

УДК 656.7.052 (075.8)

© С. И. Кумков

УПРАВЛЕНИЕ ВОЗДУШНЫМ СУДНОМ В ЗАДАЧЕ ВОЗВРАЩЕНИЯ НА ПОЛЕТНЫЙ ПЛАН¹

Рассматривается задача возвращения воздушного судна на заданный полетный план. С учетом существующих нормативных и технологических правил по управлению воздушным движением предложен алгоритм выбора допустимого контрольного пункта плана и расчета управления движением судна.

Ключевые слова: воздушное судно, динамическая система, полетный план, управление, возвращение.

§1. Введение

В настоящее время увеличение пропускной способности зон управления воздушным движением (УВД) в значительной степени достигается повышением интенсивности движения [1]. При этом возникает потребность иметь в составе программного обеспечения вычислительного комплекса автоматизированной системы УВД группу специализированных алгоритмов, решающих задачу возвращения судна (ВС) на его полетный план (ПП). Эти алгоритмы должны быть подсказчиком, который анализирует текущее положение и направление движения контролируемого ВС, вырабатывает рекомендацию диспетчеру об очередном допустимом пункте (ПД) плана и рассчитывает всю вспомогательную информацию (программное управление ВС и прогнозируемую траекторию движения данного ВС на рекомендуемый ПД и далее по плану). Алгоритмы должны быть быстрыми и работать в реальном времени.

§2. Алгоритмы возвращения и синтез управления ВС

Для решения задачи возвращения были разработаны алгоритмы, опирающиеся на методы оптимального управления динамическими системами и на использование совокупности нестрогих правил существующих технологий УВД [1,2]. Специфика задачи состоит в том, что руководящие правила определяют вид траекторий движения судна: разворот на пункт — прямое движение на пункт. По своей сути это оптимальные траектории, минимизирующие время достижения заданного пункта при ограничении на радиус разворота судна. Далее, угол подхода такой траектории к пункту ограничивается величиной $\pm 45^\circ$ относительно оси следующего отрезка ПП. Кроме того, для возвращения судна желательно выбирать пункт плана, ближайший по полету. Формализация данных нестрогих правил позволила разработать весьма простые по форме и минимальные по вычислительным затратам алгоритмы, содержащие следующие процедуры: привязка положения ВС к соответствующему отрезку ПП; выбор допустимого контрольного пункта для возвращения на ПП; расчет программного управления для движения ВС на выбранный пункт; прогноз дальнейшего движения ВС по заданному ПП.

Процедура привязки текущего положения ВС (рис. 1а) соотносит его положение с ближайшим текущим отрезком ПП (рис. 1а, ПД_{*i-1*}–ПД_{*i*}, тонкая сплошная линия и перпендикуляры к ней) и определяет первый пункт (ПД_{*i*}), с которого начинается просмотр вперед контрольных пунктов ПП. Процедура выбора допустимого контрольного пункта определяет номер ПД вперед по плану, куда допустим вывод ВС по стандартной траектории с учетом ограничений на динамику его движения (на минимальный радиус разворота ВС).

Суть алгоритма выбора поясняется на рис. 1. Пусть положение ВС привязано к отрезку ПД_{*i-1*}–ПД_{*i*}, при этом анализируется возможность выхода ВС в ближайший ПД_{*i*}. Ось следующего отрезка ПД_{*i*}–ПД_{*i+1*} (рис. 1а, штриховая линия) продолжается (штрих-пунктирная линия) в сторону ПД_{*i-1*}. На продолжении на расстоянии $R_{\text{упр}} = 2r$ (r – минимальный радиус разворота данного ВС) вводится вспомогательная упреждающая точка (белый кружок). Симметрично

¹Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Динамические системы и теория управления» при финансовой поддержке УрО РАН (проект 12–П–1–1002) и РФФИ (гранты №№ 10–01–96006, 11–01–12088–офи–м).

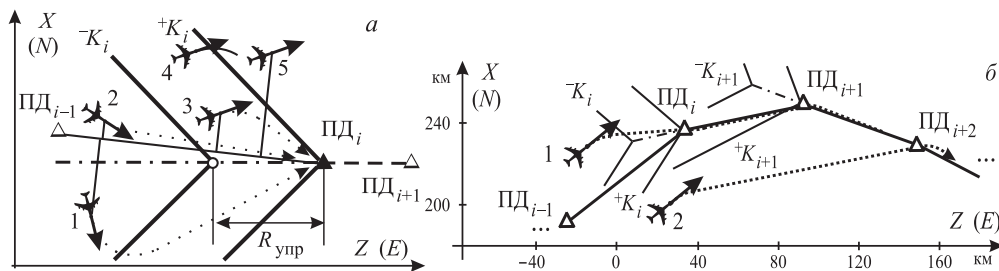


Рис. 1. Выбор допустимого контрольного пункта и синтез управления судном

относительно линии продолжения строятся: конус $+K_i$ допустимых траекторий выхода в ПД $_i$ (с вершиной в данном ПД) и конус $-K_i$ (с вершиной во вспомогательной точке, белый кружок) тривиальных начальных позиций ВС. Углы раствора конусов составляют $\pm 45^\circ$; образующие конусов нанесены жирными прямыми.

Рассмотрим характерные ситуации 1–5 (рис. 1а) положения ВС при практически разумных направлениях его движения в данных конусах. Если ВС находится в конусе $-K_i$ (позиции 1 и 2), то в силу построения этого конуса при любых *реальных* значениях путевого угла (направления движения отмечены жирными стрелками) существует стандартная траектория быстрого выхода ВС в ПД $_i$ (точечные кривые) с допустимым углом подхода к этому пункту. Когда ВС находится вне конуса $-K_i$, но в конусе $+K_i$ (позиция 3), то стандартная траектория быстрого выхода ВС в ПД $_i$ (точечная кривая) с допустимым углом подхода к этому пункту существует только для некоторых позиций и значений путевого угла. В этом случае делается анализ возможности выхода и (при положительной ответе) с помощью стандартных методов штурманских расчетов [1, 2] выполняется построение требуемой траектории, одновременно определяется соответствующее программное управление ВС. Но в позиции 4 или когда ВС находится вне конуса $+K_i$ (позиция 5), при заданных ограничениях стандартный выход в пункт ПД $_i$ невозможен. Алгоритм переходит к анализу допустимости очередного пункта ПД $_{i+1}$ (рис. 1а).

На рис. 1б показаны результаты моделирования работы алгоритмов в двух ситуациях. В ситуации 1 ВС находится в конусе $-K_i$ и назначается пункт ПД $_i$. В ситуации 2 ВС находится как вне конуса $+K_i$, так и вне конуса $+K_{i+1}$. Поэтому в соответствии с рекомендуемыми правилами судну назначается ближайший следующий пункт ПД $_{i+2}$. Таким образом, указанная система конусов позволяет конструктивно анализировать ситуацию, выбирать допустимый ПД и строить соответствующий маневр – траекторию выхода в него. По сути, предложенный алгоритм реализует технически простой и наглядный синтез управления судном.

Алгоритмы могут быть полезны при разработке перспективных автоматизированных систем УВД.

Список литературы

1. Пятко С.Г., Красов А.И. и др. Автоматизированные системы управления воздушным движением. Санкт-Петербург: Изд. Политехника, 2004.
2. Королев Е.Н. Технологии работы диспетчеров управления воздушным движением. Москва: Воздушный транспорт, 2000.

Поступила в редакцию 01.02.2012

S. I. Kumkov

Control of aircraft in a problem of re-entry onto the flight plan

Problem of an aircraft re-entry onto the given flight plan in an automated air traffic control system is considered. Algorithms for choosing the admissible check-point of the flight plan and elaboration of control of aircraft are proposed.

Keywords: aircraft, flight plan, re-entry, admissible check-point, control.

Mathematical Subject Classifications: 90B99

Кумков Сергей Иванович, к.т.н., старший научный сотрудник, Отдел динамических систем, Институт математики и механики УрО РАН, 620219, Россия, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 16. E-mail: kumkov@imm.uran.ru

Kumkov Sergei Ivanovich, Candidate of Engineering, Senior Researcher, Department of Dynamical Systems, Institute of Mathematics and Mechanics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. S. Kovalevskoi, 16, Yekaterinburg, 620219, Russia