

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭТАПОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ПОТОКОВ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КИМ УВД**О. В. Дегтярев, В. П. Егорова, И. Ф. Зубкова, А. В. Кан (Москва)**

Во всем мире имеет место тенденция кардинального пересмотра принципов организации и управления воздушным движением (ВД), необходимость которых обусловлена увеличением интенсивности ВД и повышением требований авиаперевозчиков по предоставлению им больших возможностей совершать наиболее экономически эффективные полеты. Целью проводимых международными и многими национальными организациями работ является создание и полномасштабное внедрение системы, реализующей новую концепцию управления воздушным движением (УВД), основанную на перспективных концепциях связи, навигации и управления (так называемая концепция CNS/ATM).

Системы организации и управления воздушным движением относятся к сложным системам, описываются математическими моделями очень высокого порядка, нелинейными, нестационарными, с распределенными параметрами, непрерывно-дискретными. Сложность такой системы обусловлена характером информационных связей между отдельными ее элементами, многомерность – большим количеством органов и объектов управления (сотни и тысячи аэродромов, тысячи выполняемых в сутки рейсов).

Оценить функционирование таких систем аналитическими или расчетно-аналитическими методами в условиях, достаточно адекватных реальности, невозможно. Поэтому имитационное моделирование является совершенно необходимым. В ГосНИИАС в настоящее время разработана первая версия программного комплекса имитационного моделирования процессов организации и управления воздушным движением (КИМ УВД) для анализа и синтеза систем организации ВД (ОрВД) (как современных, так и перспективных).

Задачу моделирования можно сформулировать следующим образом /1, 2/.

Что произойдет с эффективностью функционирования системы УВД (интенсивностью полетов, регулярностью, задержками, отменами и пр.), с экономической эффективностью выполнения полетов (стоимостью полетов), с выполнением требований по использованию воздушного пространства (ИВП) (уровнем выполнения ограничений, “ущербом”, наносимым ограничениями) при изменении:

- интенсивности полетов;
- структуры воздушного пространства и системы УВД (закрыт/открыт аэропорт, трасса и пр.);
- состояния воздушного пространства и системы управления воздушным движением (СУВД), что связано с реализацией тех или иных организационных мер (снизилась или увеличилась пропускная способность, изменился регламент работы, введены или ликвидированы маршруты выхода на трассу и схода с нее, введены ограничения ИВП и т. д.);
- стратегии планирования и регулирования потоков на любом из этапов планирования;
- концепции планирования полетов (трассовые полеты, “свободные полеты”).

КИМ УВД обеспечивает:

- исследование систем УВД и управляемых потоков ВД, соответствующих трассовым полетам и «свободным полетам» для всех этапов планирования и управления;
- простое формирование или выбор требуемого потока ВД, а также удобную и простую настройку на требуемое состояние воздушного пространства (ВП);

– возможность проведения отдельных исследований процессов планирования и собственно выполнения управляемых полетов и сквозного проведения исследований;

– формирование показателей эффективности планирования и выполнения потоков по следующим группам: безопасности, производительности, регулярности, экономической эффективности;

– приемлемое для исследователя быстродействие моделирования.

Функции организации и управления ВД по времени их выполнения можно разбить на 3 этапа:

- стратегический этап, начинающийся с предварительного составления долгосрочных расписаний и решений по стратегической структуризации воздушного пространства за несколько недель/месяцев и заканчивающийся приблизительно за день до выполнения рейсов;

- предтактический этап, начинающийся за день до выполнения рейсов и заканчивающийся с окончанием этих календарных суток; на этом этапе завершается работа по приему заявок и планированию и согласованию планов полетов с учетом прогнозируемых на день полетов условий;

- тактический этап, включающий в себя выполнение всех функций по окончательным операциям планирования и управлению собственно движением воздушных судов (ВС) в день выполнения рейсов.

При моделировании этих этапов в рамках КИМ УВД процесс планирования и управления потоками ВД может быть представлен обобщенно в виде следующей структурной схемы (рис. 1). Система управления потоками ВД на всех этапах планирования и управления движением ВС включает объект управления – совокупность воздушных судов со своими экипажами и регулятор – совокупность управляющих органов: планирующие службы систем ОВД и авиакомпаний и диспетчерские службы СУВД. Информационные связи между отдельными участниками управления обеспечивают работу системы управления потоками ВД как замкнутой системы управления. Ее функционирование происходит в условиях, определяемых структурой и текущим состоянием ВП и СУВД. Конкретное распределение задач, решаемых отдельными участниками процесса управления, обуславливается принятой схемой управления, а также возможностями измерительных средств и возможностями по обмену информацией.

Функционирование системы, качество выполнения в ее рамках потоков ВД оцениваются широким спектром показателей, которые могут быть объединены по группам в зависимости от характеризованного аспекта системы. Основными являются четыре группы показателей: эффективности, безопасности, производительности, регулярности. В свою очередь, каждая группа показателей подразделяется на отдельные подгруппы. Использование той или иной подгруппы показателей и их конкретного состава зависит от целей исследования и решаемых при этом задач. В составе КИМ УВД реализованы расчет и представление в удобной текстовой, графической и картографической формах большого количества характеристик функционирования системы ОрВД и выполнения управляемых потоков ВД. В докладе иллюстрируется применение этих интерфейсных средств при исследованиях.

Особенности организации моделирования существенным образом обусловлены свойствами моделируемого этапа планирования ВД.

Моделирование этапа стратегического планирования включает в себя следующую последовательность операций (рис. 1).

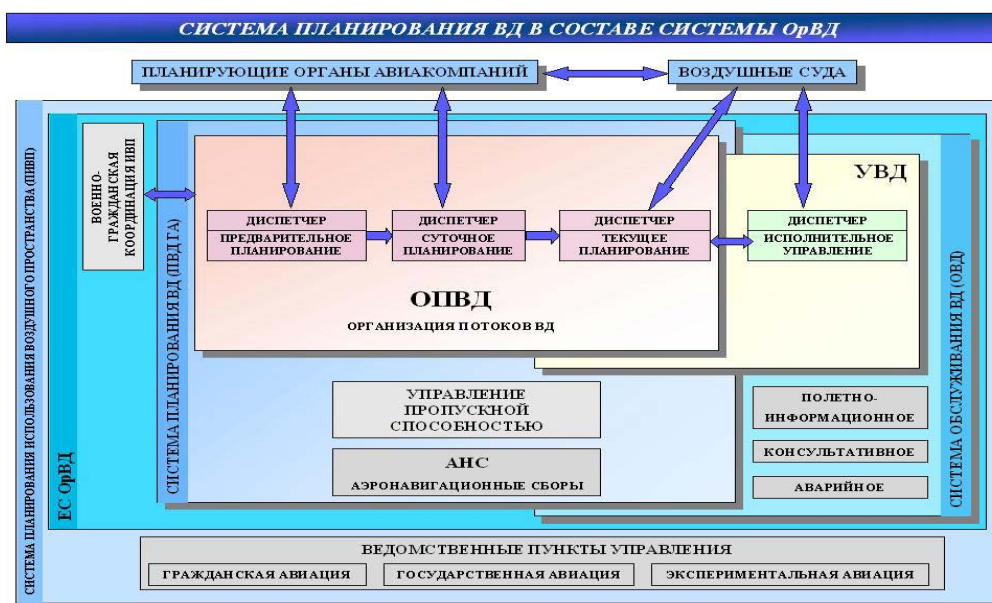


Рис. 1

- имитация “регулирования” этого расписания путем имитации действий служб организации потоков ВД (ОПВД) и органов управления авиакомпаний;
- анализ эффективности действий по регулированию.

Два последних действия могут повторяться неоднократно, имитируя итерационный процесс согласования. В силу специфики задачи процесс моделирования состоит из последовательного применения расчетных моделей в интерактивном режиме.

Моделирование этапов суточного и текущего планирования заключается в выполнении следующей последовательности процессов согласования и регулирования подлежащего выполнению плана полетов:

- имитация первоначального плана полетов с использованием библиотечных потоков и средств их модификации, а также с учетом прогнозируемого состояния ВП и СУВД;
- имитация “регулирования” этого плана полетов путем применения процедур, моделирующих действия служб ОПВД и органов управления авиакомпаний;
- анализ эффективности действий по регулированию;
- изменение планируемого потока ВД (имитация изменений заявок на полеты);
- имитация изменения состояния ВП и СУВД.

Имитация действий по регулированию суточного плана полетов, аналогично предыдущему этапу моделирования, может повторяться.

КИМ УВД позволяет обеспечить имитацию сквозного процесса планирования и управления путем последовательного моделирования всех трех этапов, проводимого в диалоговом режиме. Вместе с тем в рамках принятой идеологии можно проводить исследования, ограничиваясь решением частных с точки зрения полного цикла планирования и управления задач.

Моделирование функционирования такой системы при выполнении полетов обеспечивается моделями следующих функциональных блоков:

- инфраструктура системы;
- поток ВД, под которым понимается совокупность рейсов. Каждый рейс определяется своим 4-х мерным планом полета, а также параметрами реализовавшегося полета, которые могут отличаться от плановых;
- структура, принципы организации и собственно алгоритмы управления потоками ВД, под которыми понимаются действия бортовых средств управления и наземного сегмента управления, которые обеспечивают управление каждым ВС в общем потоке ВД в соответствии с реализующимися условиями.

В докладе демонстрируются примеры решения следующих исследовательских задач с использованием комплекса имитационного моделирования.

Задача 1. Исследование и оценка эффективности выполнения заданного (выбранного из библиотеки вариантов) варианта потока ВД при заданном состоянии СУВД. Ее решение обеспечивается путем предварительного и полного формирования “сценария” моделирования, включающего выбор из библиотеки и необходимую модификацию моделируемого потока ВД, а также определения состояния СУВД путем задания пропускных способностей и формирования данных по ограничениям ИВП и варианта и параметров системы управления.

Задача 2. Исследование влияния увеличения интенсивности ВД на функционирование СУВД и эффективность выполнения потоков с целью прогноза последствий увеличения потоков ВД при сохранении принципов организации СУВД (т. е. может ли справиться система с таким изменением).

Порядок проведения исследований включает выбор исходного варианта потока, моделирование увеличения его интенсивности (имитация увеличившегося потока заявок), приведение потока в соответствие с возможностями СУВД (имитация действий по регулированию изменившегося потока ВД), собственно моделирование выполнения и анализ потока ВД (рис. 2).

Задача 3. Исследования, проводимые с целью прогноза последствий полного или частичного закрытия по организационным причинам либо по метеоусловиям элементов СУВД и отдельных объемов ВП и отработки различных стратегий регулирования потоков ВД на стадии планирования.

Задача 4. Сравнительное исследование эффективности схем управления ВД, соответствующих стратегиям трассовых и “свободных полетов” для оценки преимуществ или недостатков перехода на “свободный полет” с точки зрения безопасности и экономической эффективности.

Задача 5. Исследование основных организационно-технических вопросов разработки мероприятий по совершенствованию системы ОрВД РФ в рамках деления воздушного пространства региона (страны в целом, Зоны ОрВД) на ВП районов, а также деление района в пространстве и времени на зоны ответственности отдельных диспетчеров РЦ (сектора ОВД).

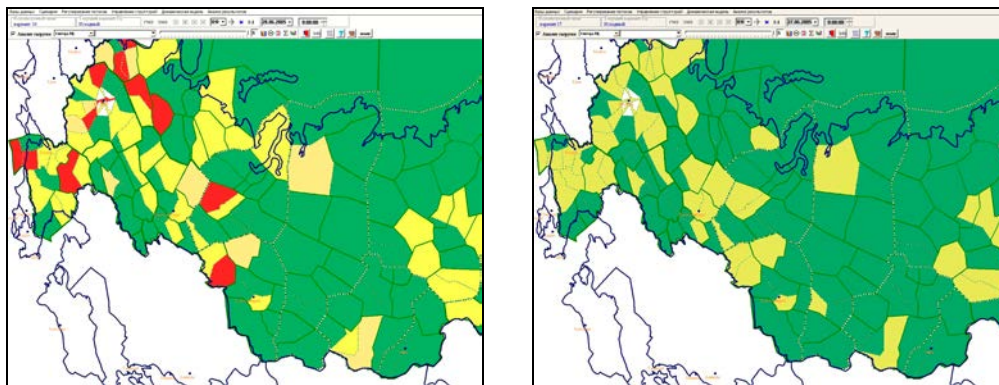


Рис. 2

Следует отметить следующие особенности моделирования этапов планирования потоков воздушного движения с использованием КИМ УВД:

- реализация средств моделирования основана на методах моделирования сложных иерархических организационно-технических систем и моделирования сложных взаимосвязанных пространственно-временных процессов большой размерности;

- для описания моделирующего комплекса разработаны или адаптированы соответствующие методы и алгоритмы оптимизации сложных многомерных, дискретно-непрерывных, нестационарных систем, функционирующих в условиях нелинейных, нестационарных, как правило, невыпуклых и, возможно, несвязных, ограничений;

- исходный объем информации, используемый комплексом, хранится в специально организованных базах данных, включающих таблицы многовариантных данных о структуре ВП, пространственной структуре СУВД, состоянии СУВД, о плановых потоках ВД (в качестве таковых принимаются реальные или условные (модельные) суточные планы полетов);

- сложность и многообразие задач, которые могут быть решены с использованием КИМ УВД, что обуславливает наличие множества различных интерфейсных и расчетных средств анализа потоков ВД;

- средства, объединенные в блок формирования сценария, обеспечивают предварительную настройку модели на конкретный исследовательский вариант.

Программная реализация комплекса выполнена в среде DELPHI, что определяется необходимостью объектной ориентированности, серьезной графической и картографической поддержки, наличием большого числа расчетных процедур.

Выводы

Комплекс разработан как универсальное средство исследования качества и особенностей выполнения полетов в любых задаваемых условиях. Его можно применять для решения разноплановых задач, начиная от оценки эффективности выполнения отдельного полета (и даже его части) или анализа алгоритмов разрешения потенциально-го конфликта в дуэльной ситуации до интегрального анализа выполнения полного суточного плана полетов в пределах страны.

Комплекс ориентирован на широкий круг потенциальных пользователей, включающих разработчиков методов и алгоритмов управления полетом отдельных ВС и потоков ВД, участников планирования и регулирования потоков ВД, специалистов ГА, авиакомпаний, авиационной промышленности занимающихся анализом и прогнозом проблем использования воздушного пространства и проблемами повышения эффективности воздушного движения.

Уникальность комплекса заключается в практическом отсутствии отечественных универсальных комплексов имитационного моделирования больших транспортных систем, предназначенных для решения разноплановых исследовательских задач.

Литература

1. Дегтярев О. В., Егорова В. П., Зубкова И. Ф., Чутков В. А.. Комплекс имитационного моделирования потоков воздушного движения. Труды ГосНИИАС. Вопросы авионики. –2003. –Вып. 2(12)2.
2. Degtyaryev O. V., Egorova V. P., Zubkova I. F., A. V., Chutkov V. A.. Regulated Traffic Flow Simulation Tool (RATFST)//16th IFAC **Kan** Symposium on Automatic control in aerospace. Preprints. –2004. –Vol. 1. –S. 550,