

**КОМПЛЕКС ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЕМОГО
ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ В АЭРОДРОМНОМ ПРОСТРАНСТВЕ****В. В. Александров (Казань), В. Ю. Сикачев (Москва)****Введение**

В докладе описывается вторая версия имитационного комплекса, предыдущая версия которого была представлена на конференции «ИММОД-2009»[1]. Комплекс предназначен для решения следующих задач:

- исследование структуры аэродромного пространства и анализ его пропускной способности;
- поддержка разрабатываемых процедур и средств управления очередями прибывающих в аэропорт и убывающих из него воздушных судов (ВС).

Обеспечивается непрерывный технологический цикл проведения исследований, включающий следующие этапы:

- предварительная подготовка исходных данных;
- формирование сценария моделирования;
- динамическое моделирование управляемого движения воздушных судов;
- 2D- и 3D-визуализация моделируемого процесса;
- документирование и хранение результатов.

Имитационный комплекс предназначен для работы совместно со средствами поддержки принятия решений по управлению очередями воздушных судов в аэродромном пространстве – «Менеджером прилета» (AMAN) и «Менеджером вылета» (DMAN), что позволяет оценивать эффективность вырабатываемых этими средствами мер регулирования. Отличительными возможностями новой версии являются поддержка совместного управления прилетом/вылетом, а также реализация 3D-анимации.

Комплекс разрабатывается компанией ООО «Элина-Компьютер» в соответствии с техническим заданием от ФГУП «ГосНИИАС», которое занимается созданием средств AMAN и DMAN.

Модель управляемого движения ВС

На рис. 1 упрощенно представлена модель предметной области: аэродромное воздушное пространство с одной физической взлетно-посадочной полосой (ВПП), работающей в оба направления (ВПП 11 на прилет и ВПП 29 на вылет), четыре воздушные трассы (ВТ), маршруты прилета и вылета.

Прилетающие ВС заходят в аэродромное пространство через точки схода с ВТ (Т.сх.), после пролета которых они движутся по маршруту прилета и STAR (Standard Terminal Arrival Route – стандартный маршрут прибытия по приборам), ведущему на ВПП. Маршрут прилета – это маршрут подхода к STAR, который в небольших аэропортах может отсутствовать. На рис. 1 показаны две точки схода – А и Е. От точки А имеются два варианта полета: 1) маршрут прилета А→Б→В→Г и STAR и 2) маршрут прилета А→Д и STAR. Точка схода Е непосредственно ведет на STAR – маршрут прилета отсутствует. За заданное время до планового пролета точки схода имеется возможность применить меры управления к прилетающему ВС (горизонт управления): задержать в точке схода (полет в зоне ожидания), изменить маршрут прилета/STAR/ВПП.

Вылетающие ВС, совершая взлет с ВПП, движутся по SID (Standard Instrument Departure – стандартный маршрут вылета по приборам), возможному маршруту вылета и выходят на ВТ через точку выхода (Т.вых). К вылетающим ВС также могут быть применены меры регулирования за заданное время до планового времени взлета. На

рис. 1 от ВПП 29 ведут два маршрута SID, один из которых ведет на маршрут вылета $K \rightarrow I \rightarrow Ж$, а другой непосредственно связан с точкой выхода Л.

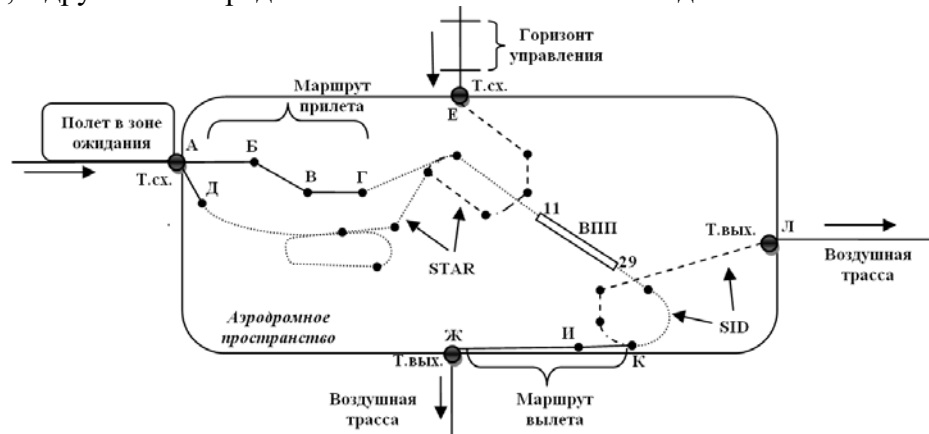


Рис. 1. Модель предметной области

Проверяется соблюдение потоком убывающих и прибывающих ВС временных норм продольного эшелонирования на пороге ВПП, точка схода с ВТ, точках выхода на ВТ, точках начала STAR, точках конца SID. Так, согласно рис. 1, проверяются нормы эшелонирования в точках А, Е, Л, Ж, Г, К. Нормы эшелонирования на ВПП задаются с учетом категории турбулентности ВС (легкий, средний и тяжелый) и типа рейса (прилет, вылет). Кроме того, вводятся дополнительные нормы эшелонирования, учитывающие взаимосвязь между ВПП.

Структура имитационного комплекса

Комплекс моделирования (рис. 2) представляет собой сложное информационно-ориентированное распределенное имитационное приложение, состоящее из следующих подсистем (п/с):

- подсистема манипулирования и отображения АНИ, осуществляющая автоматизированное создание, хранение и редактирование данных АНИ аэродромного пространства, хранение реальных потоков прибывающих/убывающих ВС, а также формирование и хранение исследовательских случайных потоков;

- подсистема подготовки сценария моделирования, предназначенная для выбора моделируемого аэропорта и соответствующей АНИ, задания временных параметров моделирования и параметров, связанных с управлением ВС (нормы эшелонирования, горизонт управления), настройки на исследовательский поток ВС;

- подсистема динамического моделирования, осуществляющая генерацию модели на языке GPSS в соответствии с подготовленным сценарием моделирования, управление процессом моделирования (запуск, пауза, останов), регистрацию оперативных данных по текущему состоянию потока ВС, корректировку процесса моделирования движения конкретного ВС в соответствии с вырабатываемыми управляющими командами от AMAN и DMAN;

- подсистема оперативной визуализации, осуществляющая отображение АНИ, динамическое отображение ВС и соответствующего ему формуляра, графическую индикацию различных состояний ВС (положение относительно горизонта регулирования, нарушение эшелонирования, применение мер регулирования), оперативный расчет и отображение отдельных показателей процесса выполнения управляемых полетов;

- подсистема автономной визуализации, выполняющая «постполетный» расчет и отображение показателей эффективности регулирования, отображение 2D- и 3D-анимации смоделированного процесса, вычисление статистических характеристик показателей, формирование журнала событий моделирования, архивирование смоделированного процесса.



Рис. 2. Структурная схема исследовательского комплекса
АНИ/ПД – АНИ и полетные данные, РБД – распределенная БД

Особенности реализации

Являясь ядром имитационного комплекса, подсистема динамического моделирования осуществляет запуск и управление процессом моделирования, принимает от моделирующей машины данные в реальном масштабе времени для их последующего отображения в подсистеме оперативной визуализации. Но более важной задачей является синхронизация распределенных подсистем комплекса. Синхронизация обусловлена не только техническими характеристиками подсистем, но и тем фактом, что комплекс моделирования представляет собой не автоматическое, а автоматизированное приложение, включая, таким образом, в контур регулирования ВС человека-оператора, подтверждающего окончательное решение, предложенное AMAN и/или DMAN [2]. Соотношение полетного, модельного и реального времени определяется по формуле:

$$t_{\text{полетное}} = t_{\text{модельное}} \times R_{\text{вр}} + T_{\text{нач}},$$

$$t_{\text{реальное}} = t_{\text{модельное}} + t_{\text{нач}},$$

где $R_{\text{вр}}$ – отношение «модельное/полетное время», $t_{\text{нач}}$ – реальное время начала моделирования, $T_{\text{нач}}$ – полетное время начала моделирования. Для решения поставленной задачи взаимодействия подсистем комплекса предложен сервис-ориентированный подход к построению имитационных приложений [3].

Результаты моделирования

По каждому прогону имитационной модели имеется возможность просмотреть отчет моделирования, журнал событий моделирования, а также 2D- и 3D-анимацию. В журнале моделирования регистрируются события-уведомления и события-нарушения. Последние события содержат данные о нарушениях норм эшелонирования с указанием времен, и типов ВС и типов рейсов. По каждому событию можно перейти в 3D-анимацию. Отчет моделирования содержит сведения о сценарии моделирования и итоговые показатели моделирования.

На рис. 3 показаны результаты моделирования, представленные в подсистеме оперативной визуализации. Приведен случайный поток прибывающих и убывающих ВС в воздушном пространстве международного аэропорта Казань. Отображены все элементы аэронавигационной информации, динамически обновляются положения ВС и их состояния. Поддерживаются стандартные операции с картой (уменьшение, увеличе-

ние, управление слоями), а также управление процессом моделирования. Вычисляется ряд показателей эффективности управления на прилете/вылете, в том числе:

- общее число взлетевших/севших ВС;
- число случаев нарушения временного эшелонирования (по отдельности) в точках схода/выхода, в точках начала STAR/конца SID, на ВПП;
- суммарное время задержек на маршрутах прилета/вылета;
- суммарное изменение длины маршрута;
- число случаев изменения начального плана полета;
- число случаев выполнения кругов ожидания.

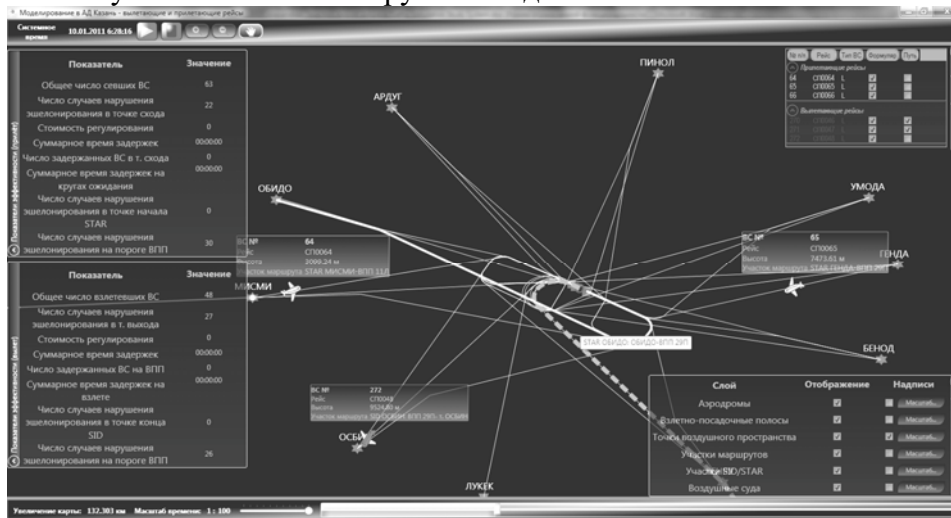


Рис. 3. Представление результатов ИМ – ситуационный дисплей

На рис. 4. показан фрагмент 3D-анимации подсистемы автономной визуализации – взлет ВС в воздушном пространстве международного аэропорта Шереметьево. Выводится список ВС, имеется возможность отобразить профиль полета и формуляр для каждого ВС, а также переключить камеру в «режим слежения» за ВС. Отображение осуществляется в системе координат WGS84. Динамически-подгружаемая 3D-модель Земли образована совмещением спутниковых графических изображений участков местности и цифровых данных об особенностях рельефа. Реализована возможность перемещения по 3D-пространству с помощью мыши (манипулирование камерой). Дополнительно возможен вывод анаглифного стереоизображения, для просмотра которого необходимы красно-синие 3D-очки.

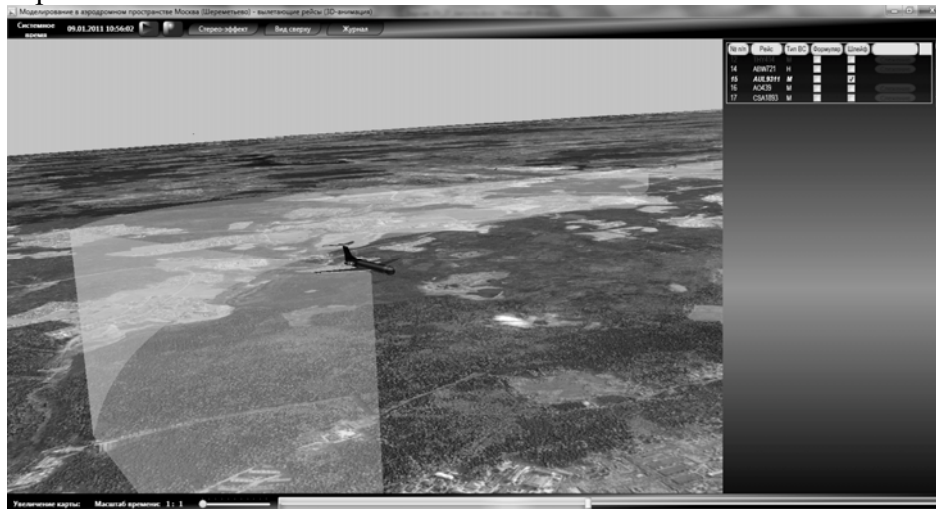


Рис. 4. Представление результатов ИМ – 3D-анимация

Заключение

Разрабатываемый комплекс моделирования позволяет оценивать структуру аэродромного пространства, анализировать эффективность и оптимизировать процедуры управления потоком ВС в аэродромном пространстве. С помощью анализа показателей эффективности управления, а также результатов 2D- и 3D-визуализации моделируемого процесса можно сделать вывод об эффективности алгоритмов управления, реализованных в AMAN и DMAN, а также об организации воздушного пространства.

Литература

1. **Александров В. В., Сикачев В. Ю.** Исследовательский комплекс моделирования движения воздушных судов в аэродромном пространстве // IV Всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика». СПб., 2009.
2. **Дегтярев О. В., Сикачев В. Ю., Мучинский А. В.** Особенности задач имитационного моделирования процессов управления воздушным движением (на примере задачи моделирования прилета/вылета в аэропорту) // IV Всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика». СПб., 2009.
3. **Александров В. В., Сикачев В. Ю.** Имитационное моделирование управляемого движения воздушных судов в аэродромном пространстве // Сб. Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции «Моделирование авиационных систем». М., 2011.