

УДК 629.7.052

ОТРАБОТКА НА ПИЛОТАЖНОМ СТЕНДЕ ИНДИКАЦИИ ВЕКТОРА СКОРОСТИ ПРИ ПОСАДКЕ САМОЛЕТА

К.В. ЗАХАРОВ, О.И. ТКАЧЕНКО, А.А. ХОХЛОВ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Вышинским В.В.

Отображение вектора скорости на экране индикатора на лобовом стекле является эффективным средством индикации при выполнении посадки на авианесущий корабль и короткую взлетно-посадочную полосу. Традиционный алгоритм формирования вектора скорости на экране индикатора на лобовом стекле дополнен информацией об угле заданной глиссады и скорости корабля. Это делает возможным выполнение посадки на палубу авианесущего корабля в условиях значительной качки и при большом боковом ветре.

Ключевые слова: индикация скорости, система посадки самолета на авианесущий корабль.

Одним из традиционных методов управления самолетом при посадке является использование индикации положения самолета относительно глиссады в виде курсоглиссадных планок, которые задают положение глиссады относительно самолета на пилотажно-навигационном приборе, либо на экране индикатора на лобовом стекле (ИЛС) (рис. 1).

Другим традиционным методом является управление самолетом по глиссаде с использованием сигнала наземной оптической системы посадки. Развитие технологии индикации на ИЛС позволяет показывать положение вектора скорости в области перемещаемых символов на экране ИЛС в виде соответствующего знака (рис. 1). Появились также работы, в которых предлагается использовать данный тип индикации при посадке. В частности, следует отметить работу [1]. По всей видимости, этот вид индикации использован и реализован для обеспечения посадки самолетов на авианосцы Франции. Свидетельством этого являются фотографии палубы авианесущих кораблей Франции в сети Internet (рис. 2), на которых виден прицельный знак в виде треугольника.

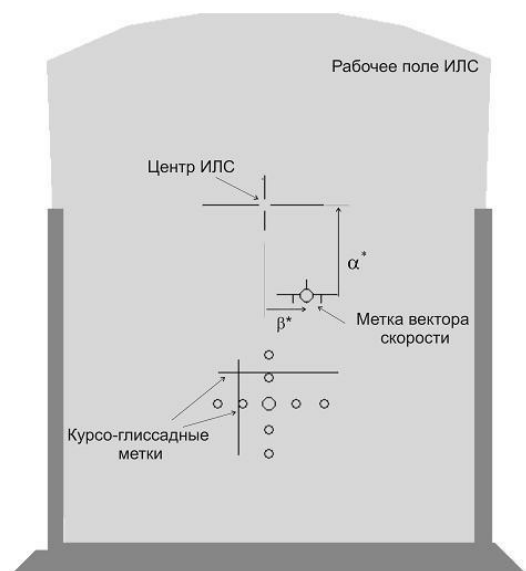


Рис. 1. Вид ИЛС



Рис. 2. Фото авианосца Франции "Фош"

Методика посадки с использованием индикации вектора скорости основана на отображении на экране ИЛС метки вектора скорости и совмещении ее летчиком в процессе управления самолетом при полете по глиссаде с четко видимой прицельной меткой, нарисованной на взлетно-посадочной полосе (ВПП) или корабле.

В дальнейшем рассмотрении предполагается, что на экране ИЛС отображается вектор скорости самолета в земной системе координат. Или точнее, на экране ИЛС отображается метка пересечения вектора скорости самолета и плоскости экрана. Источником информации при формировании на экране ИЛС метки вектора скорости является бортовая инерциальная система, которая позволяет определить пространственное положение самолета относительно земли (моря). При параллельности оси индикатора на лобовом стекле и оси самолета положение метки вектора скорости на ИЛС определяется двумя углами относительно центра экрана. Поскольку при отсутствии ветра положение вектора воздушной скорости в связанной системе координат самолета определяется углами атаки α и скольжения β , то по аналогии с этим, углы положения метки вектора скорости на экране ИЛС обозначим α^* и β^* (рис. 1).

При определении бортовой инерциальной системой вектора скорости самолета относительно земли

$$\vec{V}_g = (V_{x_g}, V_{y_g}, V_{z_g}) \quad (1)$$

и при пересчете координат вектора скорости на связанные оси самолета $\vec{V} = A \times \vec{V}_g$, где $A = A(\vartheta, \gamma, \psi)$ – матрица направляющих косинусов; ϑ, γ, ψ – углы тангажа, крена и рыскания самолета могут быть вычислены составляющие вектора скорости в связанной системе координат $\vec{V} = (V_x, V_y, V_z)$. Координаты метки на ИЛС α^* и β^* могут быть вычислены на основе уравнений:

$$\begin{cases} \alpha^* = \arctg \left(\frac{-V_y}{V_x} \right); \\ \beta^* = \arcsin \left(\frac{V_z}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}} \right). \end{cases} \quad (2)$$

Следует иметь в виду, что указанным методом на ИЛС летчику индицируется направление вектора скорости центра масс самолета относительно земли, перенесенное в центр наблюдения (глаза летчика) и обозначенное на рис. 3 вектором \vec{V}' , а не скорость точки самолета, в которой находится летчик.

Для использования индикации вектора скорости при посадке самолета необходимо обозначить прицельную метку, расположенную на ВПП. Прицельная метка расположена на расстоянии $50 \div 100$ м от расчетной точки касания шасси, поскольку индицируемая на ИЛС метка указывает на траекторию движения глаз летчика (рис. 3).

Точное расстояние между расчетной точкой касания шасси самолета и прицельной меткой на ВПП определяется геометрией самолета и расчетными условиями посадки. Размеры и форму прицельной метки на ВПП целесообразно выбирать из условий однозначной различимости и возможности летчика оценивать траекторию снижения самолета с расстояния не ме-

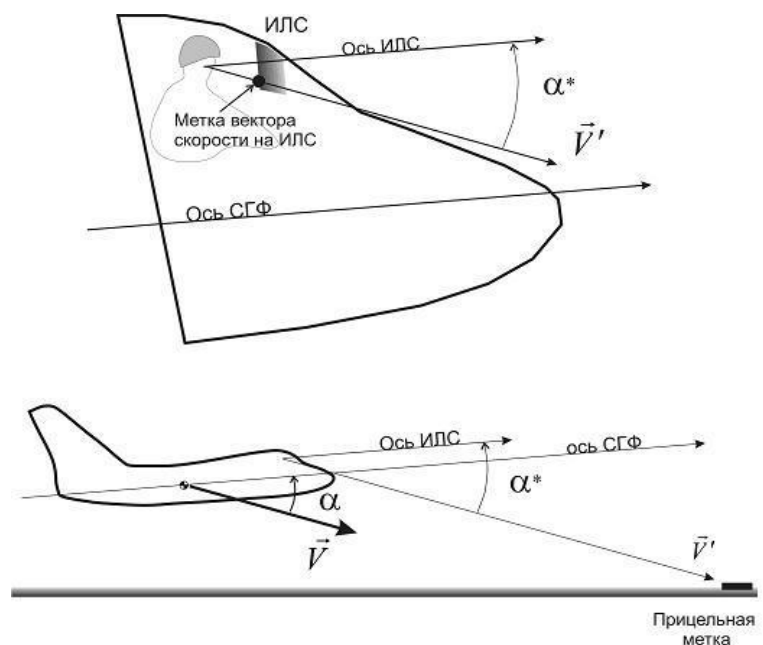


Рис. 3. Прицельная метка

нее 500 м. Рассматриваемый метод управления при посадке может представлять интерес при посадке на нестандартную ВПП, например, на сверхкороткую необорудованную ВПП или на корабль.

При посадке на короткую ВПП целесообразно введение коррекции ΔV_{y_g} в сигнал расчета положения метки на ИЛС по параметрам бортовой инерциальной системы отклонения текущего угла наклона траектории от расчетной $\theta_{гл}$ [1]

$$\Delta V_{y_g} = K_{\theta} V_{пут} (\theta_{гл} - \theta), \tag{3}$$

где $V_{пут} = \sqrt{V_{x_g}^2 + V_{z_g}^2}$ – путевая скорость самолета; $\theta = \arctg \left(\frac{V_{y_g}}{V_{пут}} \right)$ – угол наклона траекто-

рии; K_{θ} – коэффициент усиления, выбираемый из условия устойчивости контура управления.

При посадке на корабль коррекция (3) принимает вид

$$\Delta V_{y_g} = K_{\theta} V_{пут} \left(\theta_{гл} \frac{V_{пут}}{V_{пут} + V_k} - \theta \right), \tag{4}$$

где V_k – скорость движения корабля. Для обеспечения посадки на корабль дополнительно необходимо введение коррекции $V_{y_{g1}}$ в сигнал расчета положения метки на ИЛС по параметрам бортовой инерциальной системы на скорость движения корабля при угле оси посадочной палубы относительно хода корабля ψ_0 :

$$V_{y_{g1}} = V_{y_g} \frac{V_{нум}}{V_{нум} - V_k};$$

$$V_{z_{g1}} = V_{z_g} - V_k \sin \psi_0. \tag{5}$$

В результате для посадочного режима полета в алгоритмах вычислителя формирования метки вектора скорости на экране ИЛС составляющие вектора \vec{V}_g принимают вид:

$$V_{y_g} = V_{y_{g1}} + \Delta V_{y_g};$$

$$V_{z_g} = V_{z_{g1}}.$$

Для оценки использования индикации вектора скорости при посадке на палубу было проведено моделирование на пилотажном стенде посадки:

- на палубу в условиях качки корабля;
- на укороченную ВПП (до 500 м).

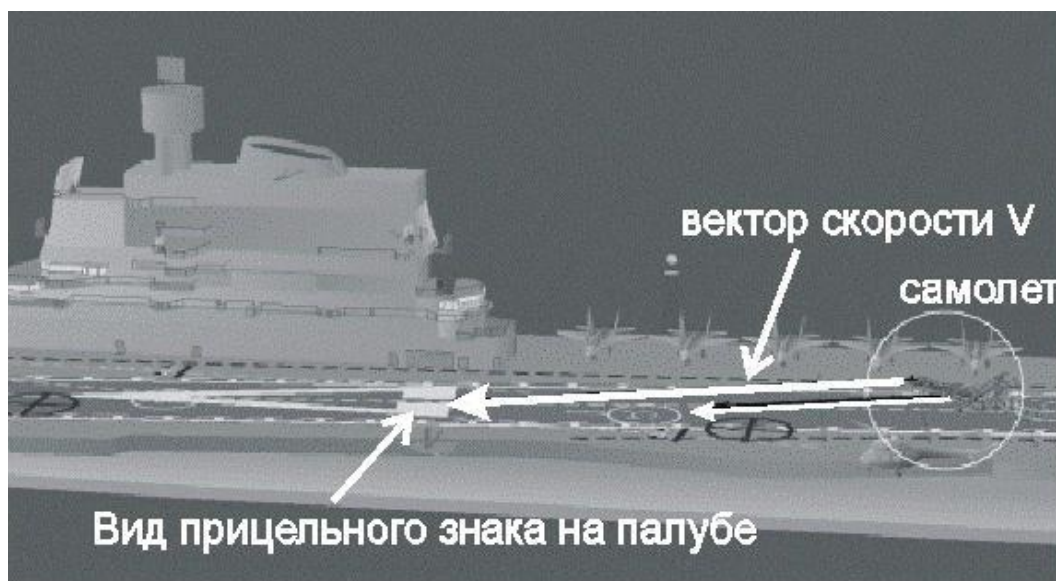


Рис. 4. Вид на самолет и палубу сбоку в момент касания

Вид на самолет в момент касания палубы в расчетной точке приведен на рис. 4 (изображения сформированы системой визуализации для пилотажного стенда). Касание самолетом палубы осуществляется в расчетной точке в зоне расположения тросов аэрофинишера, основание прицельного знака, нарисованного в виде треугольника, расположено на расстоянии около 70 м от расчетной точки касания гака. Там же приведено направление вектора скорости центра масс самолета и направление вектора скорости, индицируемого на ИЛС. Вид из кабины самолета в этот же момент времени приведен на рис. 5. Показаны метка вектора скорости на ИЛС, прицельный знак на палубе, оптическая система посадки – ОСП.

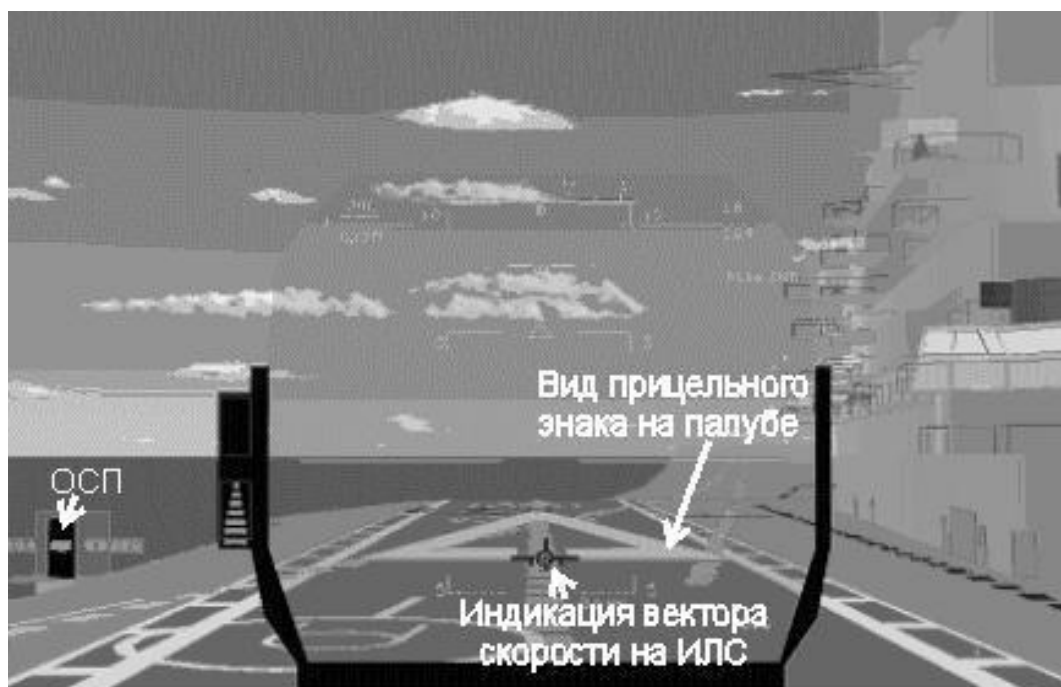


Рис. 5. Вид из кабины самолета на палубу в момент касания

При моделировании посадки на палубу оценивались результаты точности касания тормозным гаком самолета поверхности палубы относительно расчетной точки касания. Сравнивались два метода управления: управление с индикацией вектора скорости на ИЛС и традиционное в настоящее время управление по сигналу ОСП. Моделирование посадки самолета на палубу осуществлялось при различном уровне качки корабля. \bar{A} – обобщенный уровень качки, $\bar{A} = 1$ соответствует качке по дифференту 1° , по вертикали 1 м, по крену 3° . Для каждого заданного при моделировании уровня качки число посадок составило более 25.

На рис. 6 представлены результаты моделирования. При этом заданный уровень среднеквадратической ошибки по дальности в момент касания палубы составил $\sigma_x = 10$ м. Моделирование на пилотажном стенде показало, что использование индикации метки вектора скорости на ИЛС с учетом приведенных выше поправок позволяет существенно повысить точность посадки (на $25 \div 30\%$) по сравнению с точностью, достигаемой при традиционном методе управления самолетом при посадке.

Использование индикации вектора скорости рассматривается в качестве одного из элементов, обеспе-

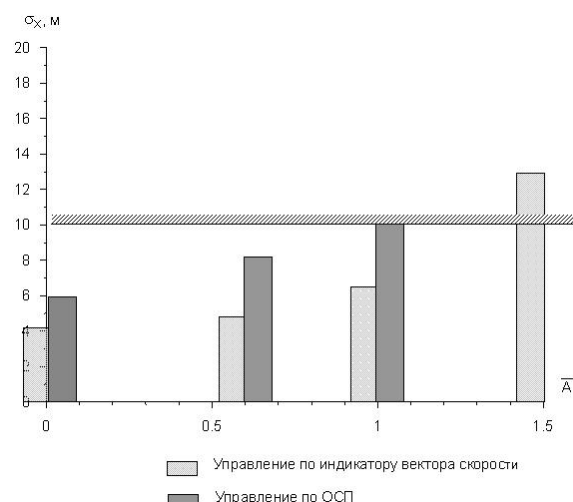


Рис. 6. Сравнение точности посадки на палубу корабля по дальности относительно расчетной точки касания при различном уровне качки корабля

чивающих посадку самолета на укороченную ВПП (до 500 м). На рис. 7, 8 приведены изображения внешней обстановки, формируемые системой визуализации пилотажного стенда, при виде на ВПП для оператора (без ограничений на обзор из кабины) и виде на самолет сзади сбоку. На экране ИЛС индицируется метка вектора скорости, которую летчик в процессе управления должен совместить с основанием прицельной метки – треугольника на ВПП. На рис. 8 приведено направление вектора скорости, индицируемое летчику на ИЛС.



Рис. 7. Вид укороченной ВПП с дальности 100 м

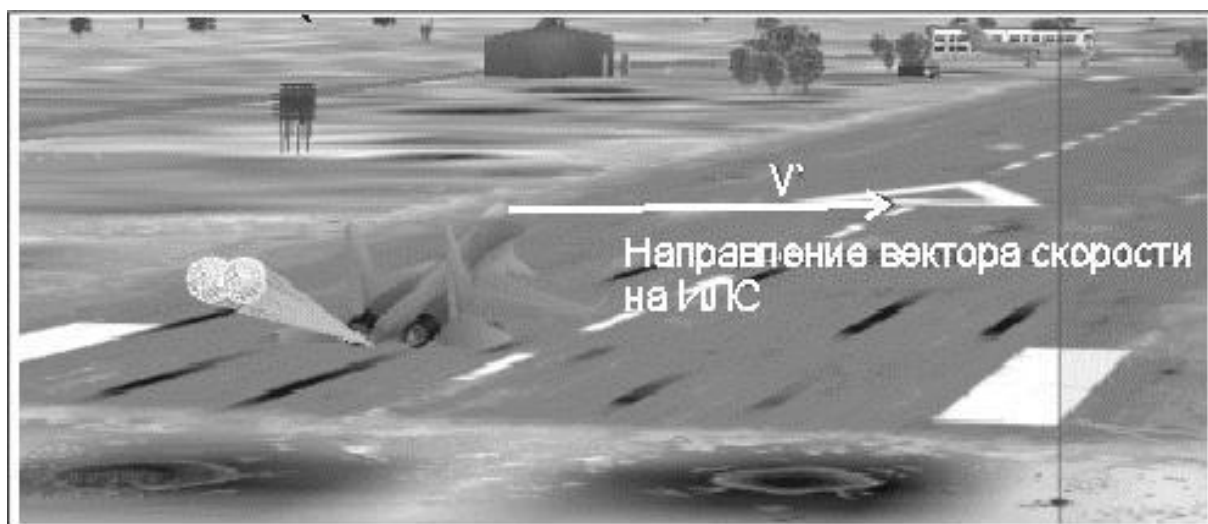


Рис. 8. Вид на самолет в момент касания ВПП

Моделирование на пилотажном стенде показало, что применение методики корабельной посадки (без выравнивания) с индикацией вектора скорости на ИЛС позволяет обеспечить параметры движения самолета в момент касания шасси поверхности ВПП и пробеге, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Параметры при касании				Дальности при касании и пробега по ВПП		
$\bar{V}_{y \text{ кас}}, \text{ м/с}$	$\bar{\vartheta}_{\text{кас}}, \text{ град}$	$\bar{\alpha}_{\text{кас}}, \text{ град}$	$\bar{n}_{y \text{ max}}$	$\bar{\Delta x}_0 \text{ ВПП}, \text{ м}$	$\bar{L}_{\text{проб}}, \text{ м}$	$\bar{X}_{\text{проб ВПП}}, \text{ м}$
-4,4	10,3	14,4	3,3	21	312	333
$\sigma_{V_{y \text{ кас}}}, \text{ м/с}$	$\sigma_{\vartheta_{\text{кас}}}, \text{ град}$	$\sigma_{\alpha_{\text{кас}}}, \text{ град}$	$\sigma_{n_{y \text{ max}}}$	$\sigma_{\Delta x_{\text{проб ВПП}}}, \text{ м}$	$\sigma_{L_{\text{проб}}}, \text{ м}$	$\sigma_{X_{\text{проб ВПП}}}, \text{ м}$
0,5	1,6	1,8	0,4	20,	19	27

В табл. 1 обозначены: $\Delta x_0 \text{ ВПП}$ – дальность касания шасси ВПП относительно торца полосы; $L_{\text{проб}}$ – длина пробега самолета по ВПП; $X_{\text{проб ВПП}}$ – дальность пробега относительно торца ВПП.

Приведенные результаты получены при числе реализаций посадки $N = 30$.

Результаты моделирования показали целесообразность использования рассматриваемого метода индикации для обеспечения безопасности посадки.

Данная работа выполнена в рамках и за счет финансовой поддержки проекта "Разработка моделирующего комплекса реалистичного восприятия оператором (летчиком) сложных режимов полета и оценки его психофизиологического состояния" (Договор № 02.G25.31.0017/100003471 между ОАО "РСК "МиГ" и Министерством образования и науки РФ об условиях предоставления и использования субсидии на реализацию комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием ФГАОУ ВПО "МФТИ (ГУ)").

ЛИТЕРАТУРА

1. Брагазин В.Ф., Святодух В.К., Стрелков В.В., Чочиев В.А. Повышение точности приземления самолета короткого взлета и посадки при использовании индикации на лобовом стекле // Труды ЦАГИ. - 1994. - Вып. 2576.

DEVELOPMENT OF THE VELOCITY VECTOR INDICATION AT HUD AT LANDING MODE ON THE GROUND-BASED SIMULATOR

Zakharov K.V., Tkachenko O.I., Khokhlov A.A.

Velocity vector indication at HUD is effective technique for fulfilling carrier landing and landing on short runway. The command glide slope value and carrier velocity are added to traditional algorithm of the velocity vector indication. This make a possibility of carrier landing without using optical landing system (OLS), at heavy deck motion and significant side wind.

Key words: velocity indication, carrier landing system.

Сведения об авторах

Захаров Кирилл Васильевич, 1925 г.р., окончил ЛГУ (1953), кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского, автор более 30 научных работ, область научных интересов – динамика и системы управления самолетов.

Ткаченко Олег Иванович, 1954 г.р., окончил МФТИ (1977), кандидат технических наук, начальник сектора ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского, автор более 20 научных работ, область научных интересов – динамика и системы управления самолетов.

Хохлов Анатолий Анатольевич, 1957 г.р., окончил МФТИ (1983), старший преподаватель ФАЛТ МФТИ, автор 15 научных работ, область научных интересов – летные испытания, динамика полета, математические методы моделирования, летательные аппараты морского базирования, мореходность гидросамолетов.