

**УДК 692.7.05.001**

**ББК 0571.552**

**Д463**

**В. Ф. Диль**

**Иркутск, Россия**

**А. А. Козлов**

**Иркутск, Россия**

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРАВЛЯЕМОГО ПРОДОЛЬНОГО  
ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО СУДНА НА ЭТАПЕ ПОСАДКИ  
В СРЕДЕ MATHCAD**

В данной статье описаны основные способы управления воздушным судном и представлена методика и алгоритм выполнения исследований динамики управляемого продольного движения на этапе посадки воздушного судна (ВС) в программной среде MathCad. Исследование осуществляется при различных законах управления (ЗУ) системы автоматического управления при заходе на посадку путем численного моделирования динамики управляемого продольного движения ВС.

**Ключевые слова:** система посадки, система автоматического управления, система директорного управления, MathCad, математическая модель, воздушное судно, этап посадки, моделирование.

**V. F. Dil'**

**Irkutsk, Russia**

**A. A. Kozlov**

**B. Irkutsk, Russia**

# **MATHCAD SOFTWARE DEVELOPMENT FOR RESEARCH OF CONTROLLED LONGITUDINAL MOTION OF AN AIRCRAFT ON LANDING**

The article describes the main aircraft control techniques and presents a technology and an algorithm of exploring the controlled longitudinal dynamics on aircraft landing in the MathCad environment. The research is carried out under the action of different control laws of the automatic control system on approach by means of computational modeling of the aircraft controlled longitudinal dynamics.

**Key words:** landing system, automatic control system, director control system, MathCad, mathematical model, aircraft, the phase of landing, modeling.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Самым ответственным этапом полета является заход на посадку и посадка. К тому же, если эти этапы протекают в сложных метеорологических условиях, при ограниченности времени на принятие решений может произойти изменение заданной траектории полета, потеря координации управления, что нередко приводит к летным происшествиям [Барсуков, 2008, с. 55].

## **1 ЭТАПЫ ПОСАДКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

Заход на посадку начинается после выполнения предпосадочного маневра и определяется в горизонтальной плоскости выходом в точку начала четвертого разворота. В вертикальной плоскости начало режима захода на посадку определяется моментом пересечения глиссады.

При рассмотрении этого этапа можно выделить несколько участков. В горизонтальной плоскости: выход на курсовую линию, следование по курсовой линии, устранение рассогласования между курсом самолета и курсом взлетно-посадочной полосы (ВПП) при приземлении, после посадочный пробег. В вертикальной плоскости: выход на глиссаду, следование по глиссаде, выравнивание, приземление и опускание носа.

В горизонтальной плоскости при выходе воздушного судна на курсовую линию им управляют таким образом, чтобы при ограниченном крене совме-

стить вектор путевой скорости с курсовой линией до пересечения глиссады [Федоров, 1994, с. 100].

## **2 ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАЕКТОРНЫМ ДВИЖЕНИЕМ САМОЛЕТА ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ**

### **2.1 Система директорного управления**

Стабилизация заданной траектории полета воздушного судна по пилотажно-навигационному прибору представляет для летчика в условиях дефицита времени сложную задачу. Это объясняется тем, что при выполнении операций контроля полета, принятия решения и контроля за результатами перемещений рычага управления от летчика требуется оперативное мышление, что в условиях дефицита информации и при плохих метеорологических условиях сложно выполнимо. Поэтому для обеспечения полета по заданной траектории необходимо снизить уровень логической сложности задач, решаемых в процессе пилотирования воздушного судна, что достигается применением систем директорного управления (СДУ) [Скрышник, 2014, с. 150].

Система директорного управления реализует:

- сбор требующейся информации от датчиков первичной информации;
- операцию обработки над данной информацией;
- выдачу вторичной информации на командный прибор.

Вторичная информация, как правило, является визуальной и отображается посредством специального прибора с использованием командных стрелок, на которые подаются сигналы, пропорциональные разности текущего и заданного угла крена и угла тангажа. В этом способе пилот должен путем отклонения электронов и руля высоты удерживать командные стрелки в среднем положении.

В результате при работе с директорной системой мыслительная деятельность пилота сводится к дедуктивным решениям [Михалев, 1974, с. 140].

### **2.2 Система автоматического управления**

Автоматическое управление траекторным движением воздушного судна обеспечивает практически полное невмешательство пилота в процесс управления. При этом автоматика формирует управляющие сигналы на рулевые по-

верхности, а пилот исключается из контура управления. Его функция построена в задании программы траектории захода воздушного судна на посадку, контролируя выполнение автоматики этой программы. К тому же, если позволяют метеорологические условия, он осуществляет визуальную привязку к наземным ориентирам и может оперативно принять решение об отключении режима автоматического управления с переходом на другой уровень автоматизации [Воробьев, 1995, с. 375].

Общей особенностью этой системы управления является автоматическое отклонение рулевых поверхностей при появлении рассогласования между текущими и заданными значениями траекторных параметров положения и движения воздушного судна [Кузнецов, 2004, с. 111].

### **2.3 Ручной способ управления**

Существуют значимые отличия автоматического способа управления траекторным движением воздушного судна при заходе на посадку от других основных способов.

При ручном или штурвальном способе пилот по наземным ориентирам с использованием автоматических средств улучшения устойчивости и управляемости (демпфер, автомат устойчивости и автомат управляемости) выводит летательный аппарат на требуемую траекторию для завершения захода на посадку.

При совмещенном режиме осуществляется чередование директорного и автоматического управления на отдельных участках траектории полета, когда пилот прекращает воздействия на органы управления. То есть начало одного режима совмещено и согласовано с концом предыдущего режима [Красовский, 1985, с. 178].

## **3 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

### **В СРЕДЕ MATHCAD**

В процессе обучения студенты в учебных лабораториях исследуют контуры управления воздушного судна путем математического моделирования динамики управляемого движения.

Тематика работы посвящена параметрическому моделированию контура продольного движения воздушным судном на этапе посадки. Динамика ВС исследуется в лаборатории на персональном компьютере путем моделирования управляемого продольного движения самолета в среде MathCad. Для исследования динамики процессов автоматического управления самолета на этапе захода на посадку в вертикальной плоскости использована математическая модель замкнутой системы «самолет – САУ $_{\varepsilon_r}$ » при наличии внешних возмущений (3.1) [Васильев, 2007, с. 15].

$$\left\{ \begin{array}{l} (p^2 + a_{m_z}^{\omega_z})\vartheta + a_{m_z}^{\alpha} \alpha + a_{m_z}^V V + a_{m_z}^{\delta_B} \delta_B = a_{m_z}^{M_z} M_z + a_{m_z}^{\alpha} p \alpha_B \\ -p\vartheta + a_y^{\vartheta} \vartheta + a_y^{\alpha} \alpha + a_y^V V + a_y^{\delta_B} \delta_B = \alpha_B \\ pV + a_x^V V + a_x^{\alpha} \alpha + a_x^{\vartheta} \vartheta = 0 \\ pH - a_y^H (\vartheta - \alpha) = 0 \\ pD + V = 0 \\ \varepsilon_r D - \Delta H = 0 \\ \delta_B - k_{\omega_z} \omega_z - k_{\vartheta} \vartheta + k_{\varepsilon_r} \varepsilon_r + k_{\varepsilon_r} p \dot{\varepsilon}_r = 0 \end{array} \right. \quad (3.1)$$

Контур «самолет – САУ $_{\varepsilon_r}$ » определяется структурой закона управления, который, в общем виде записывается как

$$\delta_B^{CAU_{\varepsilon_r}} - k_{\omega_z} \omega_z - k_{\vartheta} \vartheta + W_{вычi}(p) \cdot \varepsilon_r = 0, i = 1, 2, 3.$$

Передаточная функция  $W_{вычi}(p)$ ,  $i = 1, 2, 3$  при различных законах управления выглядит следующим образом

$$\begin{aligned} W_{выч1}(p) &= k_{\vartheta}^{\varepsilon_r}, \\ W_{выч2}(p) &= k_{\vartheta}^{\varepsilon_r} + p k_{\vartheta}^{\varepsilon_r}, \\ W_{выч3}(p) &= k_{\vartheta}^{\varepsilon_r} + p k_{\vartheta}^{\varepsilon_r} + \frac{k_{\vartheta}^{\varepsilon_r}}{p}. \end{aligned}$$

В программной среде MathCad исследуется полученная математическая модель замкнутой системы «самолет – САУ $_{\varepsilon_r}$ » при наличии внешних возмущений. В процессе исследования изменяется структура закона управления и значения коэффициентов передачи выбранной структуре. При этом для выбранного закона управления методом моделирования по параметрам переходного

процесса определяется оптимальное значение коэффициентов передачи [Васильев, 2015, с. 24].

Путем изменения структуры закона управления и коэффициентов передачи под действием ветровых и моментных возмущений управляемого продольного движения самолета определяется оптимальный контур замкнутой системы «самолет – САУ<sub>ε<sub>г</sub></sub>». При этом вследствие варьирования действующих возмущений на замкнутый контур математической модели по параметрам переходного процесса определяется отклонение самолета ε<sub>г</sub> от заданной траектории глиссады [Красовский, 1973, с. 220].

Структура фрагмента управляющей части рабочей программы исследования показана на *рис. 3.1*.

#### 5) Исследования управляемого продольного движения

Используемый закон управления:

$$\delta_B^{CAU_{\epsilon_r}} - k_{\omega_z} \omega_z - k_{\theta} \theta + k_{\dot{\theta}} \dot{\theta} + p k_{\dot{\theta}} + \frac{k_{\dot{\theta}}}{p} \cdot \epsilon_r = 0$$

а) Задаваемые коэффициенты:

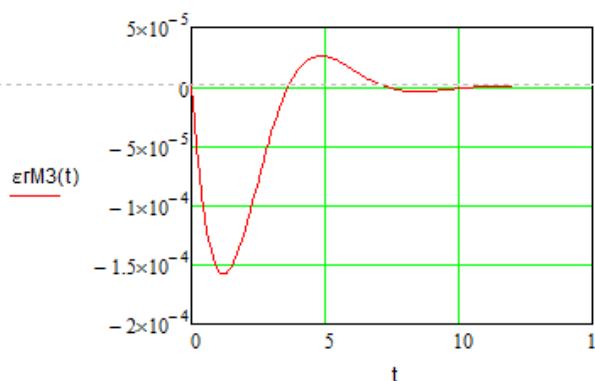
`kεr := 10`   `kεr := 10`   `kεr := 10`

б) Задаваемые возмущения

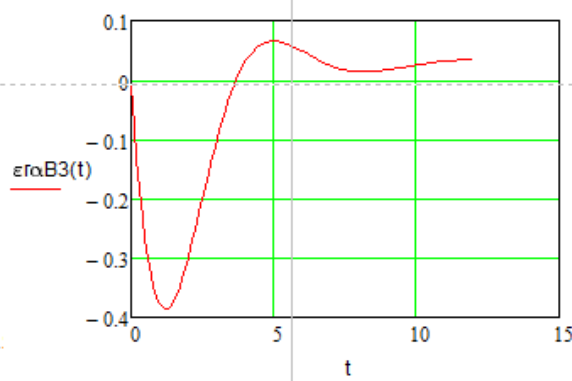
`Mz0 := 10`   `αв := 0.5`

t := 0, 0.1.. 12

Реакция по угловому отклонению от глиссады на моментное возмущение, 3й ЗУ



Реакция по угловому отклонению от глиссады на ветровое возмущение, 3й ЗУ



*Рис. 3.1.* Структура управляющей части рабочей программы исследования продольного движения самолета на этапе посадки

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученная параметрическая модель закона управления САУ<sub>ε<sub>г</sub></sub>, способствует увеличению темпа мышления и формирования у обучающихся умений

работать с большими объемами информации. Представление информации в виде графиков облегчает студентам восприятие динамики движения воздушного судна, чем помогает быстрее усвоить заданный материал, связывая в единое теоретическую информацию и практику, формируя навыки визуальной культуры. Кроме того, работа студентов в разработанном ПО увеличит познания и навыки работы в среде MathCad.

### **Библиографический список**

1. *Барсуков А. Г.* Безопасность полетов воздушных судов. Иркутск: ИВВАИУ (ВИ), 2008. 220 с.
2. *Васильев А. Н.* Mathcad 13 на примерах. М.: Наука, 2007. 312 с.
3. *Васильев А. Н.* Mathcad Самоучитель. Практический подход. М.: Наука и Техника, 2015. 448 с.
4. *Воробьев В. Г.* Автоматическое управление полетом самолетов / В. Г. Воробьев, С. В. Кузнецов. М.: Транспорт, 1995. 381 с.
5. *Красовский А. А.* Системы автоматического управления летательных аппаратов. М.: Наука, 1985. 472 с.
6. *Красовский А. А.* Системы автоматического управления полетом и их аналитическое конструирование. М.: Наука, 1973. 330 с.
7. *Кузнецов С. В.* Пилотажно-навигационные комплексы: пособие по изучению дисциплины. М.: МГТУ ГА, 2004. 36 с.
8. *Михалев И. А.* Системы автоматического и директорного управления самолетом / И. А. Михалев, Б. Н. Окоемов. М.: Машиностроение, 1974. 74 с.
9. *Скрытник О. Н.* Радионавигационные системы воздушных судов. М.: ИНФРА-М, 2014. 348 с.
10. *Федоров С. М.* Автоматизированное управление полетом воздушных судов / С. М. Федоров, В. М. Кейн, О. И. Михайлов. М.: Транспорт, 1992. 94 с.

### **Reference**

1. *Barsukov A. G. (2008).* Aircraft flight safety. Irkutsk: IHMAIS (MI), 2008. 220 p. (in Russian)
2. *Vasil'ev A. N. (2007).* Mathcad 13 via examples. M.: Science, 2007. 312 p. (in Russian)
3. *Vasil'ev A. N. (2015).* Mathcad self-teacher. Practical approach. M.: Science and technology, 2015. 448 p. (in Russian)

4. *Vorob'ev V. G. (1995). Aircraft automatic control / V. G. Vorob'ev, S. V. Kuznecov. M.: Transport, 1995. 381 p. (in Russian)*
5. *Krasovskij A. A.(1985). Aircraft automatic control systems. M.: Science, 1985. 472 p. (in Russian)*
6. *Krasovskij A. A. (1973). Automatic flight control systems and their analytical constructing. M.: Science, 1973. 330 p. (in Russian)*
7. *Kuznecov S. V. (2004). Flight and navigation complexes: textbook for discipline study. M.: MSTU CA, 2004. 36 p. (in Russian)*
8. *Mihalev I. A. (1974). Aircraft automatic and director control systems / I. A. Mihalev, B. N. Okoemov. M.: Machine-building, 1974. 74 p. (in Russian)*
9. *Skrypnik O. N. (2014). Aircraft radio navigation systems. M.: INFRA-M, 2014. 348 p. (in Russian)*
10. *Fedorov S. M. (1992). Automated flight control / S. M. Fedorov, V. M. Kejn, O. I. Mihajlov. M.: Transport, 1992. 94 c. (in Russian)*