

УДК 629.7.05

ПОСАДКА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА НЕПОДГОТОВЛЕННУЮ ВПП

Р.Г. АБДРАШИТОВ, А.В. МАРТЫНОВ

АООТ «ОКБ Сухого», г. Москва

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в настоящее время являются одним из наиболее перспективных направлений развития авиации. Уже сейчас с их помощью решается широкий круг задач, таких, как:

- поиск нарушителей границы;
- выявление наркотических посевов и криминальных баз в труднодоступных районах;
- контроль территорий, терпящих стихийные бедствия;
- разведка рыбных запасов;
- контроль состояния нефте- и газопроводов, ЛЭП;
- контроль за распространением лесных пожаров;
- патрулирование автомагистралей.

В перспективе рассматривается использования БПЛА в качестве ретрансляторов телевизионных сигналов или сигналов мобильной связи в труднодоступной местности, а также для экологического мониторинга воздушной и водной сред.

Очевидно, что БПЛА подобного назначения, с одной стороны, должен обладать высоким аэродинамическим и весовым совершенством, иметь максимально возможные высоту и время полета, а с другой стороны, должна быть обеспечена возможность его эксплуатации с коротких и малоподготовленных грунтовых ВПП.

Жесткие требования, предъявляемые к взлетному весу БПЛА и простоте конструкции взлетно-посадочных устройств, заставляют проектировщиков искать пути снижения посадочных нагрузок.

Целью данной работы является выбор оптимальной траектории воздушного участка посадки, обеспечивающей минимальные посадочные нагрузки в условиях укороченной ВПП с повышенными встречными уклонами.

Как известно, минимальную посадочную дистанцию обеспечивает посадка с глиссады, предусматривающая прямолинейное снижение самолета до касания ВПП, и используемая самолетами корабельного базирования. Однако этот способ посадки связан с высокими вертикальными скоростями касания и, как следствие, с большими посадочными нагрузками, что приводит к значительному утяжелению самолета.

Малые вертикальные скорости касания ВПП обеспечивает посадка по экспоненциальной траектории, применяемая при автоматической посадке, но в этом случае увеличивается разброс точек касания ВПП и, как следствие, растут требуемые длины ВПП и концевой полосы безопасности.

В данной работе предлагается способ посадки, основанный на экспоненциальной траектории, и обеспечивающий снижение вертикальной скорости касания и уменьшение разброса точек касания.

Рассмотрим посадку по экспоненциальной траектории более подробно.

В процессе выравнивания по экспоненциальной траектории вертикальная скорость снижения пропорциональна текущей высоте:

$$V_y = \frac{dh}{dt} = -\frac{h}{T_1}, \quad (1)$$

где $T_1 = const$ – постоянная времени экспоненты.

Интегрируя это выражение, получим зависимость высоты полета от времени:

$$H(t) = H_{\text{выр}} e^{-\frac{t}{T_1}}. \quad (2)$$

Учитывая, что в момент начала выравнивания глассада является касательной к экспоненте, получим:

$$T_1 = \frac{H_{\text{выр}}}{V_{y0}}, \quad (3)$$

здесь $H_{\text{выр}}$ – высота начала выравнивания, V_{y0} – вертикальная скорость в момент начала выравнивания.

Дифференцируя выражение (2), получим зависимость вертикальной скорости от времени:

$$V_y(t) = V_{y0} e^{-\frac{t}{T_1}}. \quad (4)$$

Из приведенных выражений легко найти формулы для определения зависимостей угла наклона траектории выравнивания, скорости изменения угла наклона траектории:

$$g(t) = g_0 e^{-\frac{t}{T_1}}; \quad \omega(t) = \dot{g}(t) = -\frac{g_0}{T_1} e^{-\frac{t}{T_1}}. \quad (5)$$

При помощи несложных преобразований можно показать, что приращение нормальной перегрузки в процессе выравнивания определяется выражением:

$$\Delta n_y = -\frac{V_{y0}}{gT_1} e^{-\frac{t}{T_1}} = -\frac{V_{y0}^2}{gH_{\text{выр}}} e^{-\frac{t}{T_1}}. \quad (6)$$

Из выражения (6) видно, что перегрузка максимальна в момент начала выравнивания, а минимальная высота начала выравнивания будет определяться выражением:

$$H_{\text{выр min}} = \frac{V_{y0}^2}{g\Delta n_{y \text{ max доп}}}. \quad (7)$$

Начало выравнивания на высотах $H < H_{\text{выр min}}$ недопустимо, так как для выполнения такого выравнивания требуется превышение перегрузки $n_{y \text{ max доп}}$. При выравнивании по экспоненциальной траектории высота $H_{\text{выр min}}$ обычно принимается за расчетную высоту начала выравнивания.

Определим длину выравнивания $L_{\text{выр}}$ при движении самолета по экспоненциальной траектории. Предположим, что в процессе выравнивания скорость полета постоянна и равна V . Тогда текущее значение дальности полета может быть представлено в виде $L = Vt$. Найдя отсюда t , и подставив в (2) получим:

$$H = H(L) = H_{\text{выр}} e^{-\frac{L}{T_1 V}}. \quad (8)$$

Выполняя несложные преобразования, получаем:

$$L = T_1 V \ln \frac{H_{\text{выр}}}{H}. \quad (9)$$

Теоретически, при $H \rightarrow 0$ получаем $L \rightarrow \infty$. На практике это означает, что длина выравнивания может оказаться слишком большой. Для сокращения длины выравнивания асимптоту экспоненты располагают ниже уровня ВПП на величину

$$H_{ac} = -T_1 V_{y \text{ кас}}, \quad (10)$$

где $V_{y \text{ кас}}$ – расчетная вертикальная скорость касания ВПП.

Существующие способы посадки не учитывают уклон ВПП, т. е. траектория воздушного участка посадки строится относительно горизонтальной плоскости. Однако посадочные нагрузки на ЛА определяются проекцией вектора скорости на перпендикуляр к плоскости ВПП. Величина этой проекции определяется выражением

$$V_{y \text{ кас}} = V \cdot (\mathcal{G}_{\text{ВПП}} - \mathcal{G}_{\text{тр кас}}), \quad (11)$$

где $\mathcal{G}_{\text{тр кас}}$ – угол наклона траектории в момент посадки.

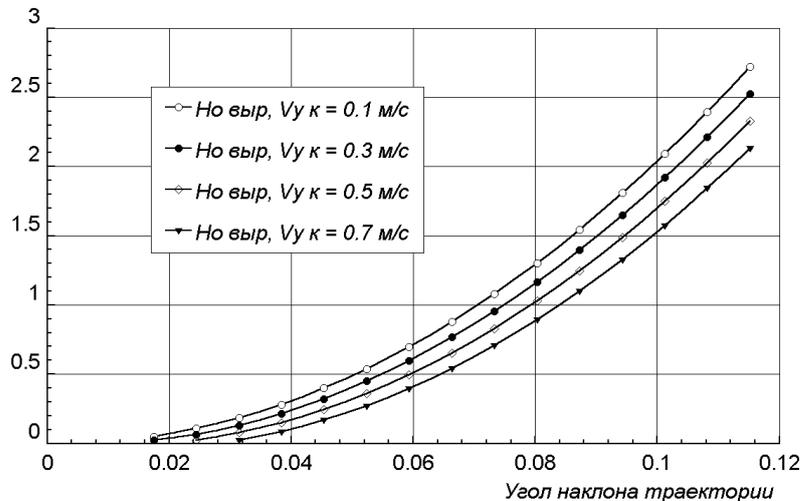


Рис. 1. Высота начала выравнивания, м ($V = 90$ км/ч)

с одной стороны, и обеспечения приемлемой длины воздушного участка, с другой. Расчеты, проведенные для скорости полета 90 км/ч, показывают, что близким к оптимуму является значение $V_{y \text{ кас}} = 0,3$ м/с. В этом случае высота начала выравнивания составляет около 2 м, а длина выравнивания в штиль не превышает 50 м.

Предложенный способ построения траектории выравнивания позволяет, задавшись вертикальной скоростью касания ВПП и максимальной перегрузкой, определить высоту начала выравнивания и постоянную времени экспоненты T_1 заранее. Из формулы (6) следует, что при этом перегрузка в процессе выравнивания становится функцией только времени. Однако в этом случае требуется высокая точность определения

В силу малости углов $\mathcal{G}_{\text{ВПП}}$ и $\mathcal{G}_{\text{тр}}$, посадку на ВПП со встречным уклоном можно рассматривать как посадку на горизонтальную ВПП, с той разницей, что в момент начала выравнивания глиссада имеет наклон, равный $\mathcal{G}_{\text{ВПП}} - \mathcal{G}_{\text{тр кас}}$.

Выбор расчетного значения вертикальной скорости касания осуществляется из соображений минимизации нагрузок в момент посадки,

высоты начала выравнивания. На рис. 1 приведен расчет высоты начала выравнивания в зависимости от угла наклона глissады и вертикальной скорости касания ВПП.

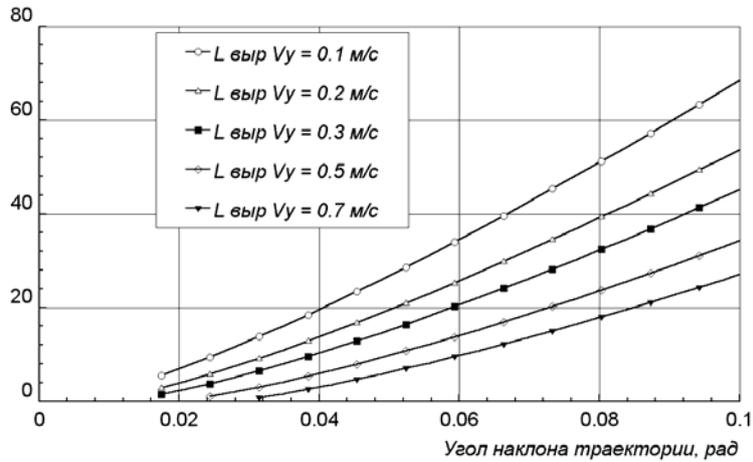


Рис. 2. Расчетная длина воздушного участка выравнивания, м; $V = 90 \text{ км/ч}$

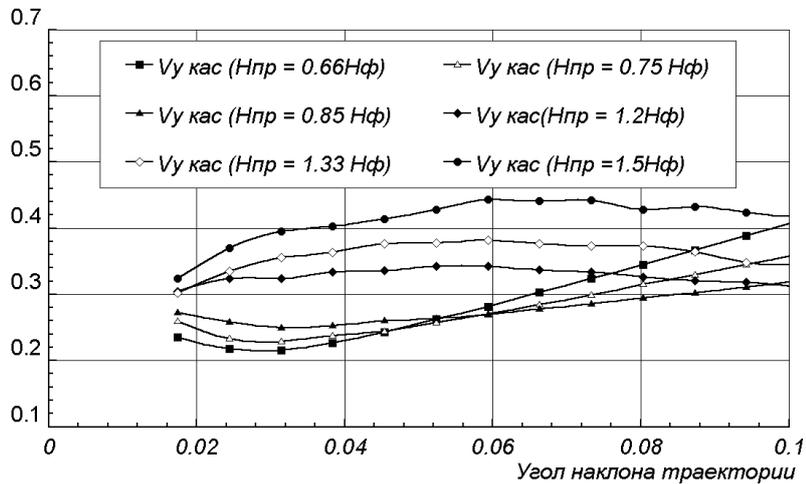


Рис. 3. Расчетная вертикальная скорость касания ВПП для модифицированного закона управления, м/с при наличии погрешности в показаниях высотомера

Расчет показывает, что погрешность в определении высоты начала выравнивания порядка 10 % ведет к изменению $V_{y \text{ кас}}$ на 0,2 м/с, что недопустимо, по соображениям безопасности полета. Замена постоянной времени T_1 в знаменателе формулы (6) на отношение $H_{\text{изм}}/V_y$ позволяет получить приемлемые значения вертикальной скорости касания ВПП даже при погрешностях в измерении высоты в 20-30 %. При отсутствии ошибок в определении текущей высоты получим траекторию, эквивалентную исходной.

Расчетная вертикальная скорость касания ВПП для модифицированного закона управления при наличии погрешности в показаниях высотомера приведена на рис. 3.

Литература

1. Котик М.Г. Динамика взлета и посадки самолетов. – М.: Машиностроение, 1984.

Получено 11.10.2002 г.