

УДК 629.7.015

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫХОДА НА ЛИНИЮ КУРСА ПОД УПРАВЛЕНИЕМ САУ

*Сусанна Вагинаковна ХЛГАТЯН, к. т. н.,  
Ольга Борисовна КЕРБЕР, к. т. н., с. н. с.,  
Анастасия Дмитриевна ЗАЛЕТКИНА,*

*E-mail: aomiea@aviapribor.ru*

*ПАО «Московский институт электромеханики и автоматики»*

*В статье рассматривается способ улучшения динамики захода на посадку, предполагающий использование дополнительной информации о боковом отклонении от оси ВПП ( $Z$ ), формируемой навигационной системой. Приводятся результаты моделирования, подтверждающие эффективность использования координаты  $Z$ .*

*Ключевые слова:* заход на посадку, векторение, равносигнальная зона.

## USE OF NAVIGATION PARAMETERS TO IMPROVE THE QUALITY OF HEADING CAPTURE UNDER AFCS CONTROL

*Susanna V. HLGATYAN, Ph D in Engineering,*

*Olga B. KERBER, Ph D in Engineering,*

*Anastasiya D. ZALYOTKINA*

*E-mail: aomiea@aviapribor.ru*

*'Moscow Institute of Electromechanics and Automatics' PJSC*

*The article considers a method of improving the dynamics of approach. The method involves the use of additional information on lateral deviation from the runway axis ( $Z$ ), generated by the navigation system. Simulation results that confirm the effectiveness of using the  $Z$  coordinate are presented.*

*Keywords:* approach, vectoring, bi-signal zone.

При выполнении заходов на посадку для сокращения дальностей начала разворота к курсовой линии целесообразно использовать метод векторения вместо традиционной схемы «коробочка».

Схема полета по «коробочке» позволяет достаточно просто и с достаточной точностью выйти на предпосадочную прямую. Однако из-за сильно возросшей в наши дни нагрузки на аэродромы классический полет по «коробочке» встречается реже, оставаясь возможным лишь при наличии достаточного аэродромного пространства.

При ограниченном пространстве при заходах на малых удалениях от торца ВПП (10 км ÷ 15 км) выход на линию курса может выполняться с перерегулированием, особенно, если самолет к 4-ому развороту находится перпендикулярно полосе, т. е. с углом подхода  $\Delta\varphi = 90^\circ$ . К тому же в современных схемах заходов на посадку скорости в зоне аэродрома достаточно большие, для транспортной и военно-транспортной авиации  $V_{пр} = 300 \div 380$  км/ч, что тоже приводит к увеличению перерегулирования [1].

В связи с вышесказанным, в настоящее время используется так называемое векторение, т. е. выведение воздушных судов на траекторию захода на посадку посредством указаний экипажу определенных курсов. При векторении для захода на посадку задачей диспетчера является вывод воздушного судна на траекторию, которая обеспечит выход на предпосадочную прямую за 2—3 км до точки входа в глиссаду, под углом не более 45 градусов (согласно ICAO DOC 4444), а на практике желательно не более 30 градусов.

Следует отметить, что векторение является наиболее действенным способом решения проблемы высокой загрузки воздушного пространства, поскольку позволяет использовать его более эффективно, начиная маневр разворота из различных точек воздушного пространства.

Для сокращения времени пребывания в зоне аэродрома, а также уменьшения дальностей начала маневра разворота к ВПП и расширения области включения режима «Посадка» необходимо найти наиболее благоприятную точку начала разворота при заранее известном промежуточном угле подхода. В данном случае под промежуточным углом подхода понимается угол, на который диспетчер «векторит» направление движения самолета относительно его первоначального положения перед выполнением выхода на линию курса. Это означает, что самолет разворачивается на угол векторения, меньший первоначального угла подхода относительно ВПП.

Методика векторения с переходом на промежуточный угол подхода обеспечивает выполнение разворотов с допустимым перерегулированием практически во всем диапазоне дальностей при различных начальных курсах к ВПП, что существенно облегчает пилотирование летчику при выполнении сложных маневров.

Однако для получения аperiodических плавных процессов вписывания в курсовую зону практически без перерегулирования следует точно определять точку начала разворота в зависимости от угла подхода к ВПП и скорости полета.

Реализованный в настоящее время алгоритм захода на посадку использует в качестве основного сигнала для управления сигнал  $\varepsilon_k$  — отклонение от линии курса по ИЛС, который является гарантированным только в линейной зоне, т. е. в зоне  $\varepsilon_k = \pm 2,4^\circ$  или 0,2 ргм (разность глубин модуляции), в нелинейной же зоне сигнал искаженный и использовать его для расчета точки начала разворота некорректно.

Для того чтобы точно рассчитать точку начала разворота, можно использовать координату  $Z$  — боковое удаление от оси ВПП, которую выдает навигационная система. Расчетная точка начала разворота будет зависеть от курса подхода к ВПП и скорости выполнения маневра разворота к линии курса ВПП.

К качеству процесса выхода на курсовую зону предъявляются следующие требования:

1. Должен обеспечиваться выход на равносигнальную зону курса по  $\varepsilon_k$  с перерегулированием не более чем 0,1 ргм (в штилевых условиях) с углом подхода не более  $115^\circ$ ;
2. В процессе выхода на равносигнальную зону курса по  $\varepsilon_k$  угол крена  $\gamma$ , угловая скорость крена  $\omega_x$  и угловое ускорение  $\omega'_x$  не должны превышать (по модулю) следующих величин:

$$\gamma \leq [\gamma_{\text{доп.}} = F(H^*)],$$

$$F(H^*) = \begin{cases} (0,28 H^*) + 2, & \text{при } 15 \leq H^* \leq 100 \text{ м} \\ 30^\circ, & \text{при } H^* > 100 \text{ м} \end{cases},$$

где  $H^*$  — высота в метрах по радиовысотомеру (РВ) или,  $H_{\text{отн}}$  при отказе РВ,

$$\omega_x \leq 6^\circ/\text{с},$$

$$\omega'_x \leq 3^\circ/\text{с}^2.$$

3. Переходный процесс выхода на линию курса должен заканчиваться до момента захвата глиссады.

Как было сказано выше, при векторении выполняется переход на различные заранее известные углы подхода, с которыми диспетчер «векторит» траекторию движения самолета ( $\Delta\varphi = 30 \div 45^\circ$ ).

– при нахождении самолета *за пределами линейной зоны КРМ* ( $|\varepsilon_{к_0}| \geq 2,4^\circ$ ) промежуточные углы подхода формируются следующим образом:

- переход на  $\Delta\varphi_{\text{вект}}$  при начальном угле подхода ( $\Delta\varphi = 30^\circ \div 45^\circ$ )  $< |\Delta\varphi_0| \leq 115^\circ$ ;
- переход на  $30^\circ$  при начальном угле подхода  $|\Delta\varphi_0| < 30^\circ$  для обеспечения более эффективного вписывания в курсовую зону при малых углах подхода к ВПП ( $\Delta\varphi_0 = 20^\circ, 10^\circ, 0^\circ$ );

– при включении режима «Посадка» *в линейной зоне КРМ* ( $|\varepsilon_{к_0}| < 2,4^\circ$ ) самолет разворачивается к линии курса *без выхода на промежуточный угол подхода*.

Сокращение времени разворота особенно важно при малых удалениях от торца ВПП (12–10 км), т. к. для выполнения захвата глиссады необходимо нахождение боковых параметров в пределах: по сигналу отклонения от линии курса  $|\varepsilon_{к}| \leq 0,2$  ргм и по отклонению путевого угла  $|\Delta\varphi_0| < 30^\circ$  — что препятствует захвату «ложных» глиссад.

### Методика выполнения режима «Посадка» с использованием координаты $Z$

Для обеспечения более точного вписывания в курсовую зону магистрального самолета необходимо определять момент начала доворота в сторону ВПП по боковому отклонению от оси ВПП ( $Z$ ), рассчитанному в навигационном комплексе.

Первоначально самолет переходит на промежуточный угол подхода, указанный диспетчером, так называемый угол векторения, в режиме стабилизации углового положения (Заданный курс / Заданный путевой угол).

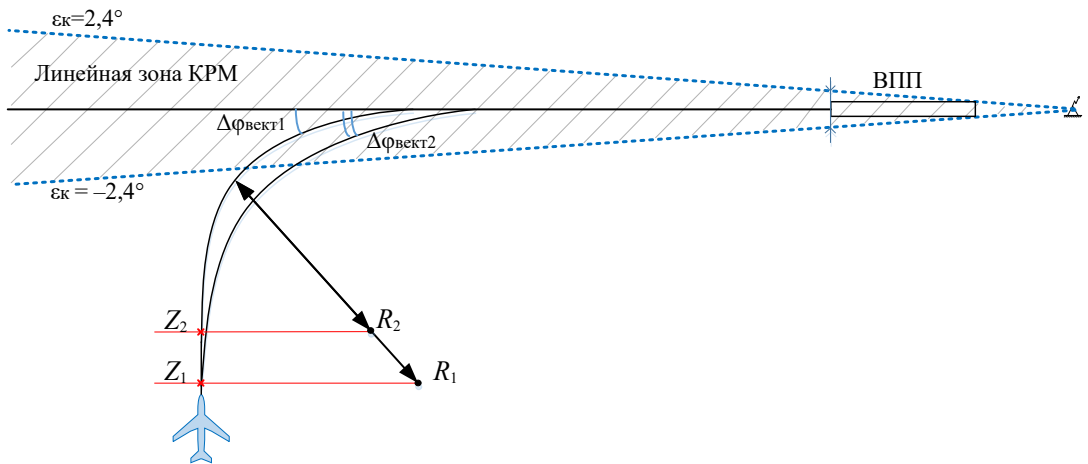


Рис.1. Выполнение выхода на линию курса методом векторения

На рис. 1 показано, как меняется радиус разворота и точка начала разворота в зависимости от угла векторения, на который разворачивается самолет при выходе на линию курса ВПП.

Известно, что радиус разворота самолета зависит от скорости разворота и угла крена, с которым выполняется разворот:

$$R = \frac{(V_{\text{пут}})^2}{g \operatorname{tg} \gamma_{\text{max}}},$$

где  $\gamma_{\text{max}} = 30^\circ$  — постоянный угол крена для автоматической посадки,

$V_{\text{пут}}$  — путевая скорость [км/ч],

$g = 9,81$  — ускорение свободного падения [м/с<sup>2</sup>].

Момент начала разворота можно рассчитать по координате  $Z$ , используя модуль разности заданного угла векторения и курса ВПП  $|\Delta\varphi_{\text{вект}}|$  в соответствии со следующей зависимостью:

$$Z_{\text{зад}} = 0,177(V_{\text{пут}})^2(1 - S_{\text{корр}}) + 0,140(V_{\text{пут}})^2 \sin(|\Delta\varphi_{\text{вект}}| - S_{\text{корр}}) + Z_{\text{упр}},$$

где  $S_{\text{корр}} = \sin(90^\circ - \Delta\varphi_{\text{вект}} + \varphi_{\text{корр}})$ .

$\varphi_{\text{корр}} = 33,6 - 0,184 V_{\text{пут}} / 3,6$  — корректирующая составляющая угла подхода, зависящая от скорости разворота.

При воздействии неблагоприятного бокового ветра [2] разворот следует начинать несколько раньше, т. е. с некоторым упреждением, зависящим от разницы между приборной скоростью  $V_{\text{пр}}$  и путевой скоростью  $V_{\text{пут}}$ , определяющей силу ветра.

$Z_{\text{упр}}$  — упреждение по боковому отклонению при наличии ветра (м), которое пропорционально выражению  $(V_{\text{пр}} - V_{\text{пут}})K_{\text{VETR}}$ , где  $K_{\text{VETR}}$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от модуля разности заданного угла векторения и курса ВПП.

Таким образом, при боковом отклонении самолета  $Z$  менее  $Z_{\text{зад}}$  начинается маневр разворота к линии курса с заданным углом векторения, подключение же алгоритма «Посадка» выполняется в линейной зоне КРМ для дальнейшего доворота в сторону ВПП по сигналам  $\varepsilon_{\text{к}}$  и  $\Delta\varphi$ .

Для углов векторения  $\Delta\varphi_{\text{вект}}$  менее  $30^\circ$  следует подключать алгоритм «Посадка» сразу после нажатия кнопки «ПОС», что должно обеспечивать выход самолета на угол подхода  $\Delta\varphi = 30^\circ$  на малых удалениях от ВПП  $D = 10 \div 15$  км.

Следует также отметить, что координата  $Z$  от навигационного комплекса используется только для расчета начальной точки выполнения разворота к оси ВПП, после включения алгоритма «Посадка» информация от навигационного комплекса не используется [3].

Особенно важно знать точку начала разворота на аэродромах с повышенной крутизной курсовой зоны ( $S_{\text{КК}_{\text{max}}}^{\prime}$ ), т. е. на аэродромах с увеличенной длиной ВПП (4 ÷ 5 км) с узкой курсовой зоной, где величина перерегулирования по сигналу  $\varepsilon_{\text{к}}$  будет больше.

На некоторых аэродромах в связи с особенностями рельефа местности предусмотрено сохранение первоначального угла подхода, например  $\Delta\varphi = 90^\circ, 70^\circ, 60^\circ$ , и векторение выполняется без перехода на некоторый меньший промежуточный угол. В таблице 1 показано, что при расчете точки начала разворота  $Z_{\text{зад}}$ , даже на малых дальностях ( $D = 15 \div 12$  км от торца ВПП), перерегулирование в этих случаях не превышает по  $\varepsilon_{\text{к}} = 0,058$  ргм при допуске  $\varepsilon_{\text{к}} = 0,1$  ргм.

Таблица 1.

Угол подхода	$\varepsilon_{\text{к}}$ (ргм)	$Z$ (м)
90°	-0,03	56
90° с ветром	-0,058	177
60°	-0,008	19

Без расчета координаты  $Z$  в таких случаях на тех же дальностях перерегулирование по  $\varepsilon_{\text{к}}$  превышает 0,2 ргм, т. е. практически достигает границы линейной зоны КРМ, что недопустимо.

На графиках сравнения выполнения маневра доворота к ВПП из расчетной точки  $Z_{\text{зад}}$  и без расчета (рис. 2) представлены заходы на посадку с различными начальными условиями (дальности от ВПП, скорости разворота, крутизна зоны, ветровые возмущения), которые демонстрируют явное преимущество качества переходных процессов выхода на линию курса ВПП, выполненных с предварительным расчетом точки начала разворота по координате  $Z$ .

Таким образом, использование информации от навигационного комплекса о боковом удалении от оси ВПП  $Z$ , позволяет рассчитать точку начала разворота так, чтобы все выходы на линию курса выполнялись без перерегулирования или с минимальным перерегулированием, что особенно важно в условиях ограниченного воздушного пространства в зоне аэродрома при плотной загруженности аэропорта посадки.

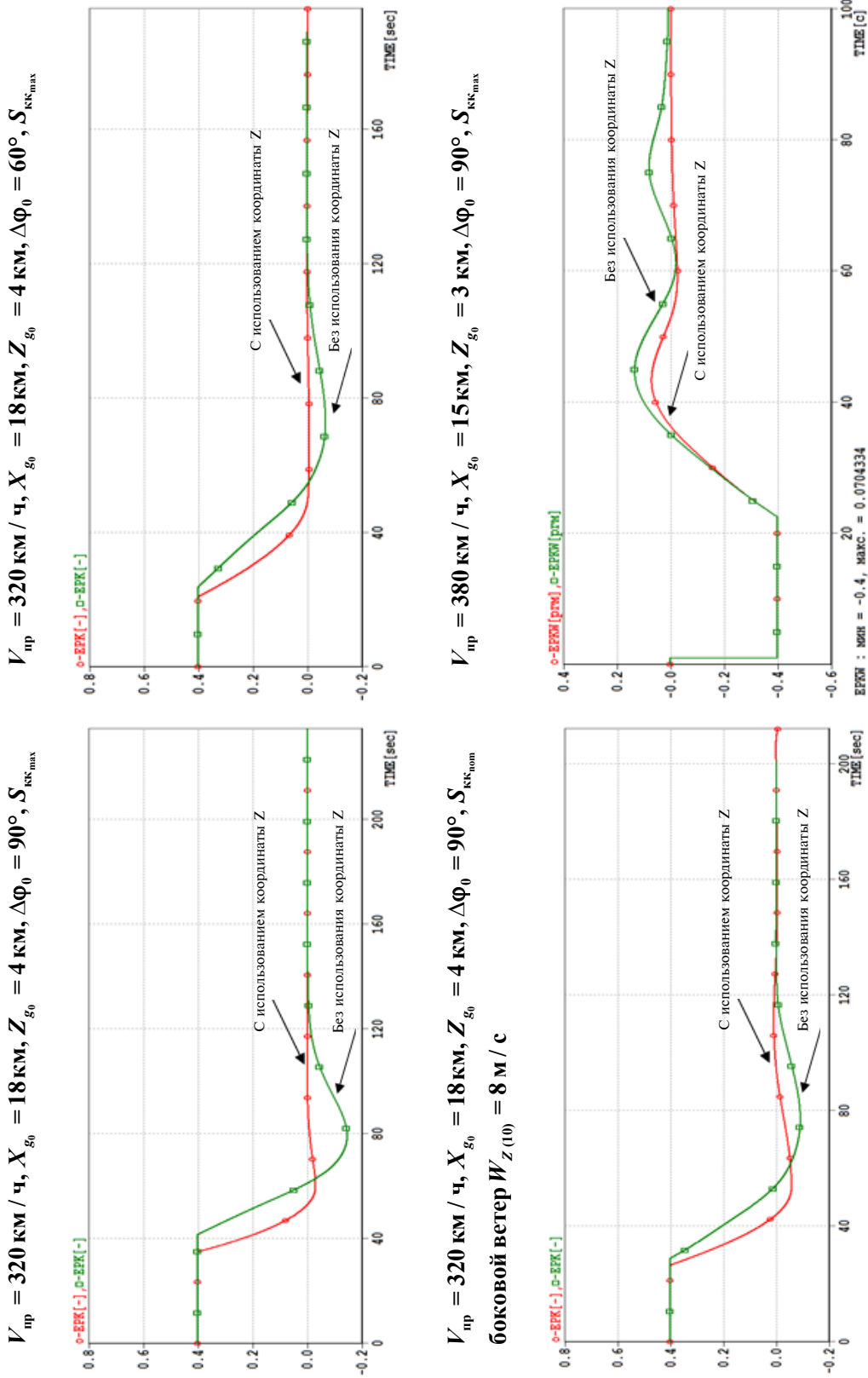


Рис. 2. Сравнение переходных процессов с использованием координаты Z и без использования

## Литература

1. *Гребёнкин А. В.* Способ стабилизации заданной высоты полета. Патент на изобретение № 2588174. Заявка № 2015120724.
2. *Хлгатын С. В., Володина Л. А.* Способ автоматического формирования вспомогательных сигналов на наземном участке движения самолета. Патент на изобретение № 2733666. Заявка № 2019133195. Приоритет изобретения 18.10.19 г. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 06.10.20 г.
3. *Гребёнкин А. В.* Реализация универсального способа траекторного управления в вертикальной плоскости применительно к режимам САУ «Автоматический взлет», «Смена эшелона», «Стабилизация высоты», «Посадка». II Всероссийская научно-техническая конференция «Моделирование авиационных систем». Сборник тезисов докладов. – М: ФГУП «ГосНИИАС», 2013. – 69–70 с.