

4. Knecht M., Dünser A., Traxler C., Wimmer M., Grasset R. A Framework for Perceptual Studies in Photo-realistic Augmented Reality. In Proceedings of IEEE ISMAR-2011, Basel, Switzerland, 2011. P. 27–32.
5. Mackay W., Fayard A-L., Frobart L., Médini L. Reinventing the Familiar: Exploring an Augmented Reality Design Space for Air Traffic Control. In Proceedings of ACM CHI '98 Human Factors in Computing Systems. Los-Angeles, California, USA, 1998. P. 56–61.
6. Mackay W., Fayard A-L. (1999) Designing Interactive Paper: Lessons from three Augmented Reality Projects. URL: <http://www-ihm.iri.fr/~mackay/pdf-files/IWAR99.InteractivePaper.pdf>.
7. Mackay W., Médini L. (2001) An Augmented Stripboard for Air Traffic Control. URL: <http://www-ihm.iri.fr/~mackay/pdffiles/CENA.Stripboard.pdf>.
8. Miwa N., Yusaku O. Application of augmented reality with a monocular see-through head-mounted display for VDT work — A study through an experiment simulating the radar monitoring task in air traffic control // Japanese Journal of Ergonomics. 2005. V. 41, № 4. P. 218–227.
9. Pinska E., Tijus C. Augmented reality technology for control tower analysis of applicability based on the field study. In Proceedings of 1st CEAS Air and Space Conference. Berlin, Germany. 2007. P. 478–486.
10. Reisman R., Brown D. Augmented Reality Tower Technology Assessment. Research report NASA/TM — 2010-216011. 2010. — 30 p.
11. Reisman R., Brown D. Design of Augmented Reality Tools for Air Traffic Control Towers. In Proceedings of 6th AIAA Aviation Technology, Integration and Operation Conference. Wichita, Kansas, USA, 2006. P. 91–102.
12. Ruffner J., Labbe L. Near-Eye Augmented Reality Tower Controller Displays: Human Performance Issues. In Proceedings of The Interservice/Industry Training, Simulation & Education Conference (IITSEC). Orlando, Florida, USA, 2006. P. 147–155.
13. Tavanti M., Thong D-L., Ha L-H. Empirical analysis of the applicability of 3D stereoscopic in air traffic control. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, volume 1, Oct. 2003. P. 693–697.

References¹

1. Gorbunov A. L., Eliseev B. P., Nechaev E. E. Spособ обучения авиадиспетчеров диспетчерских пунктов старта, рулини и посадки на реальном летном поле. Patent RF на изобретение № 2493606, 2013.
2. Gorbunov A. L., Eliseev B. P., Nechaev E. E. Тренажорный комплекс для обучения авиадиспетчеров диспетчерских пунктов старта, рулини и посадки на реальном летном поле. Patent RF на полезную модель № 111703, 2011.

¹ No. 3–13 look previous list.

A. Gorbunov, PhD in Technique, Adviser to Rector's Office, Professor, Moscow State Technical University, a.gorbunov@mstuca.aero

Training system augmented reality for air traffic controllers

The air traffic becomes more and more intensive and the number of emergency situations on flying fields increases correspondingly. Thus a problem of controller's readiness to act properly in the alert condition becomes the urgent issue. However until recent time the development of effective training tools for air traffic controllers in an airport tower encountered an insurmountable safety barrier since there is no way to train controllers on the flying fields of today's big airports without the risk of a crash. As a result nowadays training systems for controllers are realized as computer simulators. Such simulators have serious drawback: — training is carried out on a virtual airport flying field, whereas effective training may take place only on a real field of a real airport. The paper describes the augmented reality training system for air traffic controllers. The system allows a safe modeling of emergency situations on the real flying field. An example: the model for the collision of A380 and CRJ700 in JFK airport in April, 2011.

Keywords: augmented reality, air traffic controller training.

А. В. Людомир, техник Государственного научно-исследовательского института авиационных систем, г. Москва, gluek@bk.ru

В. С. Орлов, начальник сектора Государственного научно-исследовательского института авиационных систем, г. Москва, orlov@gosnias.ru

Имитационное моделирование динамической воздушной обстановки в управляемом воздушном пространстве

Рассмотрено имитационное моделирование потоков воздушных судов в системе управления воздушным движением. Приведена структура модели воздушного судна, указаны соотношения учета ЛТХ в соответствии с базой данных, публикуемой организацией Евроконтроль, произведено обоснование модели ошибок самолетовождения, базирующейся на концепции «навигации, основанной на характеристиках» РВН (*Performance Based Navigation*). Рассмотрен пример самолетовождения с обработкой цифровых команд от модели диспетчера управления воздушным движением.

Ключевые слова: моделирование, управление воздушным движением, РВН, CPDLC.

Введение

Для решения многих задач исследования и оценки безопасности полетов применяется подход на основе имитационного моделирования потоков воздушных судов (ВС) в сегрегированном воздушном пространстве под контролем системы управления воздушным движением (УВД). Движение потока ВС реализуется в составе модели динамической воздушной обстановки (МДВО). Условия, в которых проходят полеты, динамически изменяются непосредственно в процессе моделирования. Это касается прежде всего состояния метеорологической обстановки и состояния структуры воздушного пространства (динамически изменяющихся ограничений использования воздушного пространства (ИВП), изменения структуры секторов и пр.).

МДВО применяется в программных средствах, где требуется имитация воздушного движения. С использованием МДВО решаются задачи оценки безопасности полетов, проводится моделирование взаимодействия

вия между наземными службами УВД и бортом, проводится разработка и анализ бортовых алгоритмов, в том числе обнаружения и предотвращения опасных сближений в воздухе.

В зависимости от целей моделирования в составе МДВО имитируются модели связи и наблюдения, модель ошибок навигации, реализующая современную концепцию навигации, основанную на характеристиках РВН, модель взаимодействия с диспетчером УВД по линии цифровой связи CPDLC (*Controller-Pilot Data Link Communications*).

В основу представленной в работе модели положены принципы системной динамики и дискретно-событийного моделирования.

Описание модели системы УВД

Модель системы УВД рассматривается как сложная система, ее обобщенная структура представлена на рис. 1. Модель имитирует функции диспетчерского управления воздушным движением и формирует текущее состояние воздушных судов, выпол-

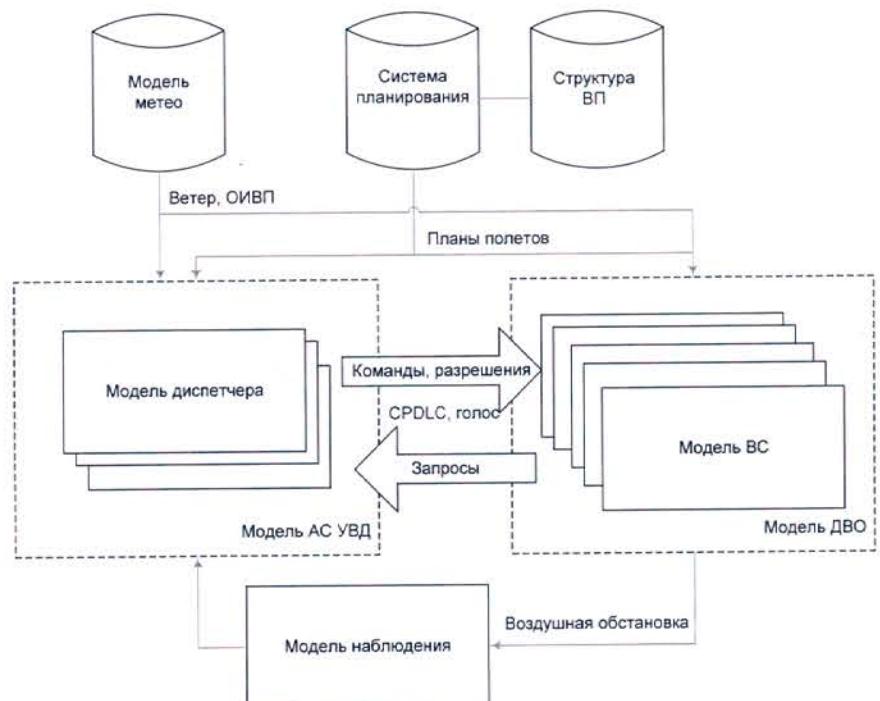


Рис. 1. Структура модели системы УВД

няющих под контролем УВД полеты по заданным маршрутам в заданных временных интервалах.

В качестве подсистем в модели рассматриваются:

- ВС (собственно ВС, экипаж, бортовая система управления), выполняющие рейсы в соответствии с планами полетов и командами управления и составляющие в совокупности управляемый поток воздушного движения (ВД);

- наземный сегмент УВД (наземные измерительные, радиотехнические и другие средства, диспетчерские пункты управления, которые могут рассматриваться в качестве измерительных и регулирующих подсистем системы управления);

- ограничения ИВП (метео- и административные), ветер.

Функции системы УВД реализованы в модели автоматизированных систем управления воздушным движением (АС УВД). Модель имитирует соответствующие действия диспетчеров районного центра (РЦ), подхода, аэродромной зоны во всей области

моделируемого воздушного пространства (ВП). В АС УВД моделируется функциональное взаимодействие наземной системы УВД и ВС. Модель имитирует действия системы УВД по управлению ВС в целом, обеспечивая контроль за ВС на всех этапах его движения.

Входными данными для модуля диспетчерского управления являются структура ВП, планы полетов, данные наблюдения в своем секторе ответственности, сообщения от диспетчеров соседних секторов, доносения от бортов, метеосводки.

Выходными данными этого модуля являются команды, диспетчерские разрешения, информация о погодных и административных ограничениях.

Модель динамической воздушной обстановки

В состав модели управляемого полета ВС (модель ВС) входят модель бортовой системы самолетовождения и собственно модель движения ВС.

Модель бортовой системы самолетовождения отражает функции бортовых средств: информационных, связи, а также обеспечения выработки команд управления. Бортовая система самолетовождения при выработке команд управления использует плановые данные о маршруте и режимах полета, аeronавигационные данные, метеоданные, данные о параметрах движения и намерениях других ВС, находящихся в некоторой окрестности этого ВС, команды органов УВД.

Модель движения ВС описывает процесс перемещения ВС во времени и пространстве в соответствии с командами управления, поступающими на вход системы управления.

Задача моделирования процессов выполнения управляемых потоков ВД характеризуется большой размерностью, и как следствие, вычислительной сложностью. Так, при исследовании ВД РФ необходимо моделировать процессы регулирования и управления воздушным движением, в котором участвует несколько сотен ВС. Количество диспетчерских пунктов, обеспечивающих полеты в ВП РФ, исчисляется не одним десятком. Это накладывает ограничения на степень подробности описания процессов управления и движения, особенно при ускоренном моделировании. Исходя из этого был принят ряд допущений.

1. Моделируется прямолинейное движение центра масс ВС, модель вращательного движения ЛА необходима только в объеме, влияющем на прямолинейное движение.

2. Система управления реализуется посредством трех каналов:

- курса (управление по направлению);

- вертикального (управление по высоте);

- продольного (управление по скорости).

3. Фазы вылета и посадки описываются упрощенно, наиболее детально моделируется маршрутная часть полета. Это объясняется целью построения модели, направленной на исследование процесса выполнения полетов в верхнем воздушном пространстве.

Тем не менее принятые структурные решения обеспечивают возможность расширения динамической модели с более подробным описанием полетов в приаэродромном пространстве и движения по аэродрому.

Очевидна необходимость разработки различных вариантов моделей ВС, отличающихся уровнем детализации описания динамических процессов и процессов выработки команд управления. Например, при моделировании эксплуатационных процедур разрешения конфликтов в воздухе, прогнозируемых за 3–5 минут и более до минимального сближения, допустимо описывать процессы управления по курсу без учета запаздывания в контуре стабилизации. При моделировании же экстренного уклонения от столкновения (за несколько секунд до встречи) учет такого запаздывания необходим.

Другим примером может служить задача разрешения конфликтных ситуаций путем маневрирования в горизонтальной плоскости, где необходимо описывать движение в канале курса более подробно, а движение в вертикальном и продольном каналах — минимально подробно.

Адаптация моделей требуется также при исследовании различных вариантов и методов бортовых алгоритмов управления ВС (алгоритмов выработки команд в системе управления) в частности:

- точное исполнение плана полета (например, четырехмерных траекторий);

- учет случайных факторов, влияющих на точность исполнения плана полета (внешних, включающих метеоусловия, ограничения ВП, и внутренних, включающих аппаратные, погрешностей, отказы);

- учет возможных мер регулирования УВД, приводящих к изменениям плана полета (задержки, управление интервалами по дистанции и в точках слияния маршрутов);

- исполнение полета по свободным маршрутам (концепция Free Flight).

Также предусматривается возможность моделирования различных методов и алго-

ритмов управления маневрированием (например, при разрешении конфликта).

Такой модульный подход обеспечивает в рамках единой структуры модели настройку на необходимую детализацию описания конкретных схем и алгоритмов управления. В программной реализации это обеспечивается применением объектно ориентированного подхода, а также выбором структуры модели управляемого полета ВС, входных и выходных сигналов отдельных подсистем этой модели.

Структура модели воздушного судна

В составе МДВО реализуется модель ВС, структура которой представлена на рис. 2. Модель состоит из следующих компонентов: бортовой системы самолетовождения, системы управления, модели движения ВС и информационной подсистемы.

Состав компонентов имитационной модели и их описание

Бортовая система самолетовождения

Эта модель наиболее подвержена изменениям.

В составе входных параметров следующие:

- оценки текущих параметров собственного движения;
- собственный план полета;

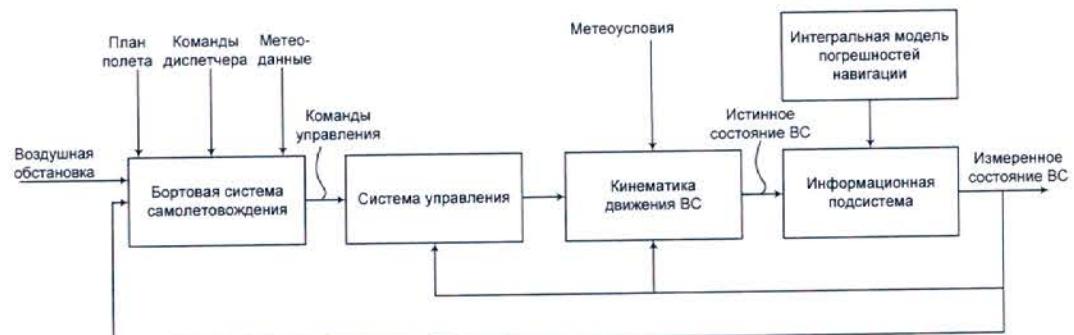


Рис. 2. Структура модели ВС

— оценки характеристик воздушного движения в заданной окрестности (при наличии таких данных);

- команды диспетчера;
- метеоданные.

Оценки собственного состояния в виде измеренного вектора состояния известны внутри модели ВС в полном объеме; параметры окружающих ВС в виде измеренных векторов состояния поступают от моделей окружающих ВС.

План полета состоит из участков маршрута вылета SID (*Standard Instrument Departure*), крейсерского полета и маршрута прилета STAR (*Standard Instrument Arrival*). Все участки условно разделяются на прямолинейные, скругления траектории и смены высоты. План полета представляет собой последовательность поименованных точек воздушного пространства с указанием координат, высоты, скорости полета и радиуса разворота на участке после соответствующей точки.

В качестве команд диспетчера в модель поступают указания по изменению времени и схемы вылета, времени пролета точки, изменению эшелона, схемы захода на посадку, указания на выполнение маневра ожидания.

Метеоданные задают географические зоны опасных метеоявлений и схему ветров. Зоны метеоявлений представляются в виде многоугольных призм с указанием контуров и степени опасности. Ветер представляется в виде эквивалентного ветра на участках воздушных трасс.

Выходные параметры включают:

- назначаемый угол курса;
- назначаемую высоту;
- назначаемую скорость.

Архитектура системы самолетовождения такова, что методы выработки команд управления при одинаковых входных и выходных параметрах могут различаться. Модель реализована в объектно ориентированной среде программирования Delphi, что позволяет использовать различные реализации методов для объекта управления. Введен класс ВС, для которого описан ряд свойств и методов, позволяющих настроить каждый экземпляр класса под конкретные методы работы информационных и управляющих систем. В отношении выработки команд управления определен абстрактный класс подсистемы управления, для которого описан ряд наследников, реализующих различные методы управления.

Реализованы следующие варианты самолетовождения:

- выдерживание плановой траектории;
- полет с выдерживанием правил выполнения полетов;
- отработка команд, получаемых от модели диспетчера УВД;
- предотвращение опасных сближений в автоматическом режиме;
- различные комбинации представленных вариантов.

Вариант системы самолетовождения с обработкой команд от модели диспетчера УВД представлен на рис. 3.

Команды диспетчера УВД передаются в систему самолетовождения в виде команд CPDLC. Состав условных команд, составленных в соответствии с [1], приведен в табл. 1.

Команды хранятся и обрабатываются в стеке команд, откуда в расшифрованном виде поступают в блок расчета плановой траектории. Блок расчета плановой траектории предназначен для расчета и поддержания в актуальном состоянии подробных данных (подробного плана полета ВС) по программной траектории полета ВС, выдерживание которой является целью работы системы управления полетом ВС. Далее этот подробный план назовем путевой таблицей (ПТ). Путевая таблица представляет собой набор данных по всей последовательности элементарных участков траектории, описывающих программную полную траекторию от взлета до посадки.

Элементарный участок траектории — это часть полной траектории, отвечающая следующим условиям:

- в горизонтальной проекции участок является частью ортодромии или дугой окружности;
- в вертикальной плоскости на протяжении всего участка идет либо горизонталь-

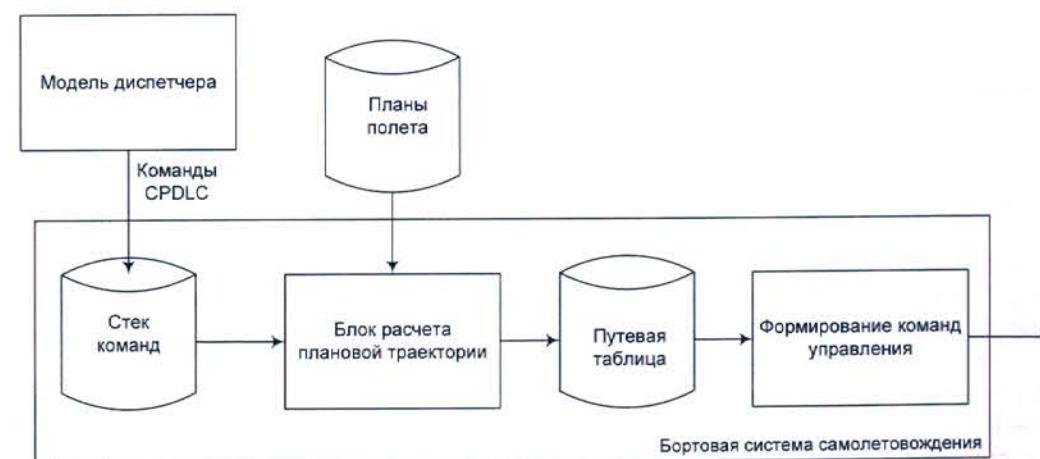


Рис. 3. Вариант системы самолетовождения при взаимодействии с моделью диспетчера

Ситуация	Фразеология	Значение
УКАЗАНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ВЫЛЕТОМ	CLD (<i>time</i>)	РАЗРЕШЕНИЕ ВЫЛЕТА (время)
ВЫДЕРЖИВАНИЕ УКАЗАННЫХ УРОВНЕЙ	MAINTAIN (<i>level</i>)	ВЫДЕРЖИВАЙТЕ (уровень)
УКАЗАНИЯ ПО ЭШЕЛОНРОВАНИЮ	CROSS (<i>significant point</i>), AT (<i>time</i>)	СЛЕДУЙТЕ ЧЕРЕЗ (основная точка) В (время)
УКАЗАНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ПОЛЕТОМ ПО ЛИНИИ ПУТИ (СМЕЩЕННОЙ), ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАЗРЕШЕННОМУ МАРШРУТУ	PROCEED OFFSET (<i>distance</i>) RIGHT/LEFT OF (<i>route</i>)	СЛЕДУЙТЕ СО СМЕЩЕНИЕМ (расстояние) ВПРАВО/ВЛЕВО ОТ (маршрут)
	CANCEL OFFSET	ПРЕКРАТИТЕ ПОЛЕТ СО СМЕЩЕНИЕМ
РАЗРЕШЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ПОЛЕТОМ В ЗОНЕ ОЖИДАНИЯ	CLEARED TO (<i>significant point</i>) [MAINTAIN (or CLIMB or DESCEND TO) (<i>level</i>)]	СЛЕДУЙТЕ ДО (основная точка) [ВЫДЕРЖИВАЙТЕ (или НАБИРАЙТЕ ВЫСОТУ, или СНИЖАЙТЕСЬ ДО (уровень)]

ный полет, либо набор высоты, либо снижение.

Расчет подробного плана полета ведется на основе плана полета и является его детализацией. Рассчитанный подробный план полета должен представлять траекторию, выполнение которой возможно с точки зрения LTX BC. При управлении в соответствии с путевой таблицей блок формирования команд управления формирует команды управления в виде требуемых команд управления: курс, высота (эшелон), скорость.

Система управления

Система управления описывает динамику процессов отработки команд управления и изменения сил и моментов, действующих на BC.

Описание динамики процессов стабилизации в виде динамического эквивалента можно дать с различной степенью подробности. Для большого круга исследовательских задач допустимо ограничиться простейшей моделью динамики в форме апериодического звена с заданной добротностью (для каждого канала отдельно), при-

ближенно описывающей запаздывание в отработке команд управления.

Динамическое звено для каждого из трех каналов описывается дифференциальным уравнением первого порядка

$$\dot{x} = D_x(x^* - x),$$

где x — текущее значение переменной состояния (курс ψ , высота H , скорость V), x^* — команда управления (требуемые ψ^* , H^* , V^*), D_x — добротность в соответствующем канале управления.

Летно-технические характеристики для различных типов BC описаны в базе данных BADA (Base of Aircraft Data) Eurocontrol [2]. База содержит коэффициенты летных качеств и эксплуатационных процедур для различных типов BC. Коэффициенты используются для расчетов тяги, силы сопротивления и расхода топлива, а также для указания скоростей номинального крейсерского режима, режимов набора и снижения.

В канале курса накладывается ограничение на максимально возможную угловую скорость изменения курса при координированном развороте

$$\dot{\psi}_{\max} = \frac{g \cdot \tan(\gamma_m)}{V},$$

где γ_m — максимальный угол крена при координированном развороте определен в БД BADA Eurocontrol, V — текущая воздушная скорость BC. Ограничения в канале курса:

$$\begin{aligned} &\text{если } \dot{\psi} > \dot{\psi}_{\max}, \text{ то } \dot{\psi} = \dot{\psi}_{\max}, \\ &\text{если } \dot{\psi} < -\dot{\psi}_{\max}, \text{ то } \dot{\psi} = -\dot{\psi}_{\max}. \end{aligned}$$

В канале высоты ограничения по максимальным скоростям набора и снижения H_{\max} и H_{\min} определяются из БД BADA Eurocontrol в зависимости от текущей высоты полета H . Ограничения по высоте:

$$\begin{aligned} &\text{если } \dot{H} > \dot{H}_{\max}, \text{ то } \dot{H} = \dot{H}_{\max}, \\ &\text{если } \dot{H} < \dot{H}_{\min}, \text{ то } \dot{H} = \dot{H}_{\min}. \end{aligned}$$

На канал горизонтальной скорости накладываются ограничения в зависимости от высоты полета в соответствии с БД BADA Eurocontrol. Максимальная воздушная скорость ограничивается значением максимальной индикаторной скорости V_{MO}^{ind} . Минимальная скорость для BC является функцией от скорости сваливания BC V_{stall} :

$$V_{\min}^{ind} = C_{V_{\min}} \times V_{stall}, \text{ для крейсерской фазы полета коэффициент } C_{V_{\min}} = 1,3.$$

Для пересчета индикаторной скорости в путевую используется модель стандартной атмосферы (*Atm*), которая описывает зависимость плотности атмосферы и температуры от высоты полета.

$$V_{\min} = Atm(V_{\min}^{ind}, H),$$

$$V_{\max} = Atm(V_{MO}^{ind}, H).$$

Ограничения по горизонтальной скорости накладываются на команду управления:

$$\begin{aligned} &\text{если } V^* > V_{\max}, \text{ то } V^* = V_{\max}, \\ &\text{если } V^* < V_{\min}, \text{ то } V^* = V_{\min}. \end{aligned}$$

Модель движения BC

Модель движения BC рассчитывает текущие траекторные параметры (долготу ϕ

и широту λ , высоту H , путевую V и вертикальную V_H скорости, путевой угол ψ) и другие характеристики эффективности выполнения полета. Движение BC имитируется путем изменения во времени значений параметров текущего состояния BC, которые получаются на основе численного интегрирования дифференциальных уравнений, описывающих изменения. Численное интегрирование дифференциальных уравнений производится методом Эйлера первого порядка.

$$dH/dt = \dot{H},$$

$$dV/dt = \dot{V},$$

$$d\psi/dt = \dot{\psi},$$

$$d\phi/dt = [V_b \cos \psi + V_w \cos \psi_w] / (R_s + H),$$

$$d\lambda/dt = [V_b \sin \psi + V_w \sin \psi_w] / [(R_s + H) \cos B],$$

где ϕ, λ — широта и долгота текущего положения BC, V_b — текущая воздушная скорость, V_w — величина ветра, ψ_w — курсовой угол ветра, R_s — радиус Земли.

Учет ветра осуществляется в виде эквивалентного ветра на текущем участке для заданной высоты полета.

Интегральная модель погрешностей навигации

Комитет по будущим аэронавигационным системам (FANS) разработал концепцию «навигации, основанную на характеристиках» PBN [3]. Показателем точности навигации, реализуемой посредством применения концепции PBN, принял уровень требуемых навигационных характеристик (RNP — Required Navigation Performance). Параметр RNP k указывает на точность боковой навигации в морских милях, которая должна выдерживаться по крайней мере в течение 95% полетного времени всеми воздушными судами.

В МДВО при моделировании ошибок выдерживания плановой траектории BC разработана модель случайного процесса ошиб-

бок самолетовождения в соответствии с уровнем RNP k , так как это рекомендуется в [4]. Отклонение ВС, выполняющего полет по RNP k , разыгрывается в соответствии с функцией плотности вероятности $f(y)$:

$$f(y) = \frac{1}{2\lambda} e^{-\frac{|y|}{\lambda}}, \text{ при } \lambda = -\frac{k}{\ln(0,05)}.$$

Параметр λ выбирается из условия

$$\int_{-k}^k f(y) dy = 0,95.$$

Спектральная плотность случайного процесса распределения ошибок самолетовождения определяется полосой пропускания автопилота. Принимается, что гармоники, соответствующие этой полосе возмущающего воздействия, пропускаются, а более высокочастотные фильтруются. Выходом модели погрешностей навигации является ошибка бокового отклонения ВС от плановой траектории.

Информационная подсистема

На вход информационной системы поступает текущий вектор состояния ВС от модели движения и разыгранная ошибка бокового отклонения от модели погрешности навигации. Зашумленный вектор состояния ВС формируется добавлением разыгранных ошибок боковых отклонений к текущему истинному положению ВС.

Таким образом, бортовая система самолетовождения формирует параметры управ-

ления в соответствии с измеренным состоянием ВС, по которому модель движения формирует параметры истинного положения ВС. Реализованные траектории потока ВС на участке ЛУТЕР — УСТОК приведены на рис. 4, траектории движения показаны сплошными черными линиями.

Заключение

Имитационная модель динамической воздушной обстановки реализована в объектно ориентированной среде Delphi с применением СУБД Oracle. Модель воспроизводит движение воздушных судов в структурированном воздушном пространстве под управлением системы УВД. В созданной модели нашли отражение подходы на основе системной динамики и дискретно-событийного моделирования. Это позволяет представлять конкретные схемы и алгоритмы управления на различном уровне абстракции, описывать систему управления движением ВС и методы выработки команд самолетовождения с разной степенью детализации.

С использованием модели проведены исследования по оценке безопасности полетов при изменении структуры ВП РФ (создание укрупненных РЦ). Проведены исследования по внедрению перспективных бортовых алгоритмов, в том числе обнаружения и предотвращения опасных сближений в воздухе.

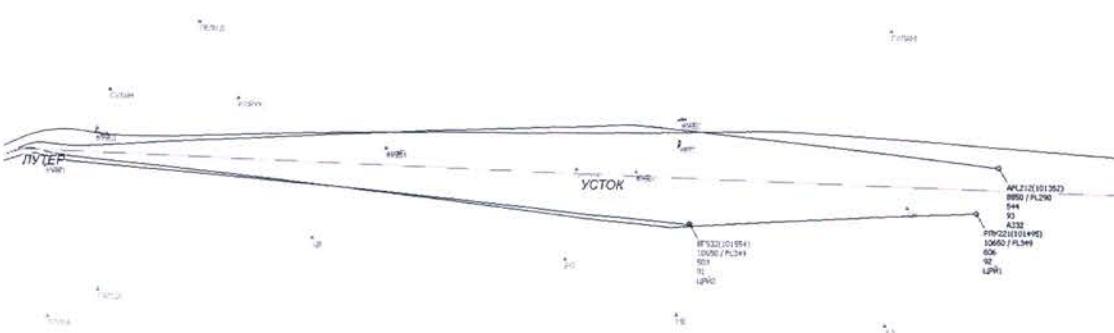


Рис. 4. Моделирование полета ВС

Список литературы

- Правила аэронавигационного обслуживания; Организация воздушного движения; Международная организация гражданской авиации. Doc 4444. Изд. пятнадцатое. ИКАО, 2007.
- User manual for the base of aircraft data (BADA) revision 3.8. EUROCONTROL, 2010.
- Руководство по навигации, основанной на характеристиках (PBN); Международная организация гражданской авиации. Doc 9613. Изд. третье. ИКАО, 2009.
- Единые принципы моделирования риска столкновения в обоснование Руководства по методике планирования воздушного пространства для определения минимумов эшелонирования. Doc 9689. ИКАО, 2009.
- Emelyanov V. V., Yasinovskiy S. I. Имитационное моделирование систем, MGTU им. Н. Е. Баумана, 2009. — 584 p.

References

- Air traffic management, Procedures for air navigation services. Doc 4444. Fifteenth edition. ICAO, 2007.
- User manual for the base of aircraft data (BADA) revision 3.8. EUROCONTROL, 2010.
- Performance-based Navigation (PBN) Manual. Doc 9613. Third Edition. ICAO, 2008.
- A Unified Framework for Collision Risk Modelling in Support of the Manual on Airspace Planning (Doc 9689). Cir 319. ICAO, 2009.
- Emelyanov V. V., Yasinovskiy S. I. Imitacionnoe modelirovanie sistem, MGTU im. N. E. Baumana, 2009. — 584 p.

A. Lyudomir, Technician of GosNIAS, Moscow, gluek@bk.ru

V. Orlov, Head of Research Sector of GosNIAS, Moscow, orlov@gosnias.ru

Simulation of dynamical environment in controlled airspace

Paper deals with the solutions of dynamical airspace environment development. The aircraft simulator models generate airspace environment. Each aircraft model simulates an aircraft flight according to its flight plan. The article presents the air traffic control system structure and determines the aircraft simulation model, which includes air navigation, and aircraft movement submodels. Object-oriented implementation allows air navigation submodel to perform several different modes of aircraft control. There are modes of aircraft control that are implemented in simulation model: aircraft flight along its flight path, flight under flight rules, flight with reactions on the air traffic control dispatcher commands, self-separation between aircraft and dangerous meteo areas during flight and various combinations of these modes. Aircraft movement submodel simulates aircraft flight as mass point and imply restrictions and characteristics according to aircraft type. It applies flight dynamics specified by Eurocontrol Base of Aircraft Data. The article describes equations taking into account flight characteristics. The aircraft model simulates navigation deviations based on performance-based navigation concept. The paper presents an example of air navigation under Air Traffic Control with aircraft reactions to Controller — Pilot Data Link Communications commands. Simulation of dynamical environment model implemented in Delphi object-oriented programming environment with Oracle database tools. There are researches, which were conducted using this model: flight safety assessment for new structure of Russian Federation airspace, implementation of airborne ADS-B applications, including conflict detection and resolution application.

Keywords: simulation, Air traffic control, PBN, CPDLC.