонение ЦМ ЛА от ПГ; $\theta_{пр}$ – программный угол наклона траектории; H – текущая высота ЦМ ЛА; Z – текущее отклонение ЦМ ЛА от равносигнальной зоны КРМ.

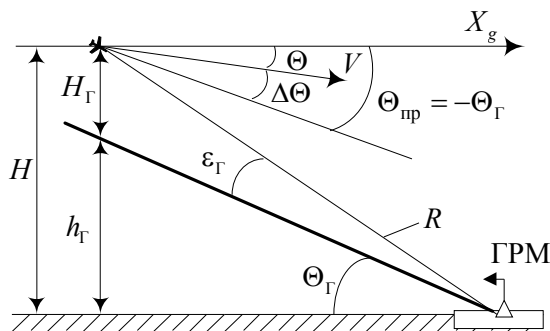


Рис. 4

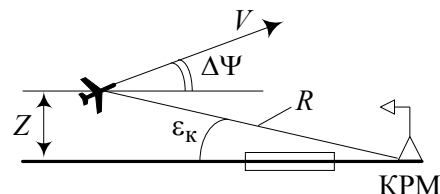


Рис. 5

Учитывая малость углов $\Delta\theta, \theta_r, \varepsilon_r$, получим следующую систему кинематических уравнений движения ЛА в вертикальной плоскости:

$$\begin{aligned}\dot{R} &= -V; \\ \dot{H}_r &= V\Delta\theta; \\ H_r &= R\varepsilon_r,\end{aligned}\quad (1)$$

где $\Delta\theta$ – отклонение поточного угла θ от программного.

Уравнение, устанавливающее связь между изменением угла наклона траектории $\Delta\theta$ и отклонением от глисады в вертикальной плоскости, как это следует из системы (1), можно записать в виде

$$V\Delta\theta = -V\varepsilon_r + R\dot{\varepsilon}_r, \quad (2)$$

и аналогично уравнение, устанавливающее связь между изменением заданного курса $\Delta\Psi$ и отклонением от ППК в горизонтальной плоскости, имеет вид

$$-V\Delta\Psi = -V\varepsilon_k + R\dot{\varepsilon}_k. \quad (3)$$

Уравнения (2), (3) после представления их в операционной форме примут вид:

$$(T_r p - 1)\varepsilon_r(p) = \theta(p);$$

$$(T_k p - 1)\varepsilon_k(p) = -\Psi(p),$$

где $T_r = T_k = R/V$; причем далее могут быть записаны соответствующие передаточные функции, которые дополняют известные структурные схемы продольного и бокового движения ЛА для применения их на этапе посадки.

Дифференциальные уравнения (2) и (3) имеют одинаковую структуру, поэтому для исследования кинематики посадки ограничимся только анализом движения ЛА в вертикальной плоскости.

Пусть величина $\Delta\theta$ на определенном участке посадки, начиная с момента времени $t = 0$, имеет постоянное значение, т. е. $\Delta\theta = \text{const}$. В этом случае уравнение (2) может быть решено аналитически, а его решение относительно ε_r записано в виде:

$$\varepsilon_r(t) = \varepsilon_r(t=0)R(t=0)/R(t), \quad (4)$$

где величины $\varepsilon_r(t=0)$ и $R(t=0)$ определяют угловое отклонение и дальность от ЦМ ЛА до ГРМ в момент времени $t = 0$, а $\varepsilon_r(t)$, $R(t)$ – в произвольный момент времени t . Из уравнения (4) следует, что при уменьшении величины $R(t)$ значение угла $\varepsilon_r(t)$ должно увеличиваться, а это не приводит к решению задачи. Таким образом можно сделать вывод о том, что допущение о постоянстве величины $\Delta\theta$ не позволяет найти траекторию движения ЛА при посадке.

Положим значение $\Delta\theta$ численно равным величине $\varepsilon_r(t)$. При этом уравнение (2) легко проинтегрировать и получить решение в виде

$$\Delta\theta(t) = C_0 - \varepsilon_r(t),$$

$$\text{где } C_0 = \text{const} = \frac{R(t)}{R(t=0)} [\varepsilon_r(t=0) + \Delta\theta(t=0)].$$

Заключение. Проанализированы и обоснованы требования к характеристикам внешнего облика и траекториям посадки БПЛА, которые необходимы для реализации газодинамического безаэродромного способа его посадки.

Список литературы

1. Синеглазов В. М. Спосіб посадки літального апарата / В. М. Синеглазов, М. Ф. Тупіцин // Електроніка та системи управління. – 2010. – №2(24). – С. 76 – 81.
2. Пат. України №52597. Спосіб посадки літального апарата / М. Ф. Тупіцин, Н. М. Тупіцина – Заявл. 12.05.2010; Опубл. 25.08.2010, Бюл. №16. – 10 с.
3. Пат. України №52596. Пристрій посадки літального апарата / М. Ф. Тупіцин, Н. М. Тупіцина – Заявл. 12.05.2010; Опубл. 25.08.2010, Бюл. №16. – 8 с.
4. Синеглазов В. М. Автоматизовані системи управління повітряних суден: підруч. / В. М. Синеглазов, М. К. Філяшкін. – К.: НАУ, 2003. – 502 с.
5. Голзин А. В. Снижение беспилотного летательного аппарата по спирали. / А. В. Голзин, Е. В. Фесенко, В. Г. Шагаев Изв. вузов: Авиационная техника. – Казань, 2009. – №3. – С. 12 – 16.
6. Молчанов А. М. Расчет сверхзвуковых неизобарических струй с поправками на сжимаемость в модели турбулентности / А. М. Молчанов // Вестник МАИ. – 2009. – Т.16. – №1 – С. 38 – 48.
7. Соболев Д. А. Самолеты особых схем / Д. А. Соболев – М.: Машиностроение, 1999. – 176 с.

О. А. Сущенко, М. Ф. Тупіцин, О. І. Хлопов

Характеристики зовнішнього обрису і траєкторії польоту безпілотної літального апарата за газодинамічного способу посадки

Розглянуто характеристики зовнішнього обрису і траєкторії польоту за газодинамічного безаэродромного способу його посадки. Визначено вимоги до аеродинамічного компонування і траєкторії заходу безпілотної літального апарата на посадку.

O. A. Suhchenko, N. F. Tupitsin, O. I. Khlopov

Characteristics of appearance and the UAV flight path for the gas-dynamic method of landing

It is considered a characteristics the gas-dynamic method of an unmanned aerial vehicle (UAV) landing. Requirements to aerodynamic schemes and control system of UAV for this method of landing are offered.