

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В АЭРОДРОМНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

В. В. Александров (Казань), В. Ю. Сикачев (Москва)

В докладе представлено описание комплекса имитационного моделирования движения воздушных судов (ВС) в аэродромной зоне (на прилете и вылете). Назначение комплекса – проведение исследований в поддержку разрабатываемых процедур и средств управления очередями прибывающих и вылетающих из аэропорта воздушных судов. Программное обеспечение комплекса моделирования должно обеспечить полный цикл исследований (предварительная подготовка исходных данных, формирования сценария моделирования, непосредственно моделирование, «послеполетный» анализ, документирование и хранение результатов). Комплекс разрабатывается в соответствии с техническими требованиями на автономную имитационную модель [1] и постановкой задачи моделирования, изложенной в докладе [2], представленном на настоящей конференции. Структурная схема исследовательского имитационного комплекса (ИИК) приведена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема исследовательского комплекса (АНИ – аэронавигационная информация, РБД – распределенная база данных)

Как видно из рисунка, ИИК представляет собой информационно-ориентированное композиционное имитационное приложение (ИП), состоящее из пяти подсистем (п/с):

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

- подсистема подготовки сценария моделирования, предназначенная для выбора моделируемого аэродрома (АД) и соответствующей АНИ, задания временных параметров моделирования и параметров, связанных с управлением ВС (нормы эшелонирования, цена задержки в полете, цена задержки вылета, горизонт управления), настройки на исследовательский входной поток прибывающих/убывающих ВС;

- подсистема динамического моделирования, осуществляющая генерацию модели на языке GPSS в соответствии с подготовленным сценарием моделирования, взаимодействие с моделирующей машиной GPSS в части управления процессом моделирования (запуск, пауза, останов), регистрации оперативных данных по текущему состоянию потока ВС, корректировки процесса моделирования движения конкретного ВС в соответствии с выработанными управляющими командами;

- подсистема оперативной визуализации, осуществляющая отображение АНИ, динамическое отображение ВС и соответствующего ему формуляра с информацией об иден-

тификаторе рейса, текущей высоте, текущем участке маршрута, графическую индикацию различных состояний прилетающих ВС (положение относительно горизонта регулирования, нарушение темпа прилета, применение мер регулирования), оперативный расчет и отображение отдельных показателей процесса выполнения управляемых полетов;

– подсистема автономной визуализации, осуществляющая постполетный расчет и отображение показателей процесса выполнения управляемых полетов, отображение анимации смоделированного процесса, вычисление статистических характеристик показателей эффективности регулирования, архивирование смоделированного процесса.

Кроме упомянутых п/с ИИК осуществляет взаимодействие с двумя базами данных. РБД Oracle содержит АНИ (АД, взлетно-посадочные полосы (ВПП), точки воздушного пространства (ВП), участки ВП, маршруты прилета и вылета), библиотеку исследовательских потоков прибывающих/убывающих ВС, а также оперативные данные о выполняемых в рамках конкретного моделирования полетах ВС. Оперативные данные отражают как исходные четырехмерные (4D) маршруты движения отдельных ВС (точки ВП и времена пролета этих точек), так и регулирующие воздействия, сгенерированные процедурами управления потоком ВС, входящими в состав ПС «Менеджер прилета» и ПС «Менеджер вылета», которые могут включать как новый 4D маршрут движения ВС, так и временные задержки (круги ожидания). Кроме того, перед началом моделирования в РБД Oracle загружается подготовленный сценарий моделирования из локальной БД Microsoft SQL Server Compact. В локальной БД хранятся данные о проектах моделей, включающие как сценарии процессов моделирования, так и их результаты.

Подсистема динамического моделирования, запускающая процесс имитационного моделирования (ИМ), должна иметь возможность принимать от моделирующей машины данные в реальном масштабе времени (РМВ) для их отображения в подсистеме оперативной визуализации, иметь возможность посылать процессу моделированию команды в РМВ, должна иметь возможность вносить изменения в моделируемый процесс, вызванный управляющими воздействиями процедур управления. Поскольку эти процедуры управления не входят в состав ИП, то необходимая синхронизация процесса ИМ и процессов регулирования управляемым потоком ВС осуществляется через специальную таблицу системного времени РБД Oracle. Синхронизация ИП и процедур регулирования обусловлена не только быстродействием и иными техническими характеристиками ИП и процедур регулирования, но и тем фактом, что процедура регулирования представляет собой не автоматическое, а автоматизированное приложение. Поэтому необходимо осуществлять жесткую синхронизацию между реальным и полетным временем в ИМ. Взаимосвязь полетного и реального времени показана на рис. 2.

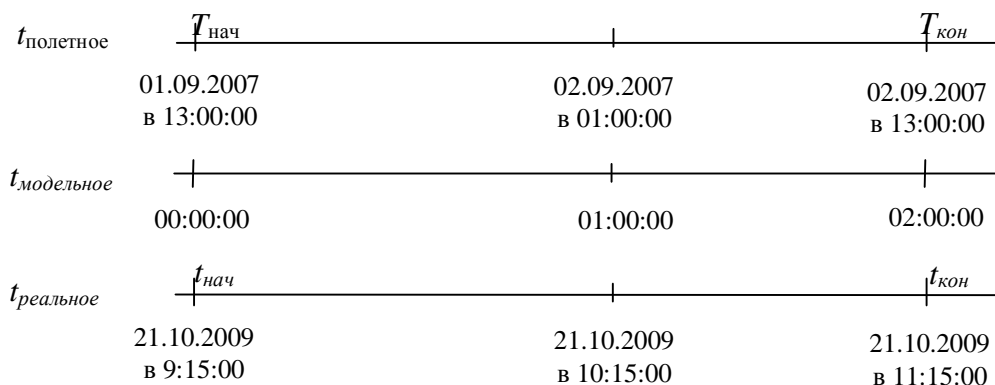


Рис. 2. Соотношение полетного, модельного и реального времени

Как видно из рисунка, моделирование осуществлялось в терминах полетного времени с первого сентября 2007 г., 13:00, и длилось одни сутки. В реальности это моделирование происходило два часа с 9:15 двадцать первого октября 2009 г. Таким образом, коэффициент отношения модельного и полетного времени составляет 12: в одной единице реального времени содержится 12 единиц полетного времени.

$$t_{\text{полетное}} = t_{\text{модельное}} \times R_{\text{вр}} + T_{\text{нач}}, \quad (1)$$

$$t_{\text{реальное}} = t_{\text{модельное}} + t_{\text{нач}}, \quad (2)$$

где $R_{\text{вр}}$ – отношение «модельное/полетное время», $t_{\text{нач}}$ – реальное время начала моделирования, $T_{\text{нач}}$ – полетное время начала моделирования.

Необходимость синхронизации ИП и внешних приложений, передачи данных о состоянии и положении ВС в PMB с целью их оперативной визуализации и взаимодействия с процедурой управления в PMB через РБД обуславливает использование экспериментальной инфраструктуры GPSS Simulation Framework с управляемыми расширениями моделирующей машины GPSSW ME на основе сервис-ориентированной архитектуры (SOA).

Для реализации процессов двумерной анимации (автономной визуализации) и отображения (оперативной визуализации) процесса управляемого потока ВС предложено использовать новую технологию Windows Presentation Foundation (WPF) общезыкоковой инфраструктуры – платформы .NET Framework 3.5 SP1, базирующейся на технологии DirectX. Предложена концепция WPF-анимации движения ВС, представленного совокупностью дискретных точек в четырехмерном пространстве, с возможностью управления анимацией как фильмом. Для определения текущего состояния ВС, определяемого внешними условиями и контекстом (движение по маршруту прилета/вылета, движение по кругу ожидания и т.д.), предложено использовать наряду с дискретной анимацией также и метод на основе состояний и событий анимируемых объектов. Кроме того, технология WPF была применена и при создании всех элементов графического интерфейса.

На рис. 3 изображен снимок главного окна ИИК, предоставляющего доступ к АНИ, проектам моделей и случайным потокам ВС. Рассмотрим для примера АНИ для аэродромной зоны аэропорта Внуково (см. рис. 4). Из рис. 5 видно, что у данного аэропорта имеется две двунаправленных ВПП (одной физической двунаправленной ВПП соответствует две записи для каждого направления). Рис. 6 показывает, что у аэропорта есть 8 маршрутов прилета. Окно редактирования разложения одного из маршрутов показано на рис. 7. На рис. 8 приведен снимок окна подготовки сценария моделирования – задание параметров, связанных с управлением ВС (нормы эшелонирования, цены задержек и горизонт управления).

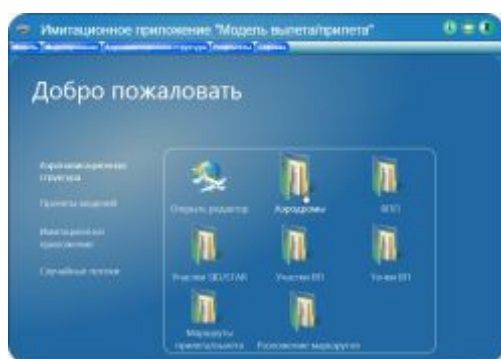


Рис. 3. Главное окно ИИК

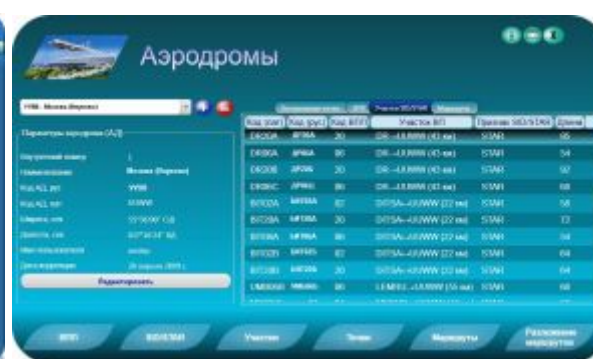


Рис. 4. Окно аэродромов

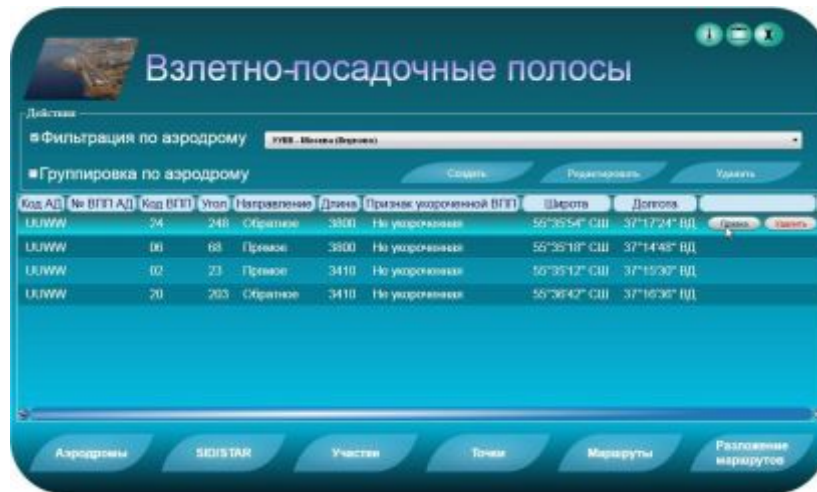


Рис. 5. Окно ВПП

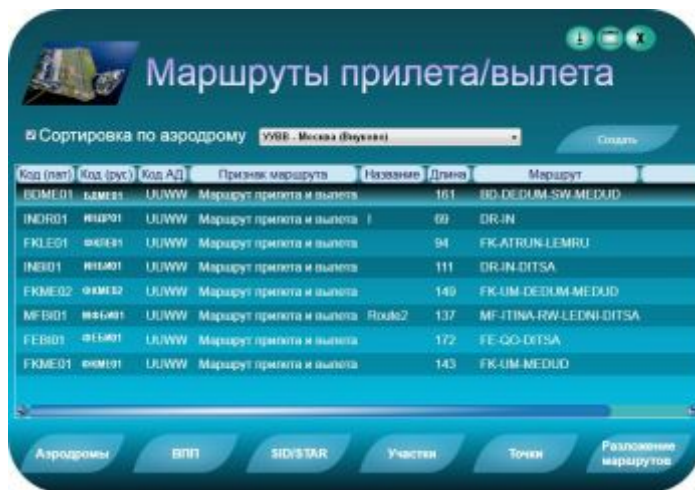


Рис. 6. Окно маршрутов прилета/вылета

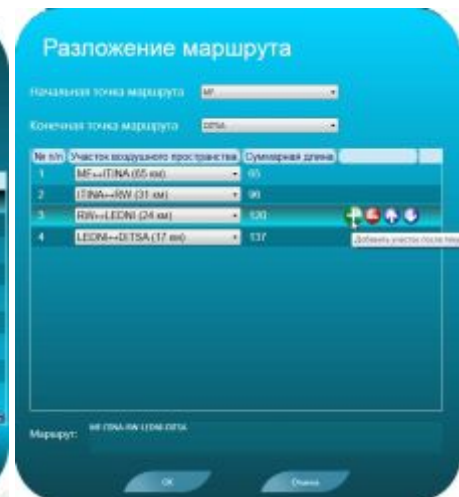


Рис. 7. Окно разложения маршрута

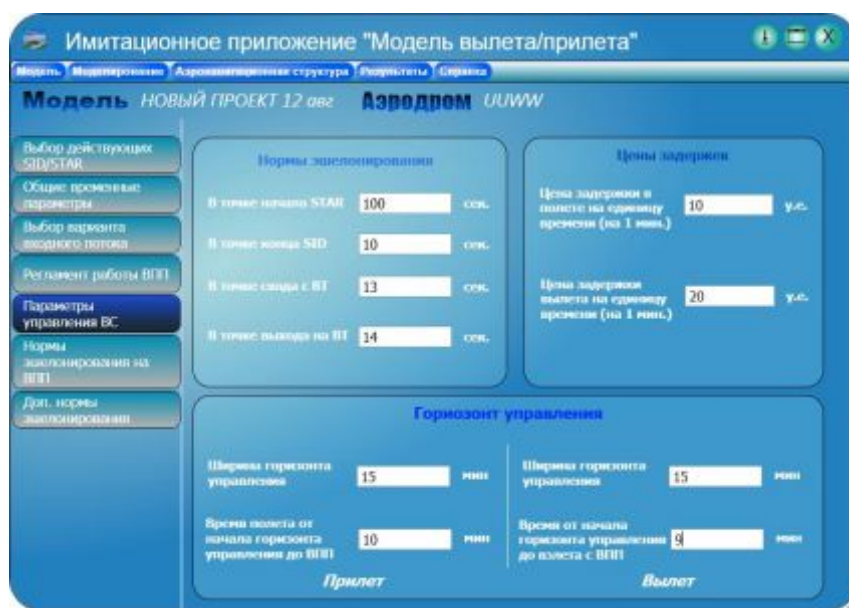


Рис. 8. Окно подготовки сценария моделирования

Процесс ИМ, инициируемый п/с динамического моделирования и выполняющийся в рамках инфраструктуры GPSS Simulation Framework, помимо имитации движения воздушных судов в соответствии с математической моделью также осуществляет расчет показателей эффективности управляемого процесса движения ВС, среди которых:

- общее число севших и взлетевших самолетов;
- число случаев нарушения временного эшелонирования в начале и конце маршрута прилета/вылета;
- интегральный критерий стоимости производимого регулирования;
- суммарное время задержек на маршруте прилета/вылета;
- суммарное изменение длины маршрута;
- число случаев изменения маршрута прибытия;
- число случаев выполнения кругов ожидания и суммарное время ожидания.

Разрабатываемый исследовательский комплекс моделирования позволит произвести не только анализ эффективности и оптимизацию существующих процедур управления потоком ВС в приаэродромном пространстве, но также и апробировать инновационные процедуры управления движением ВС.

Литература

1. Технические требования на автономную имитационную модель для оценки эффективности мер регулирования прибывающим и вылетающим потоком ВС (Договор поставки № 231/2009 от 29.06.2009 между ФГУП «ГосНИИАС» и ООО «Элина-компьютер»).
2. **Дегтярев О. В., Сикачев В. Ю., Мучинский А. В.** Особенности задач имитационного моделирования процессов управления воздушным движением (на примере задачи моделирования прилета/вылета аэропорт) // Четвертая всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика», СПб., 2009.