Библиографические ссылки

1. *Габасов Р. Ф., Кириллова Ф. М., Крахотко В. В.* Управляемость многоконтурных систем с сосредоточенными параметрами // Автоматика и телемеханика. Т. 21. № 11. 1971. С. 18–25.
2. *Красовский Н. Н.* К теории управляемости и наблюдаемости линейных динамических систем // ПММ. 1984. Т. 28. вып.1.
3. *Крахотко В. В., Размыслович Г. П.* Управляемость линейных систем с запаздыванием по управлению при помощи динамического регулятора. // Материалы XVIII Междунар. науч. конф. по дифференциальным уравнениям "Еругинские чтения–2018". Ч.2. Гродно. 2018.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ЗАДЕРЖКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ДЛЯ БЕСКОНФЛИКТНОГО СЛИЯНИЯ ИХ ПОТОКОВ

С.И. Кумков[1], С.Г. Пятко[2], М.М. Овчинников[1]

[1]Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН
Екатеринбург, Россия

[2]ООО “Фирма НИТА”, Санкт-Перербург, Россия
kumkov@imm.uran.ru, psg_atc@gmail.com, ovchinnikov.m.m@gmail.com

Целью настоящих исследований является разработка алгоритмического и программного обеспечения для перспективных автоматизированных систем управления воздушным движением (АС УВД).

Исследуется применение специальных схем задержки воздушных судов (ВС) для бесконфликтного слияния их потоков в АС УВД.

Данные схемы предварительной задержки были разработаны в соответствии с рекомендациями Eurocontrol и NASA [1, 2]. Схемы размещены на траекториях подхода сливаемых потоков между точками их входа на контроль и общей точкой слияния (рис. 1а). В отличие от стандартных схем (рис. 1б) типа “продольно ориентированный тромбон” [3, 4] исследуемые схемы имеют вид “развернутого полутромбона” (рис. 1в). Такая структура позволяет более точно реализовать необходимую величину задержки управляемого ВС и обеспечить оптимальную (минимально необходимую) суммарную задержку судов для их бесконфликтного слияния в общей точке.

Кроме того, введены алгоритмы расчета необходимой задержки или ускорения (замедления) каждого ВС путем регулирования скорости его движения. Динамика центра масс ВС описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений шестого порядка в соответствии со стандартом [5].

Таким образом, алгоритмы ориентированы на минимальное суммарное время задержки судов всех потоков.

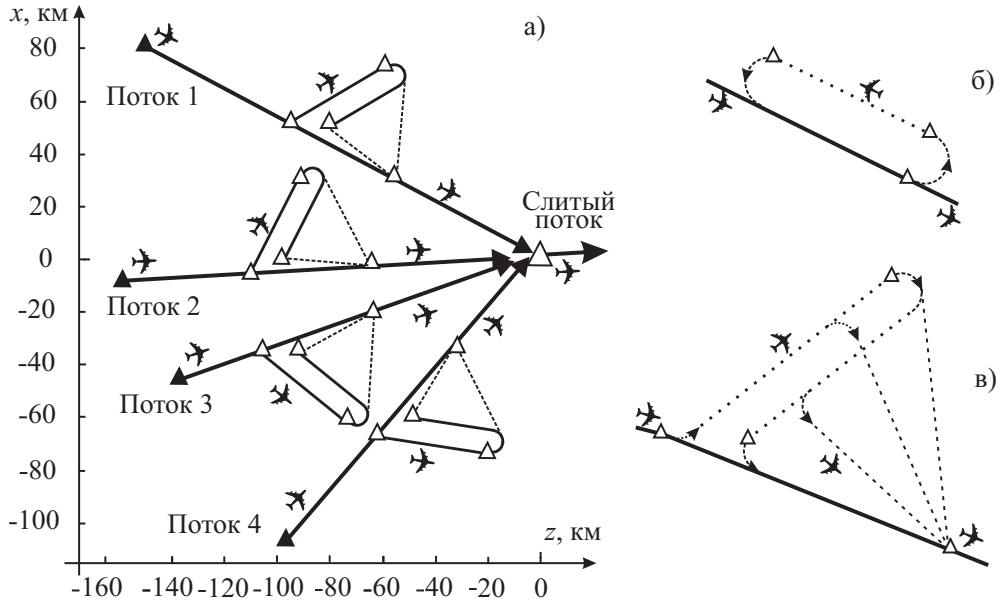

Рис. 1. Модельная зона УВД; а) прибывающие потоки и их слияние; б) схема задержки стандартного типа; в) схема предварительной задержки типа “развернутый полу-тромбон”.

Результаты работы алгоритмов предоставляются диспетчеру в форме рекомендации для обоснованного принятия им решений по выдаче команд управления экипажам судов на всей траектории судна от момента входа на контроль до момента слияния потоков перед заходом на посадку.

Диспетчер имеет возможность как воспользоваться предлагаемой рекомендацией по управлению задержками судов, так и по-прежнему самостоятельно “вручную” принимать решение на коррекцию движения выбранного судна.

Предлагается пример компьютерной анимации движения потоков судов и их бесконфликтного слияния.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-01-00410).

Библиографические ссылки

1. *Eurocontrol Experimental Center.* Point Merge Integration of Arrival Flows Enabling Extensive RNAV Application and Continuous Descent. Operation Services and Environment Definition // Report, July 2010. Eurocontrol Experimental Center, Bretigny-sur-Orge.

2. *NASA.* Air Traffic Management Technology Demonstration–1 (ATD–1). NASA Report FS-2011-10-01-ARC.
3. *Королев Е.Н.* Технологии работы диспетчеров управления воздушным движением. Воздушный транспорт. Москва. 2000.
4. *Пятко С.Г., Красов А.И. (ред)* Автоматизированные системы управления воздушным движением. Санкт-Петербург. Изд. Политехника, 2004.
5. *ГОСТ 20058-80.* Динамика летательных аппаратов в атмосфере. Термины, определения и обозначения. –М.: Госстандарт, 1980. Изд. официальное.

АНАЛИЗ СКАЧКОВ АМПЛИТУДЫ СТАЦИОНАРНЫХ КОЛЕБАНИЙ В РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЯ ДУФФИНГА

А.Ф. Курин

Воронежский государственный университет, Россия
afkurin@mail.com

Неоднородное уравнение Дуффинга [1, 2]

$$\ddot{z} + \Omega^2 z = \varepsilon(\nu z^3 - \gamma\dot{z} + a\cos\Omega_1 t)$$

с $\Omega^2 > 0$, $a > 0$, $\Omega_1 > 0$, $\gamma > 0$ и малым параметром $\varepsilon > 0$ интегрируется асимптотическим методом усреднения. Точка означает производную по t. В первом приближении (метод ван дер Поля) решение, как известно [2], имеет вид $z = b\cos\psi$. При условии $|\Omega - \Omega_1| \sim \varepsilon$ получаем усредненную систему

$$b' = -\tilde{\gamma}b - \chi\sin\theta, \quad \theta' = h - \lambda b^2 - \chi\frac{\cos\theta}{b}, \tag{1}$$

где $\theta = \psi - \Omega_1 t$ – медленная фаза, штрихом обозначено дифференцирование по $\tau = \varepsilon t$. Параметры определяются выражениями: $\tilde{\gamma} = \gamma/2,\ \chi = a/(2\Omega),\ h = (\Omega - \Omega_1)/\varepsilon,\ \lambda = 3\nu/(8\Omega)$. При $b' = \theta' = 0$ имеем систему для постоянных b и θ – амплитуды и фазы стационарных колебаний.

После исключения θ из (1) получаем формулу

$$h^{(1,2)} = \lambda\rho \pm \sqrt{\chi^2/\rho - \tilde{\gamma}^2},$$

где $\rho = b^2$. Это выражение связывает амплитуду стационарных колебаний с частотной растройкой h (рис. 1). Известно [1, 2], что на участке NL между минимумом и максимумом функции $h^{(1)}$ стационарные