

УДК 004.94

*М.Ю. Романов, А.В. Рудева, Ю.В. Чехович, С.А. Громов, А.Н. Ефимов,
В.А. Лексин, Р.И. Яминов*

ЗАО «Форексис», Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН,
г. Москва, Россия

Система имитационного моделирования транспортной сети аэропорта AirForS*

В работе представлена система имитационного моделирования движения воздушных судов (ВС) по наземной транспортной сети аэропорта. Система предназначена для расчета пропускной способности и времен задержек при различных режимах работы и конфигурациях наземной инфраструктуры аэропорта. В работе приводится пример использования системы моделирования для расчета пропускной способности аэропорта Домодедово (Москва).

Введение

Одной из важнейших характеристик деятельности современного аэропорта как транспортной системы является его пропускная способность, выраженная в предельном количестве операций взлет/посадка, которое может обработать аэропорт за определенный промежуток времени. Как правило, аэропорт стремится к максимизации пропускной способности. При этом должно соблюдаться значительное число ограничений, связанных с требованиями безопасности и техническими характеристиками отдельных элементов аэропорта и собственно ВС.

Для обычного режима работы аэропорта его пропускная способность, как правило, хорошо известна, как достигнутый предел количества выполненных операций. В то же время, при проведении различных работ по реконструкции, модернизации, переоснащению и развитию аэропорта, достаточно сложно заранее предсказать последствия тех или иных изменений. Аэропорт заинтересован в наличии инструмента, позволяющего оценить пропускную способность при любой конфигурации транспортной системы, которая может возникнуть в процессе или в результате выполнения упомянутых работ.

В настоящее время в России перечисленные задачи решаются в основном экспертным путем. Ниже описывается использование имитационной модели как инструмента для объективной оценки пропускной способности.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 05-01-08030), грантов Президента РФ по поддержке молодых ученых – кандидатов наук МК-1480.2005.9.

Обзор систем поддержки принятия решений для аэропортов

За рубежом в настоящий момент существуют десятки инструментов, предназначенных для решения задач в данной области.

Представленная разработка относится к системам расчета пропускной способности аэропорта и времени задержек на основе моделирования. В соответствии с [1] этот класс систем возник одним из самых первых (конец 50-х годов) и сейчас является, пожалуй, наиболее развитым классом систем управления воздушным движением. Системы расчета пропускной способности различаются по охвату областей моделирования, уровню детализации и используемой методологии.

По уровню детализации моделирования данный класс систем можно разбить на три подкласса. Первый подкласс составляют системы макроэкономического моделирования. В данных системах движение судов (ВС) описывается заданным уровнем операций взлет/посадка в час и вероятностным распределением прибытия/вылета судов во времени, например, пуассоновским. Используются такие системы в основном для экономического или стратегического анализа, а также для оценки стоимостных характеристик и эффективности процессов управления аэропортом.

Второй подкласс характеризуется системами среднего уровня детализации. В данных системах моделирование основано на движении агрегированных потоков ВС через заданные объекты аэропорта.

Третий подкласс составляют системы микроэкономического моделирования, в которых моделируется движение каждого ВС через элементы аэропорта отдельно, причем учитываются характеристики каждого воздушного судна. Обычно сюда входит моделирование разрешения конфликтов, процесса руления по транспортной сети, выбор места стоянки, буксировка судов ВС и другие операции. Представляемая в настоящей работе система относится к данному подклассу систем.

По используемым методологиям различают аналитические системы и системы имитационного моделирования. Аналитические модели предназначены для получения оценок пропускной способности и величины задержек на основе некоторых предположений о выражении параметров. Имитационное моделирование подразумевает моделирование объектов, находящихся в наземной зоне аэропорта или в воздушном пространстве, и их действий.

Среди наиболее известных имитационных моделей микроэкономического уровня, широко используемых за рубежом и моделирующих зону аэропорта и воздушное пространство, можно выделить такие системы, как: TAAM (3D-моделирование) [2] и SIMMOD (моделирование на основе сети узлов и связей) [3], среди систем, моделирующих только зону аэропорта, можно отметить такую систему, как The Airport Machine (моделирование на основе сети узлов и связей) [1].

В России полномасштабных систем, подобных зарубежным, судя по всему, не существует. Среди специализированных разработок можно отметить программный комплекс для имитационного моделирования наземного движения ВС по летному полю, использовавшийся для оценки проектных решений по реконструкции международного аэропорта Шереметьево. Система создана в 2002 году научным коллективом под руководством профессора Л.М. Местецкого [4], [5].

Система моделирования движения ВС «AirForS»

Управление движением воздушных судов по транспортной сети – одна из самых главных задач аэропорта. Она осуществляется несколькими согласованно работающими диспетчерами, каждый из которых имеет свою «зону ответственности». Составители расписания определяют плановый график прилетов и вылетов. Диспетчер старта управляет движением ВС по полосам при взлете и посадке. Диспетчер перрона определяет размещение судов на местах стоянок и у терминалов при нахождении на земле. Диспетчер руления руководит движением ВС при перемещениях в зоне мест стоянок и терминалов.

Описываемая в работе модель состоит из нескольких согласованных функциональных модулей, которые моделируют работу диспетчеров, а также обеспечивают управление потоками ВС на прилет и на вылет.

Особенностью системы является поддержка очень большого количества содержательных ограничений, которые используются при моделировании деятельности диспетчера. Для системы AirForS был выбран непрерывный тип с фиксированным шагом по времени. Система поддерживает динамическое разрешение конфликтов и определение приоритетов движения ВС. Для выбора пути следования ВС используется алгоритм поиска кратчайшего пути на взвешенном графе с учетом динамических и статических ограничений. Для моделирования работы диспетчера расстановки разработан специализированный алгоритм многокритериальной дискретной оптимизации.

Работа с системой AirForS состоит из трех этапов: подготовка эксперимента, непосредственный расчет модели с заданными параметрами, визуализация результатов и получение статистической информации о результатах моделирования. Подготовка эксперимента включает работу с расписанием, визуальное редактирование модели конфигурации аэропорта, выбор режимов работы аэропорта и настройку параметров программы. Расчет модели с заданными параметрами позволяет обрабатывать множественные запуски модели для учета влияния стохастически изменяющихся характеристик.

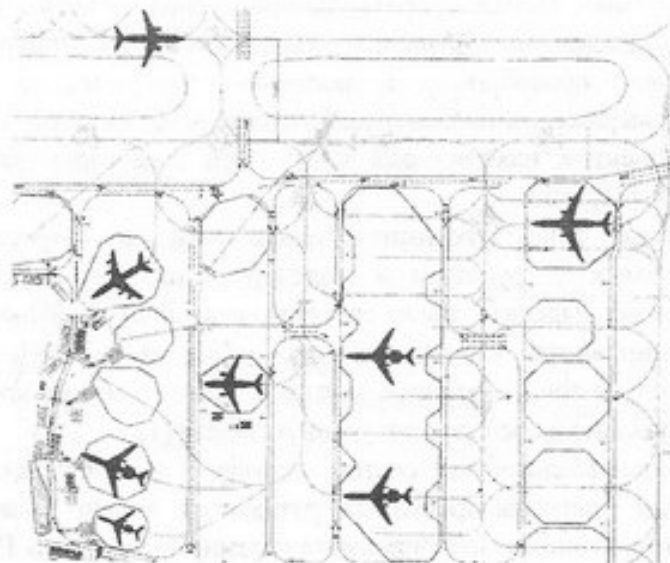


Рисунок 1 – Фрагмент схемы перрона АП Домодедово

Разработанная система использовалась для расчета пропускной способности аэропорта Домодедово (Москва). Перед системой была поставлена задача – рассчитать пропускную способность в условиях первой фазы реконструкции аэропорта (рис. 1).

Для инициализации модели аэропорт предоставил данные, включающие план аэропорта, плановые расписания и фактические времена прилетов и вылетов, правила выполнения полетов; были проведены работы по хронометрированию движения ВС по различным участкам транспортной сети. Алгоритмы принятия решений диспетчерскими службами были построены на основе наблюдений за действиями диспетчеров.

По проведенным экспериментам были получены значения предельной пропускной способности аэропорта в конфигурации 2006 года. Разброс результатов определялся вариантом конфигурации летного поля, режимом работы аэропорта и направлением курса взлета-посадки. Качественные результаты исследования позволили сделать вывод о влиянии различных параметров на функционирование аэропорта в различных режимах.

Заключение

Разработанная программная система имитационного моделирования движения ВС в рамках наземной транспортной сети аэропорта предназначена для расчета пропускной способности и времен задержки в разных режимах и конфигурациях аэропорта. Кроме того, система может использоваться для решения других задач управления деятельностью аэропорта. Примером таких задач может служить оптимальное размещение объектов аэродрома (взлетно-посадочных полос, рулежных дорожек, мест стоянок) или оптимизация маршрутов движения ВС.

Литература

1. International Center for Air transportation Massachusetts Institute of Technology «Existing and Required Modeling capabilities for Evaluating ATM Systems and Concepts», 1997.
2. <http://www.preston.net/products/TAAM.htm>
3. http://www.tc.faa.gov/acb300/more_simmod.asp
4. Местецкий Л.М., Щетинин Д.В. Имитационная модель наземного движения воздушных судов в аэропорту // Доклады I Всероссийской конференции «Опыт практического применения языков и программных систем имитационного моделирования в промышленности и прикладных разработках» (ИММОД – 2003). – Том II. – СПб. – 2003. – С. 84-88.
5. Местецкий Л.М., Федоров А.В., Щетинин Д.В. Прогнозирование пропускной способности аэропорта на основе имитационного моделирования // Тезисы докладов Международной научной конференции «Интеллектуализация обработки информации» (ИОИ – 2004). – Симферополь. – 2004. – С. 112.

М.Ю. Романов, А.В. Рудева, Ю.В. Чехович, С.А. Громов, А.Н. Ефімов, В.А. Лексин, Р.І. Ямінов

Система імітаційного моделювання транспортної мережі аеропорту AirForS

У роботі представлена система імітаційного моделювання руху повітряних судів (ПС) по наземній транспортній мережі аеропорту. Система призначена для розрахунку пропускної здатності і часів затримки у різних режимах і конфігураціях аеропорту. У роботі приводиться приклад використання моделі для розрахунку пропускної здатності аеропорту Домодедово (Москва).

M.Yu. Romanov, A.V. Rudeva, Yu.V. Chekhovich, S.A. Gromov, A.N. Eflimov, V.A. Leksin, R.I. Yaminov

System of Transport Network Simulation of Airport AirForS

An aircraft traffic simulation system is presented in the paper. The simulation model is intended to estimate appropriate measures for traffic capacity and delay time. The example of model usage for estimation of traffic capacity at Domodedovo airport (Moscow) is described.

Статья поступила в редакцию 26.04.2006.