

**ФГУП ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ «АЭРОНАВИГАЦИЯ»**

ISSN 1992-4860



НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК ГосНИИ "АЭРОНАВИГАЦИЯ"

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

№ 11

**ОРГАНИЗАЦИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА
БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛЕТОВ**

Москва 2012

УДК 656.7.052 (075.8)

PROBLEM OF AIRCRAFT RE-ENTRY ONTO THE FLIGHT PLAN IN AUTOMATED AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEM

*Dr. Sci. Tech., senior research scientist S.I. Kumkov,
Dr. Sci. Tech., professor S.G. Pyatko*

Problem of an aircraft re-entry onto the given flight plan in an automated air traffic control system is considered. A new algorithm for choosing the admissible check-point of the flight plan is proposed.

Keywords: flight plan, aircraft, re-entry, admissible check-point, algorithm for choice.

ЗАДАЧА ВОЗВРАЩЕНИЯ ВОЗДУШНОГО СУДНА НА ПОЛЕТНЫЙ ПЛАН В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УВД

Кумков С.И., Пятко С.Г.

Рассматривается задача возвращения воздушного судна на заданный полетный план. Предложен алгоритм выбора допустимого контрольного пункта плана и расчета информации, необходимой для принятия диспетчером обоснованного решения по управлению движением данного судна. Разработка выполнена с учетом существующих нормативных и технологических правил по УВД. Приводятся результаты моделирования работы алгоритмов.

Ключевые слова: полетный план, воздушное судно, возвращение, контрольный пункт, алгоритм выбора.

Введение

В настоящее время увеличение пропускной способности зон управления воздушным движением (УВД) в значительной степени достигается уменьшением норм эшелонирования [1], что приводит к ситуациям перегрузки диспетчера при наблюдении за всей воздушной обстановкой. При этом для обеспечения безопасности движения диспетчеру часто необходимо принимать решение об отклонении контролируемого воздушного судна (ВС) от заданного плана полета (ПП), а после устранения потенциальной конфликтной ситуации (КС) возвращать судно на плановую траекторию, т.е. перенацеливать его на некоторый контрольный пункт (ПД).

Возникает потребность иметь в составе программного обеспечения вычислительного комплекса автоматизированной системы УВД (АС УВД) группу специализированных алгоритмов, решающих задачу возвращения судна на его полетный план. Эти алгоритмы должны быть быстрым и простым “подсказчиком”, который:

- анализирует текущее положение и направление движения контролируемого ВС;
- вырабатывает рекомендацию диспетчеру об очередном допустимом пункте;
- рассчитывает всю вспомогательную информацию, необходимую диспетчеру для быстрого анализа ситуации и её возможного развития (прогнозируемую траекторию движения данного ВС на рекомендуемый ПД и далее по плану);
- в случае перенацеливания судна диспетчером на иной (чем рекомендуемый) пункт ПП, “подсказчик” автоматически производит перерасчёт прогнозируемой информации и выдаёт её диспетчеру для обеспечения информационной полноты картины.

Для решения задачи возвращения были разработаны алгоритмы, опирающиеся как на методы оптимального управления динамическими системами, так и на использование правил существующих технологий УВД [1,2]. Работа алгоритмов возвращения организована следующим образом:

- диспетчер стандартным образом инициализирует данную группу алгоритмов;

- далее диспетчер выбирает воздушное судно, траекторию движения которого необходимо изменить, уводить с ПП или возвращать на полетный план;
- при этом осуществляется автоматический запуск алгоритмов, выбор допустимого (рекомендуемого) ПД и расчёт соответствующей информации;
- диспетчеру предоставляется возможность предварительного просмотра вариантов целеуказания на имеющиеся пункты ПП с одновременной визуализацией прогнозируемых траекторий и моментов выхода для окончательного принятия решения;
- после проверки диспетчер по стандартной технологии передаёт своё решение экипажу;
- для прекращения контроля возвращения этого судна программа закрывается.

При наличии данного программного обеспечения за диспетчером остаётся задача контроля обстановки в целом, обеспечения безопасности и, в случае необходимости, принятия решения на перенацеливание контролируемого ВС на иной пункт ПП. Схема взаимодействия диспетчера, подсистем АС УВД, алгоритмов задачи возвращения и алгоритмов визуализации представлена на рис.1.

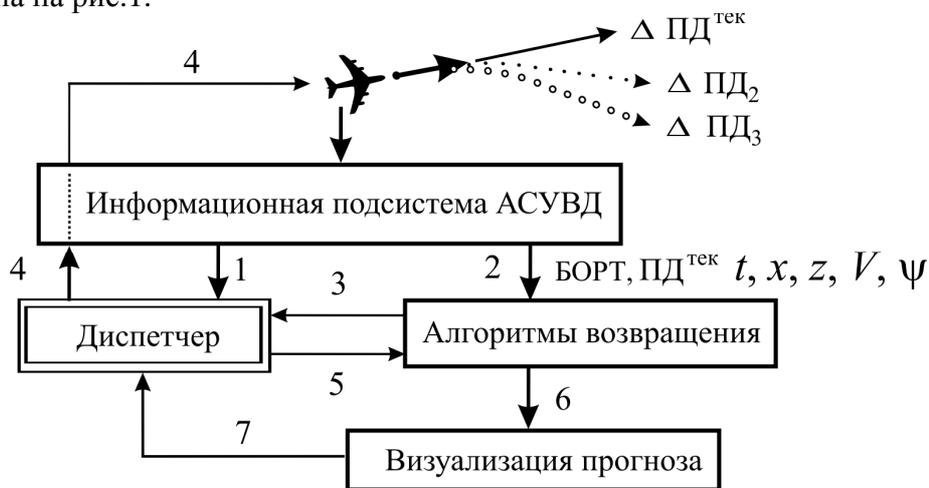


Рис. 1

На рис.1: маркер-самолёт – направление полета судна на текущий ПД^{тек} по его плану; жирная стрелка – путевая скорость; тонкая сплошная стрелка – текущее направление движения; чёрные кружки – рекомендация на пункт ПД₂ и прогнозируемая траектория, выработанная алгоритмами возвращения; белые кружки – прогнозируемая траектория на назначенный диспетчером пункт ПД₃. Цифрами обозначены: 1 – полная информация диспетчеру о воздушной обстановке; 2 – входная информация для алгоритмов возвращения t, x, z, V, ψ (индекс контролируемого судна, индекс текущего контрольного пункта, обрабатываемого экипажем самостоятельно или ранее заданного диспетчером, текущее время, координаты в горизонтальной плоскости стандартной системы координат УВД, величина и направление путевой скорости); 3 – информация диспетчеру (рекомендуемый контрольный пункт); 4 – информация (команда экипажу контролируемого ВС) по решению, принятому диспетчером; 5 – автоматическая передача или передача самим диспетчером номера ПД на вход алгоритмов возвращения; 6 – подготовка и автоматическая визуализация информации 7 о прогнозируемом движении контролируемого ВС либо на текущий пункт, либо рекомендованный алгоритмом возвращения, либо окончательно назначенный диспетчером.

1. Алгоритмы выбора пункта возвращения

Алгоритмы расчёта возвращения на полетный план содержат следующие процедуры: процедура привязки положения ВС к соответствующему отрезку ПП; процедура выбора допустимого контрольного пункта для возвращения на полетный план; процедура прогнозиро-

вания движения ВС на выбранный (или назначенный диспетчером) пункт ПП и расчёта дальнейшего прогнозируемого движения ВС по данному ПП.

Процедура привязки текущего положения ВС (рис.2а) привязывает его положение к текущему отрезку ПП (рис. 2а, “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 плана. Процедура выбора допустимого контрольного пункта определяет номер ПД “вперед” по плану, куда обеспечивается вывод ВС по стандартной траектории с учётом ограничений на динамику его движения (на минимальный радиус разворота ВС). Алгоритм данной процедуры опирается на использование стандартных схем движения (разворот на ПД и дальнейший прямолинейный полет) с учетом технологического ограничения [1; 2] на направление путевой скорости при выходе на данный ПД. Суть алгоритма поясняется на рис. 2а–б. 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. 2а, штриховая линия) продолжается (штрих-пунктирная линия) в сторону ПД_{i-1}. На продолжении на расстоянии $R_{упр} = 2r$ (r – минимальный радиус разворота данного судна) вводится вспомогательная точка (белый кружок). Симметрично 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 ± 45 град, образующие конусы, нанесены жирными прямыми. Рассмотрим характерные ситуации положения ВС при практически разумных направлениях его движения (рис. 2а, 1 – 5) в данных конусах.

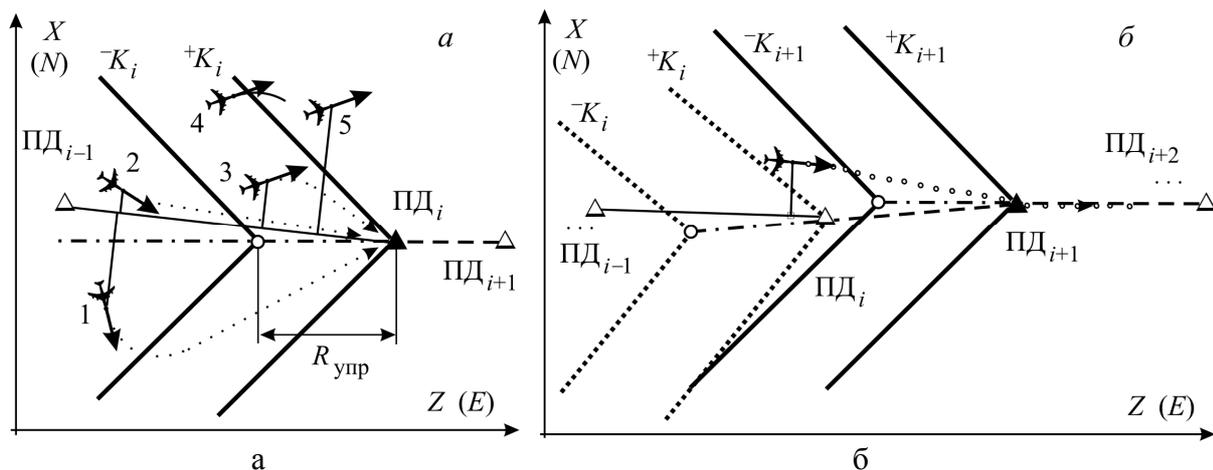


Рис. 2

Если координаты x, z ВС находятся в конусе ^-K_i (позиции 1 и 2), то в силу построения этого конуса при *любых* реальных значениях путевого угла ψ *существует* стандартная траектория быстрого выхода ВС в ПД_i (пунктирные кривые) с допустимым углом подхода к этому пункту. Если координаты x, z ВС находятся вне конуса ^-K_i , но в конусе ^+K_i (позиция 3), то стандартная траектория быстрого выхода ВС в ПД_i (пунктирная кривая) с допустимым углом подхода к этому пункту существует *только для некоторых* позиций и значений путевого угла ψ ; в этом случае анализ возможности выхода и построение требуемой траектории выполняется по стандартным методам штурманских расчетов [1; 2]. В случае 4 стандартный выход в ПД_i невозможен при заданных ограничениях. Если же ВС находится вне конуса ^+K_i (случай 5), то данный ПД_i очевидно недостижим. При этом алгоритм переходит к анализу допустимости очередного ПД_{i+1}.

Таким образом, указанная система конусов позволяет конструктивно анализировать ситуацию, выбирать допустимый (достижимый) ПД и строить соответствующий маневр и тра-

екторию выхода в него. По сути, указанный алгоритм реализует технически простой и наглядный синтез необходимого управления судном.

На рис. 2б приведен пример работы данных алгоритмов: привязка к отрезку “ПД_{i-1}– ПД_i”, недопустимость ПД_i, локализация ВС в конусе K_{i+1} , расчет траектории выхода в ПД_{i+1} и траектории дальнейшего прогнозируемого движения по плану (белые кружки).

2. Результаты моделирования

Для отработки и внедрения алгоритмов в перспективные системы АС УВД было выполнено их полномасштабное программирование на языке С++. Общий вид диалогового окна пакета показан на рис. 3 с картиной модельного полетного плана.

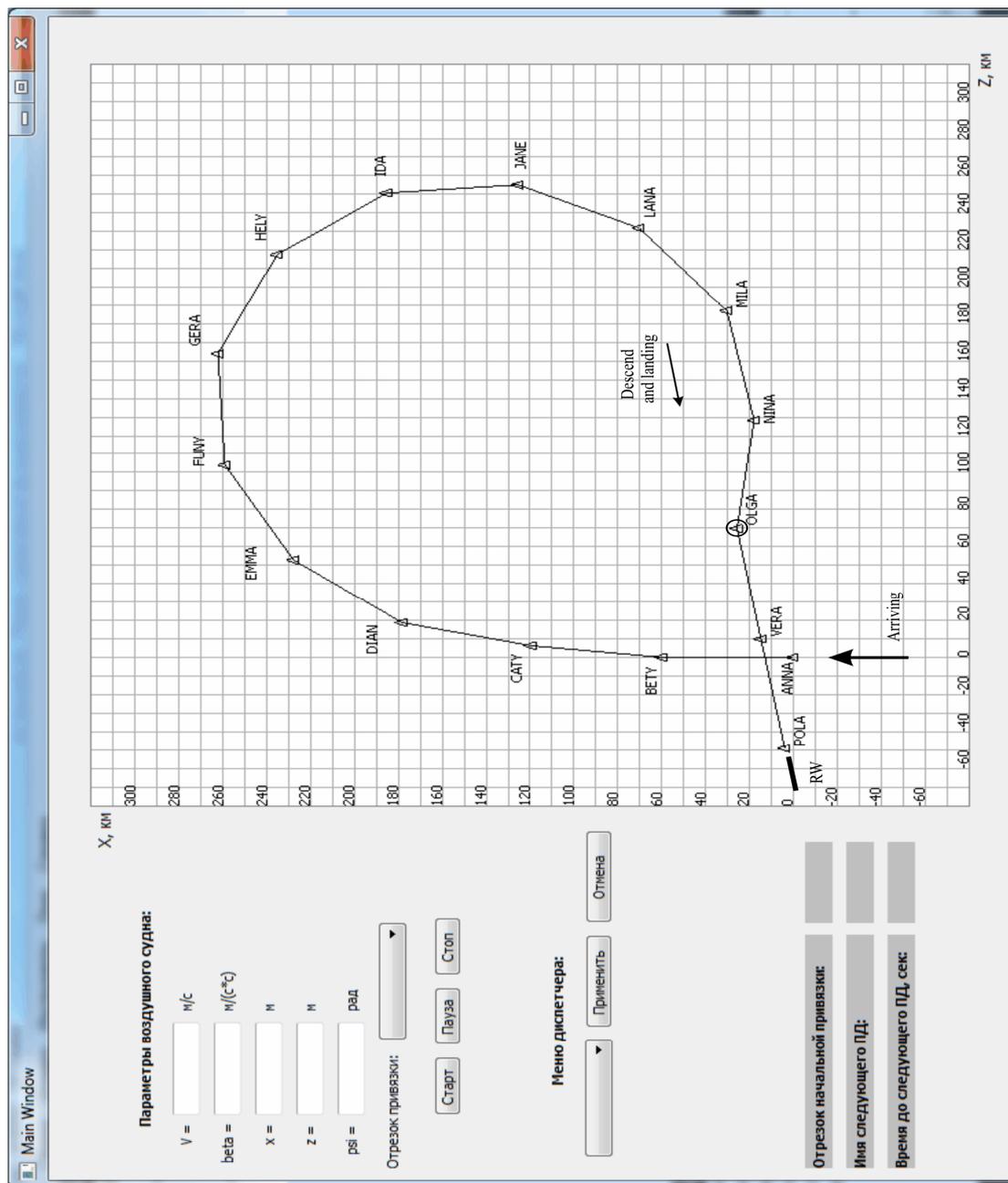


Рис. 3

Программа моделирует движение ВС в реальном времени. Перед началом моделирования задаются (окна меню “Параметры воздушного судна”, рис. 3): скорость ВС, его макси-

мальное допустимое боковое ускорение, начальные координаты, путевой угол и последний отрезок привязки. Картина на рис. 4 иллюстрирует поиск диспетчером допустимого ПД и гибкость работы алгоритмов выбора рекомендуемого ПД. В программе реализован диалог с диспетчером – “Меню диспетчера” для анализа целеуказания – изменения ПД. При выборе нового ПД диспетчеру выводится подсказка – прогнозируемая траектория движения ВС к данному ПД и далее по ПП (рис.4, пунктирные и штриховые кривые). Здесь показывается, какой будет прогнозируемая траектория при выборе алгоритмом пункта ЕММА (увеличенный белый маркер). И какова будет прогнозируемая траектория, если диспетчер выберет пункт JANE (чёрный маркер). Прогнозируемые траектории нанесены пунктирными и штриховыми кривыми.

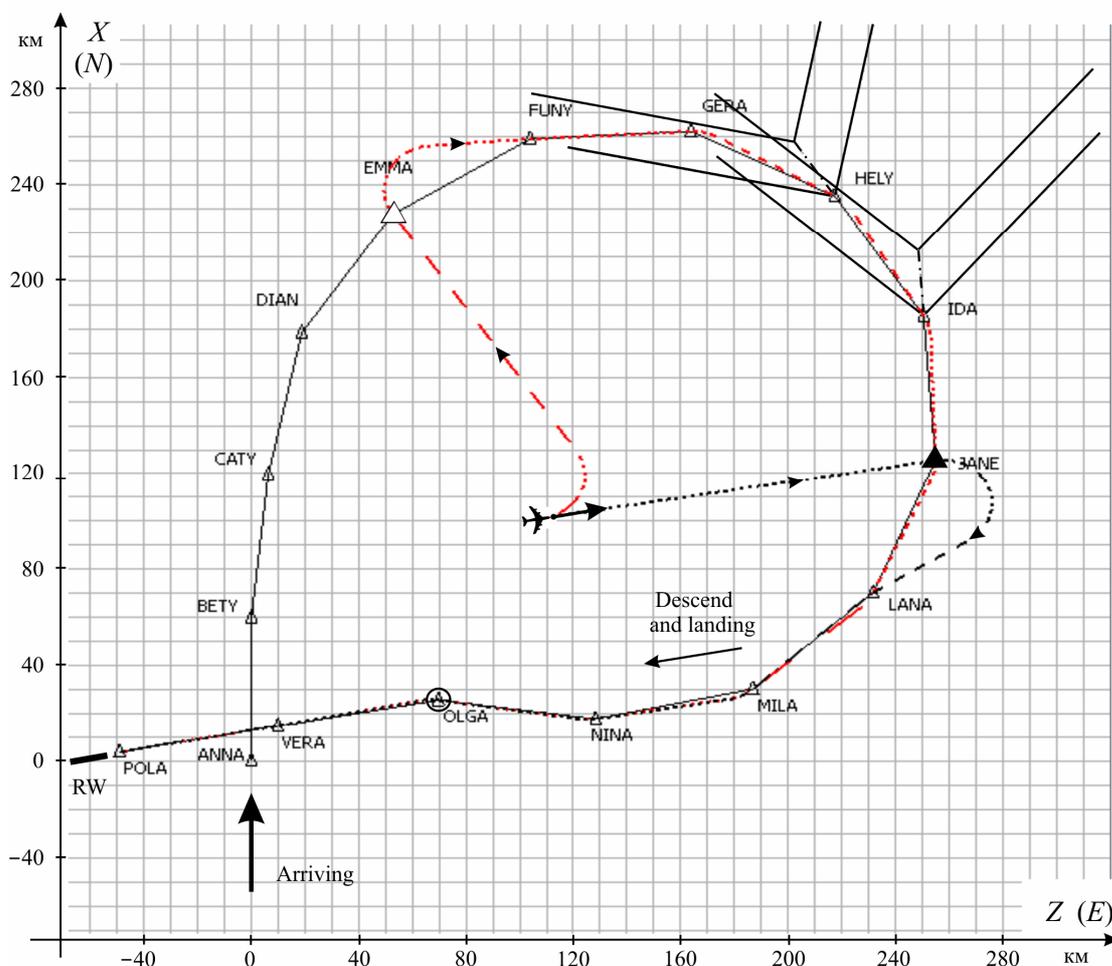


Рис. 4

На рис.4 показано также, что будет происходить, если диспетчер *принудительно* привяжет (через окно “Отрезок начальной привязки”, рис. 3) положение ВС к отрезку GERA–HELY. Поскольку при этом положение ВС не попадает в конусы выхода ни пункта HELY, ни пункта IDA (по аналогии с рис. 2, конструкции решающих конусов отмечены жирными линиями), то алгоритмы возвращения выбирают в качестве рекомендации пункт JANE.

Для удобства просмотра и анализа движения предусмотрен стандартный режим выбора просматриваемого фрагмента и изменения его масштаба.

В целях минимизации вычислительных затрат и расчётного времени принято, что в процедурах прогноза при выходе ВС в заданный ПД для отработки автоматически назначается ПД, следующий по полетному плану. Если рекомендуемый пункт и траектория к нему удов-

летворяют диспетчера, то нажатием подопции “Применить” выбранный ПД назначается экипажу для исполнения. Автоматически эта информация передается и в алгоритмы возвращения и прогноза.

Если же рекомендуемый пункт и прогноз дальнейшего движения к нему (и далее по плану) не удовлетворяют диспетчера, то у него имеется возможность назначения любого другого ПД соответствующим выбором из выпадающего в “Меню диспетчера” списка пунктов плана. Диспетчер может оставить прежнее целеуказание, нажав на кнопку “Отмена” в этом же меню. Для информирования диспетчера и контроля работы алгоритмов возвращения в диалоговом окне (рис.3, слева внизу) выводится вспомогательная информация: отрезок, к которому было привязано контролируемое ВС при срабатывании алгоритма привязки, имя следующего ПД, к которому движется ВС, и время T выхода в назначенный ПД.

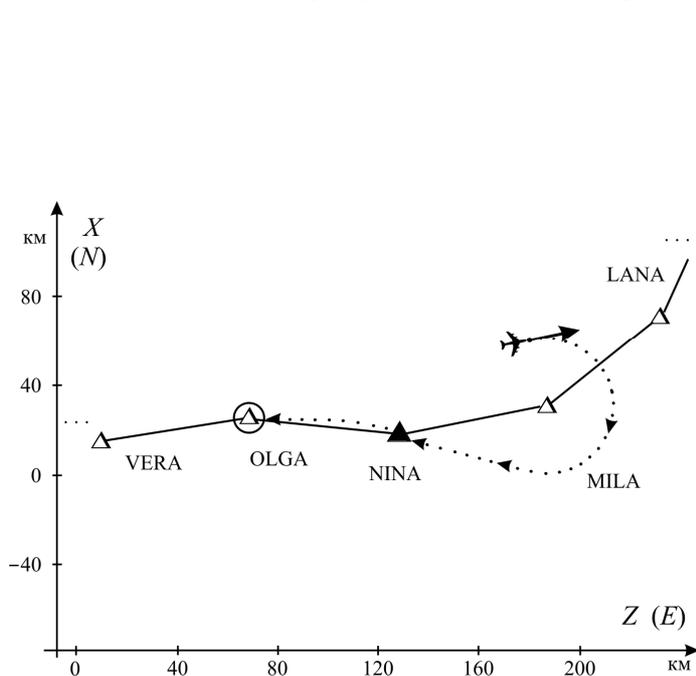


Рис. 5

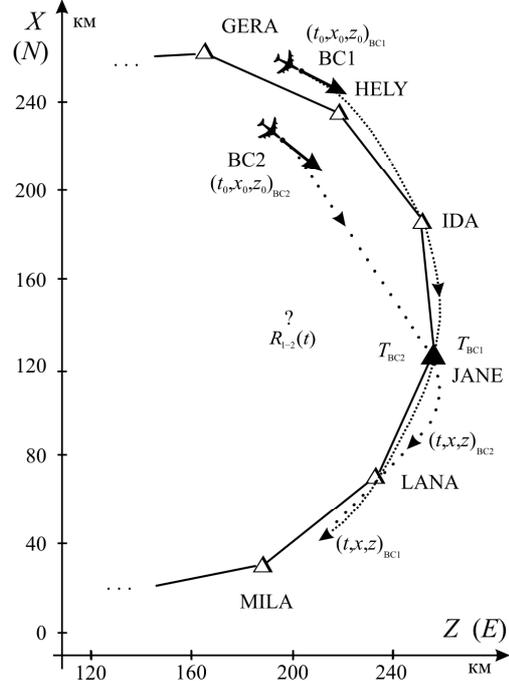


Рис. 6

На рис. 5 приведен пример ситуации, очевидно требующей вмешательства диспетчера: он задает желаемый ПД (NINA, черный маркер) и имеет возможность проанализировать прогнозируемую траекторию возвращения ВС на полетный план, выработанную алгоритмами – “подсказчиком”.

На рис. 6 показана ситуация, когда ВС1 со своим скоростным режимом уже движется по данному ПП (мелкий пунктир), а второе судно ВС2 (со своим скоростным режимом) необходимо вывести на этот план. Диспетчер может проанализировать допустимость (т.е. возможность потенциального конфликта) в случае назначения им пункта JANE (черный маркер) для возвращения ВС2 (редкий пунктир). Для этого в разработанной программе включается специальный алгоритм анализа текущего расстояния $R_{1-2}(t)$ между судами по рассчитанным прогнозируемым траекториям $(t, x, z)_{BC1}$ и $(t, x, z)_{BC2}$. В случае обнаружения потенциального конфликта диспетчер аналогично может проанализировать допустимость другого пункта возвращения на план или, изменив скоростные режимы движения судов [2;3], принять иное решение.

В настоящее время в литературе отсутствует информация о подобных алгоритмах.

Данные исследования выполнялись при поддержке грантов РФФИ 12–01–00537 и 10-01-96006.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Пятко С.Г., Красов А.И. и др.** Автоматизированные системы управления воздушным движением. - СПб: Политехника, 2004.
2. **Королев Е. Н.** Технологии работы диспетчеров управления воздушным движением. – М.: Воздушный транспорт, 2000.
3. Демонстрационные материалы “Point Merge”, Eurocontrol, 4_entry_points1_runway_(29-05-2007_run3).avi

Сведения об авторах

Кумков Сергей Иванович, 1941 г. р., окончил Уральский политехнический институт (1964), кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела динамических систем Института математики и механики Уральского отделения Российской академии наук, доцент кафедры автоматизации и информационных технологий Уральского федерального университета, автор более 90 научных работ, область научных интересов – автоматическое и оптимальное управление динамическими системами, обработка, идентификация и оценивание информации в условиях неопределенности.

E-mail: kumkov@imm.uran.ru

Пятко Сергей Григорьевич, 1959 г. р., окончил Академию гражданской авиации (1980), доктор технических наук, профессор, директор ФГУП ГосНИИ «Аэронавигация», автор 83 научных работ, область научных интересов – автоматизированные системы управления воздушным движением.

E-mail: ads@atminst.ru