

УДК 629.735.33.015

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОСАДКИ ЛА В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

О.И. Ткаченко

Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н. Е. Жуковского
Россия, 140180, Московская область, Жуковский, улица Жуковского, 1
E-mail: flight15@tsagi.ru

Ю.Б. Дубов

Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н. Е. Жуковского
Россия, 140180, Московская область, Жуковский, улица Жуковского, 1
E-mail: flight15@tsagi.ru

С.А. Ковтун

Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н. Е. Жуковского
Россия, 140180, Московская область, Жуковский, улица Жуковского, 1
E-mail: flight15@tsagi.ru

Ключевые слова: визуальные средства посадки, оптическая система посадки, ОСП, закон стабилизации ОСП, ВПП ограниченных размеров, прогнозирование качки, автоматизация посадки, машинное зрение.

Аннотация: Посадка ЛА любого типа (самолет, вертолет, БПЛА) является одним из наиболее ответственных этапов полета. Сложность выполнения этого этапа существенно усложняется, если посадочная площадка имеет ограниченные размеры, находится в движении и подвержена колебаниям, т.е. качке. К таким ВПП ограниченных размеров можно отнести корабли различного класса, а также плавучие платформы. Пилотирование летательными аппаратами в зоне таких ВПП осуществляется с использованием сигналов специализированных визуальных средств посадки, к которым можно отнести оптические системы посадки (ОСП), обеспечивающие летчику информацию о положении относительно заданной при посадке траектории полета. В условиях качки посадочной площадки имеют место угловые и линейные перемещения как самих оптических систем посадки, так и задаваемых ими траекторий полета. Для обеспечения безопасности посадки необходима стабилизация ОСП в зависимости от угловых и линейных перемещений ОСП, при этом закон стабилизации должен обеспечить процесс движения ЛА при данном этапе полета к условиям посадки без качки. Это может быть обеспечено за счет прогноза положения посадочной площадки в процессе посадки на момент контакта ЛА и ВПП. При автоматической посадке обычно применяются радиотехнические средства. В работе предлагается на основе методов машинного зрения распознать сигнал ОСП и использовать его в контуре автоматического управления ЛА.

1. Введение

К визуальным средствам посадки, применяемых в настоящее время, следует отнести следующие системы: указатель траектории точного захода на посадку: РАРІ

(Precision Approach Path Indicator) несколько типов: оптические системы посадки [1], OLS (Optical Landing System) [2] и ОСП-В [3]. Первые две применяются для обеспечения полета по не глиссаде ЛА самолетного типа (рис. 1), третья – для посадки вертолетов (в данной работе не рассматривается).

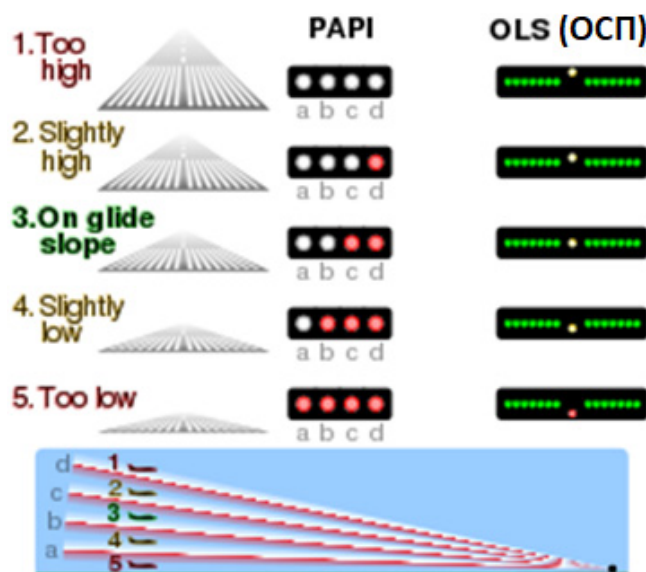


Рис. 1. Вид индикации применяемых в настоящее время оптических систем посадки.

Система PAPI имеет в своем составе четыре блока световых источников, расположенных на удалении друг от друга, система OLS (ОСП) состоит из моноблока, блока базовых огней зеленого цвета, задающих уровень глиссады, и блока указательных огней желтого/красного цвета, указывающего положение самолета, и которые объединены на общей платформе (рис. 2). При посадке в сложных условиях на ВПП ограниченных размеров пригодна именно такая система, поскольку имеет возможность компенсировать колебания посадочной площадки.

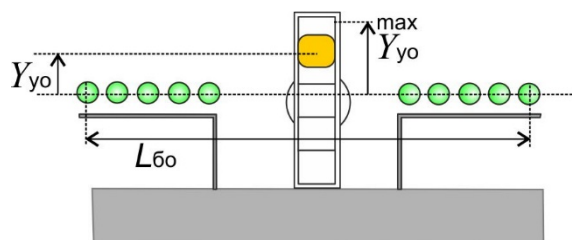


Рис. 2. Схема OLS (ОСП).

Предложения об использовании прогноза в законах стабилизации ОСП рассмотрены в работах [4-8].

2. Использование прогноза в законе стабилизации ОСП

Блок указательных огней ОСП имеет две оси вращения. Путем поворота блока указательных огней на угол $\vartheta_{ОСП}$ по одной оси задается угол наклона глиссады, по другой – на угол $\gamma_{ОСП}$ осуществляется коррекция высоты глиссады относительно

расчетной точки посадки. Один из вариантов закона стабилизации ОСП, учитывающий крен и дифферент корабля, имеет вид:

$$\Delta\vartheta_{\text{ОСП}} = -\vartheta_k + \gamma_k \sin\psi_{\text{ПП}},$$

где ϑ_k и γ_k – текущие углы дифферента и крена корабля, $\psi_{\text{ПП}}$ – угол между продольной осью посадочной площадки и центральной линией ВПП. Данный закон стабилизации позволяет добиться полной угловой стабилизации глиссады, однако плоскопараллельное перемещение глиссады, обусловленное вертикальным перемещением самой ОСП, не компенсируется. При практически идеальном выдерживании летчиком сигнала ОСП в условиях качки 5-6 баллов касания шасси происходят со значительной ошибкой относительно расчетной точки на ВПП, поскольку сигнал ОСП не соответствует ее положению в момент касания самолетом. Данная особенность может привести к возникновению аварийных ситуаций.

В связи с этим предлагается в дополнение к указанному выше закону ввести дополнительную стабилизацию, путем изменения угла поворота блока указательных огней $\gamma_{\text{ОСП}}$ с учетом прогноза расчетной точки касания:

$$\Delta\gamma_{\text{ОСП}} = K_\gamma^y (y_k - \hat{y}_{\text{РТК}}) + K_\gamma^\gamma \gamma_k + K_\gamma^\vartheta \vartheta_k,$$

$$\hat{y}_{\text{РТК}} = \hat{y}_k + \hat{\vartheta}_k x_{\text{РТК}} - \hat{\gamma}_k z_{\text{РТК}},$$

где ϑ_k , γ_k , y_k – текущие параметры положения палубы корабля, $\hat{\vartheta}_k$, $\hat{\gamma}_k$, \hat{y}_k – прогнозируемые параметры положения палубы корабля, $x_{\text{РТК}}$ и $z_{\text{РТК}}$ – положение расчетной точки касания на ВПП, $\hat{y}_{\text{РТК}}$ – прогнозируемая высота расчетной точки касания, K_γ^y , K_γ^ϑ и K_γ^γ – коэффициенты, обеспечивающие компенсацию вертикальных перемещений ОСП. При этом должно выполняться условие сходимости прогнозируемого вертикального положения расчетной точки касания к реальному в момент касания самолетом ВПП:

$$\hat{y}_{\text{РТК}}(t, \Delta T_{\text{ПР}}) = y_{\text{РТК}}(t + \Delta T_{\text{ПР}}), \hat{\gamma}_{\text{РТК}}(t + \Delta T_{\text{ПР}}) = \gamma_{\text{РТК}}(t) |_{\Delta T_{\text{ПР}}=0},$$

где $\Delta T_{\text{ПР}}$ – время оставшееся до касания.

Пример моделирования посадки на корабль с учетом прогноза качки приведен на рис. 3.

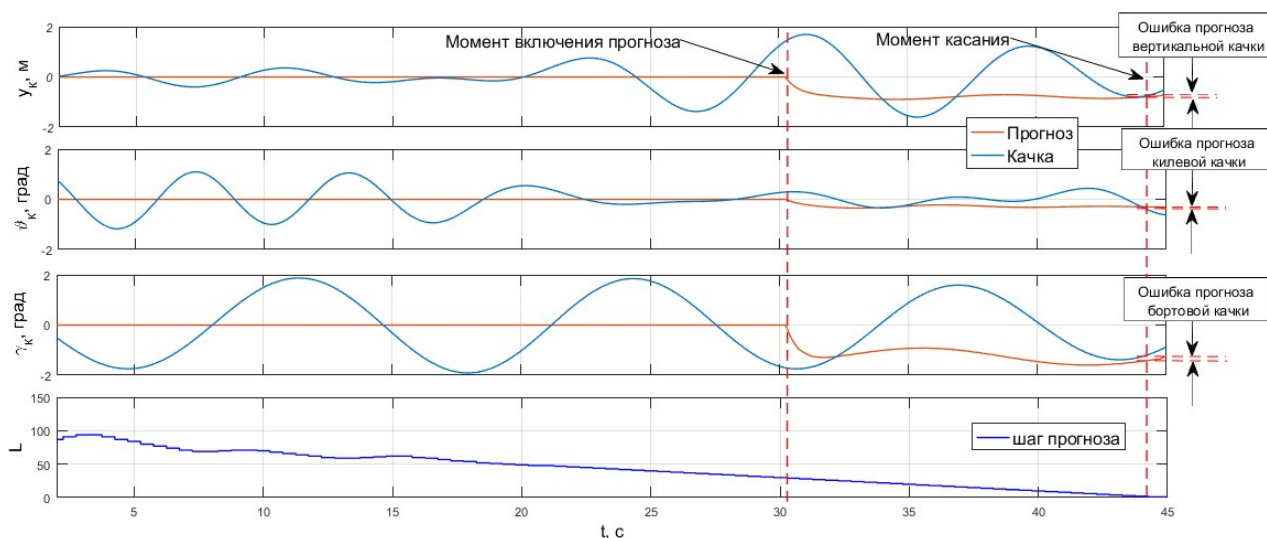


Рис. 3. Пример моделирования посадки на корабль с учетом прогноза качки.

Для приведенного примера алгоритм прогноза включен при $t \approx 30$ с за $\Delta T_{\text{ПР}} = 13$ с. Видно, что по мере приближения к точке касания и уменьшения $\Delta T_{\text{ПР}}$ прогноз

параметров движения ВПП становится близким к реальным параметрам. При этом уровень колебательности прогноза существенно ниже, что существенно упрощает слежение за ним и позволяет повысить точность посадки.

3. Задачи системы технического зрения

В реальных условиях летчик способен распознать сигнал оптической системы посадки (ОСП) с расстояния ~ 2 км и менее. При посадке самолетов в ручном режиме пилотирования т.е. при управлении самолетом летчиком, он определяет положение самолета относительно заданной глиссады по видимому сигналу ОСП и наблюдаемой разметке корабля: осевой линии ВПП и кормовых горизонтальной и вертикальной линий.

Данная технология считается отработанной в процессе длительной эксплуатации палубных самолетов и обеспечивающей необходимый уровень безопасности при посадке даже в условиях качки корабля. Тот же принцип и те же ориентиры предлагается использовать для реализации автоматической посадки на корабль с применением технологий методов машинного зрения и распознавания образов [9-12], которые в последнее время получили бурное развитие.

Предполагается оснастить самолет видеокамерой с высоким разрешением и переменным, управляемым фокусным расстоянием и системой технического зрения, позволяющей быстро, в реальном масштабе времени обрабатывать видеокadres.

Задачами системы технического зрения на этапе полета по глиссаде является при обработке видеокadres:

- нахождение ОСП;
- распознавание наличия указательного огня ОСП между двумя группами базовых огней;
- определение положения указательного огня ОСП относительно базовых огней;
- распознавание осевой линии посадочной палубы, кормовых горизонтальной и вертикальной линий;
- определение их взаимного положения.

Предполагается, что при попадании корабля в кадр видеокамеры, система распознавания образов должна определить на кадре наиболее яркие, расположенные в ряд небольшим просветом две группы базовых огней ОСП.

можно по угловым размерам базовых огней $\phi_{\text{бo}}$ и указательного огня ϕ_{yo} (см. рис. 2) на кадре видеокамеры:

$$Y_{\text{yo}} = \frac{\phi_{\text{yo}}}{\phi_{\text{бo}}} L_{\text{бo}},$$

где $L_{\text{бo}}$ – размах базовых огней ОСП, и на его основе строить управление ЛА для выдерживание глиссады.

Отработка данной технологии проводится на пилотажном стенде ПС-10М ЦАГИ. Один из вариантов отображения внешней обстановки, который рассматривается к кадр, фиксируемый камерой, представлен на рис. 4.

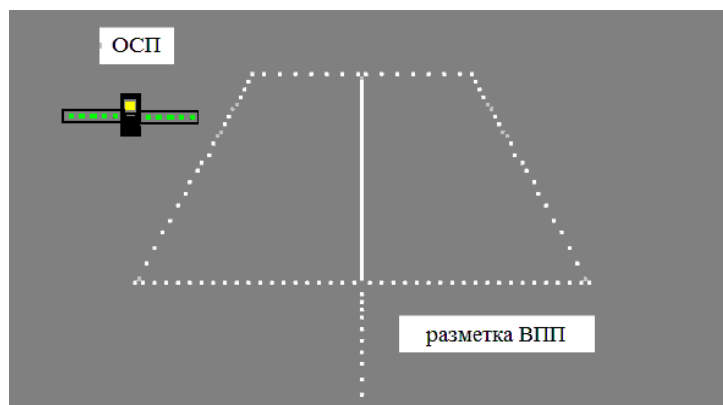


Рис. 4. Вариант отображения ВПП и ОСП на пилотажном стенде ПС-10М ЦАГИ для распознавания сигнала оптической системы посадки.

4. Заключение

Предлагаемые в данной работе предложения по прогнозу качки в процессе выполнения посадки позволит свести задачу посадки ЛА в условиях значительного волнения моря к условиям близким к его отсутствию. А применение методов машинного зрения обеспечит выполнение автоматической посадки на основе сигнала ОСП, применяемого при пилотировании летчиком, т.е. при ручной посадке.

Список литературы

1. ICAO Doc 9157. Aerodrome Design Manual. Fifth edition, 2021. Part 4. Visual Aids. Chapter 8.
2. Precision approach path indicator. Wikipedia.
3. Икрянов И.И. Моделирование системы визуальной посадки вертолета на палубу корабля. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2009.
4. Бородай И.К. Краткосрочное прогнозирование процессов качки корабля с учетом ошибок измерений. // Труды Крыловского государственного научного центра. 2017. № 2 (380). С. 9-16.
5. Пелевин А.Е. Прогноз угла наклона палубы корабля // Гироскопия и навигация. 2016. Т. 24, № 4 (95). С. 122-132.
6. Ковтун С.А., Ткаченко О.И. Использование прогноза качки авианесущего корабля в законах стабилизации оптической системы посадки // Ученые записки ЦАГИ. 2018. Т. 49, № 8. С. 56-68.
7. Ковтун С.А., Ткаченко О.И. Применение прогноза колебаний палубы для разработки закона стабилизации оптической системы посадки самолетов корабельного базирования // Труды Крыловского государственного научного центра. 2019. № 4 (390). С. 125-136.
8. Дубов Ю.Б., Ковтун С.А., Ткаченко О.И. Использование прогноза качки для обеспечения безопасности взлета и посадки самолетов корабельного базирования // XXVI Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. Сборник материалов. 2019. С. 26-28.
9. Brown A., Mathews B. A Robust GPS/INS Kinematic Integrity Algorithm for Aircraft Landing, NAVSYS Corporation. <http://mathews-family.net/Ben/Publications>.
10. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Бондаренко А.В., Ососков М.В., Моржин А.В. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения: Курс лекций и практических занятий. М.: Физматкнига, 2010. 672 с.
11. Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Методы компьютерной обработки изображений. С.Пб.: СПбГУ ИТМО, 2009. 132 с.
12. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение / Пер. с англ. А.А. Слинкина. 2-е изд., испр. М.: ДМК Пресс, 2018. 652 с.