

ИМИТАЦИОННОЕ ОПЕРАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ

Л. В. Вишнякова, О. В. Дегтярев, А. В. Слатин (*Москва*)

Введение

Имитационные модели являются частным случаем математических моделей. Под термином «имитационная модель» подразумевают «вычисление значений некоторых характеристик развивающегося во времени процесса путем воспроизведения течения этого процесса на компьютере с помощью его математической модели, причем получить требуемые результаты другими способами или невозможно, или крайне затруднительно» [6].

В Государственном научном центре «ГосНИИ авиационных систем» имеется многолетний опыт имитационного моделирования систем управления оружием, а также операционного моделирования боевых операций. Создана система математических имитационных моделей, разработаны методики, связанные с применением этих моделей на различных этапах исследований и различных фазах жизненного цикла систем. Этот опыт был распространен на задачи исследования использования воздушного пространства в интересах гражданского заказчика – отечественных служб системы организации воздушного движения.

С одной стороны, эти два направления отличаются друг от друга: различные показатели и критерии эффективности, различная номенклатура объектов управления, отличающиеся способы управления и т.д. Но, с другой стороны, подходы и решения по построению имитационных моделей и их программного обеспечения, по организации исследований очень близки. Это касается и математики управляемого полета, и построения диспетчера времени с очередью событий, состава и организации банков данных, систем отображения и организации этапов моделирования. Даже подходы к построению методов и алгоритмов оптимизации управления воздушным движением гражданских и боевых самолетов имеют много общего. Еще один аргумент: в настоящее время все в большей степени воздушное пространство рассматривается как совместный ресурс, используемый всеми пользователями как гражданскими, так и государственнойaviацией. Активно идет интеграция беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в единую систему организации и управления воздушным движением.

В докладе рассмотрены особенности имитационного моделирования авиационных операций обоих типов. Первый тип – это боевые операции с применением авиационного компонента, а второй тип – операции, связанные с организацией «транспортного» воздушного движения, объединяющие полеты всех воздушных судов (ВС), выполняющих полеты со своими целями, но в рамках единой системы (так называемые, trajectory based operations).

1. Имитационное моделирование боевых действий

В ФГУП «ГосНИИАС» разработана имитационная математическая модель боевых действий, которая с учетом цифровой карты рельефа местности и погодных условий позволяет воспроизводить ход боевых действий типа «много-на-много». При этом в конфликте за обе стороны участвуют и, соответственно, моделируются многофункциональные истребители, вооруженные ракетами «воздух–воздух» и «воздух–поверхность», самолеты дальнего радиолокационного обнаружения, беспилотные летательные аппараты; зенитные ракетные комплексы и т. д., функционирующие под управлением автоматизированных командных пунктов.

1.1. Назначение модели. Данная модель предназначена:

- для оценки эффективности авиационных и зенитных комплексов, функционирующих под управлением автоматизированных систем боевого управления;
- для выбора и обоснования рациональной структуры построения, состава и характеристик авиационных и зенитных комплексов, а также систем боевого управления этими комплексами;
- для выбора рациональной тактики боевого применения авиационных и зенитных комплексов;
- для выбора и обоснования рациональной структуры построения, состава и характеристик системы разведки наземных целей и системы сбора и доведения информации;
- в качестве среды отработки и тестирования бортовых алгоритмов самолетов;
- в качестве имитатора воздушной и наземной обстановки на стендах отладки и тестирования функционального программного обеспечения самолетов.

На рис. 1 приведен скриншот, на котором по данным, записанным моделью с помощью средств трехмерной визуализации, воспроизведен фрагмент группового воздушного боя.

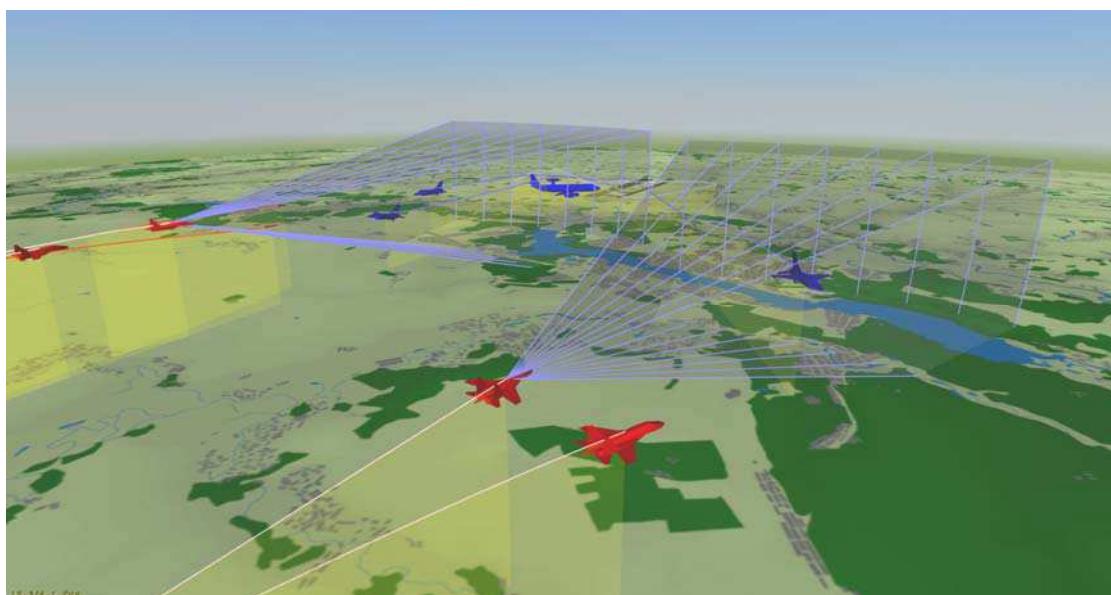


Рис. 1. Фрагмент воздушного боя – атака двумя парами авиационных боевых комплексов Су-27 самолета AWACS, обороняемого многофункциональными истребителями F-16

1.2. Тип моделирования и структура модели. Имитационная модель боевых действий представляет собой программу на языке C++ объемом свыше нескольких десятков тысяч строк исходного кода. Моделирование производится путем имитации наиболее важных информационных и динамических процессов, происходящих при функционировании объектов. Применяемый при моделировании имитационный принцип позволяет охватить значительно большее, по сравнению с аналитическим, число переменных, описывающих систему, дает возможность не вводить при построении математической модели ряд серьезных упрощений и допущений, которые могут привести к получению качественно неверных результатов [1–3].

Функционирование боевых средств имитируется с различной степенью подробности, определяемой решаемой задачей. Рассматривались задачи выбора технического облика и характеристик боевых комплексов, таких как характеристики и режимы рабо-

ты радиолокационных станций, циклограммы работы, летно-технические характеристики ракет «воздух–воздух» и «воздух–поверхность», структура построения и характеристики автоматизированной системы управления.

В разработанной модели применяется смешанный подход к имитации: большая часть процессов моделируется на основе пособытийного принципа, однако некоторые сложные процессы, происходящие в имитируемой сложной системе «свои объекты – объекты противника», моделируются потактово с шагом во времени, соответствующим содержанию процесса. За счет использования пособытийного принципа, при котором имитация моделируемых процессов ведется с неравномерным шагом по времени, обеспечивается высокое быстродействие модели, значительно превышающее реальное время. Последнее особенно важно как для набора необходимого объема выборки и подсчета статистики по показателям эффективности, так и для отладки и тестирования модели, ее гибкого применения.

Математическая модель состоит из модулей, работающих под управлением единого диспетчера, обеспечивающего синхронизацию их работы во времени, обмен данными между модулями, а также считывание из базы данных исходных данных для проведения расчетов и запись результатов моделирования в базу данных.

Укрупненная блок-схема, представляющая структуру модели, показана на рис. 2.

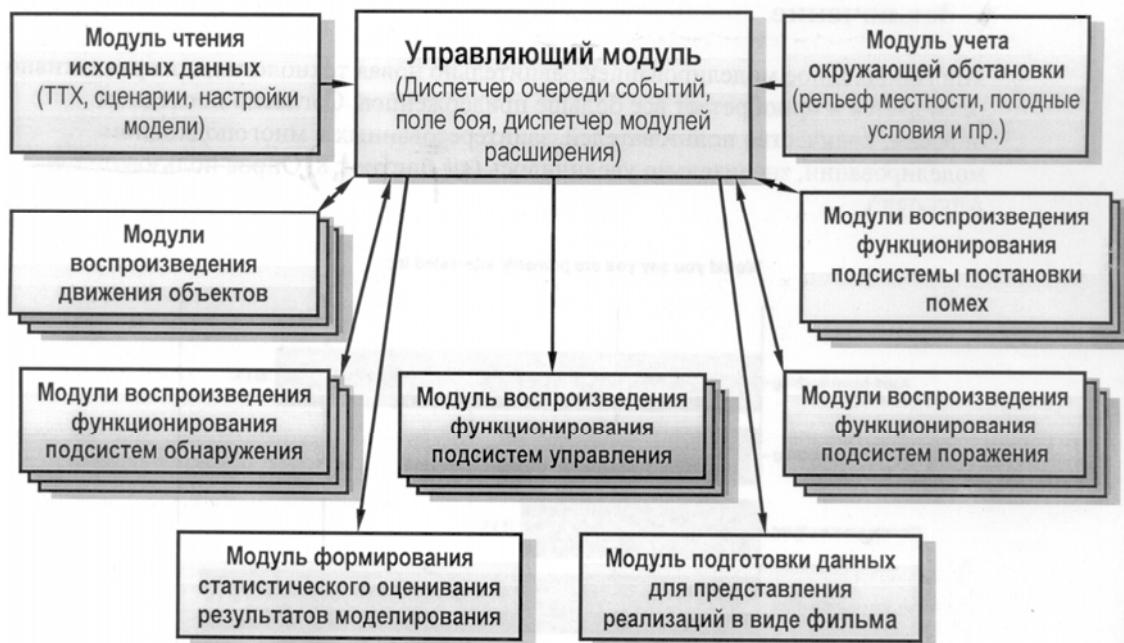


Рис. 2. Укрупненная схема структуры имитационной модели боевой операции

Технология построения программной реализации имитационной модели боевой операции заключается в следующем. Каждый единичный моделируемый объект (самолет, боевая машина зенитного ракетного комплекса, беспилотный летательный аппарат, ракета, танк и т.д.) состоит из контейнера и набора подсистем. Контейнер содержит характеристики заметности объекта и список подсистем. Подсистемы отвечают за воспроизведение функционирования объекта. В состав моделируемого объекта входят: подсистема движения, формирующая траекторию движения (точку стояния объекта); подсистема управления, отвечающая за сбор, обработку, отождествление информации, поступающей от других подсистем, и за выработку команд; подсистемы обнаружения (радиолокационные станции, станции радиотехнической разведки, оптико-электронные станции); подсистемы поражения; подсистемы постановки помех; подсистемы связи и др.

Такое построение моделируемых объектов позволяет обеспечить воспроизведение функционирования широкой номенклатуры средств, участвующих в боевых действиях, за счет:

- компоновки моделируемых объектов из подсистем, имитирующих отдельные функционально независимые подсистемы объекта (одни и те же типы подсистемы могут использоваться разными типами объектов, например, один и тот же тип подсистемы – многофункциональная радиолокационная станция – используется для различных зенитных ракетных комплексов);
- моделирования функционирования подсистем, принадлежащих одному классу, с помощью одного программного модуля и привязки к конкретному типу воспроизводимой подсистемы на уровне задания исходных данных (например, для имитации функционирования радиолокационной станции самолетов и радиолокаторов самоходных огневых установок зенитных ракетных комплексов может использоваться один программный модуль).

В процессе моделирования осуществляется подыгрыш целого ряда случайных факторов: вероятностей поражения наземных и воздушных боевых средств и объектов различных типов, вероятностей их обнаружения, взятия на точное сопровождение, вероятностей правильной передачи команд управления и др.

Расчет выходных показателей эффективности функционирования авиационных и зенитных комплексов осуществляется по выборке, объем которой зависит от потребной в решаемой задаче точности получения результата, и составляет, как правило, несколько сотен реализаций.

1.3. Автоматизированная система анализа эффективности «Атлант». Представленная имитационная модель используется в составе автоматизированной системы анализа эффективности зенитных комплексов и систем «Атлант» (рис. 3) [4]. Кроме непосредственно самой имитационной модели в состав автоматизированной системы входят:

- ✓ база данных, содержащая тактико-технические характеристики моделируемых образцов вооружения, различные варианты сценариев боевых операций, задающие состав средств за обе взаимодействующие в боевой операции стороны, организацию их управления и размещение в пространстве и времени, а также различные варианты условий применения, определяющие тип рельефа местности и климатические данные;
- ✓ средства графического отображения динамики операции на мониторе компьютера в трехмерном изображении, позволяющие наглядно продемонстрировать процессы, происходящие в ходе боевых действий;
- ✓ средства организации диалога человека с компьютером, реализующие пользовательский интерфейс на естественном проблемно-ориентированном языке и предоставляющие пользователю автоматизированной системы возможность выбора наиболее удобного для него способа организации и проведения расчетов, задания исходных данных и анализа полученных результатов.

Данная имитационная математическая модель боевых действий может быть также использована в составе тренажерного комплекса, поскольку обеспечивает с учетом цифровой карты рельефа местности и погодных условий:

- ◆ возможность имитации действий боевых средств, воспроизведение которых требуется в тренажерном комплексе;
- ◆ высокую адекватность имитации функционирования авиационных и зенитных комплексов, подтвержденную в ходе выполнения ряда работ;
- ◆ возможность воспроизведения, как в реальном, так и в ускоренном времени хода масштабных боевых действий (с участием до 10000 объектов типа самолет, беспи-

лотный летательный аппарат, зенитный ракетный комплекс, ракета, танк, боевая машина пехоты и т.д.).



Рис. 3. Схема взаимодействия основных частей автоматизированной системы анализа эффективности ЗРК «Атлант»

В настоящее время в модели боевых действий управление функционированием имитируемых объектов осуществляется с помощью автоматических устройств (математических «автоматов»). Для использования данной модели в составе тренажерного комплекса проводится ее доработка, связанная с передачей управления для части имитируемых объектов к функциональным и процедурным тренажерам, а также с выдачей на тренажеры данных текущей воздушной и наземной обстановки.

1.4. Особенности разработанной имитационной модели. Разработанная в ГосНИИАС математическая модель боевых действий авиационных и зенитных ракетных комплексов является уникальным специализированным программным средством. Отличительная особенность данной модели заключается в реализации большой скорости расчетов без потери точности выходных результатов.

Построение описанной модели выполнено на языке C++ с помощью современных подходов к проектированию программных продуктов большого объема, создающих не только удобство работы с программным кодом, но и обеспечивающих простоту его наращивания и модернизации, работу над проектом большой группы специалистов одновременно.

Представленная имитационная математическая модель использовалась на практике для обоснования облика зенитных ракетных систем и комплексов, разработке и отработке бортового программного обеспечения самолета РЛДН [5].

2. Математическое моделирование систем организации воздушного движения (ОрВД) самолетов гражданской авиации

2.1. Задачи математического моделирования в области ОрВД. Системы организации и управления воздушного движения относятся к наиболее сложным человеко-машиинным иерархическим и распределенным, многомерным и многосвязным системам управления. К их функционированию предъявляется большое число часто противоречивых требований, главными из которых являются высокая безопасность полетов наряду с высокой эффективностью их выполнения. В силу специфики области использования системы широкие и системные натурные исследования практически не применимы, аналитические исследования и аналитическое моделирование также очень

ограничены. Даже полунатурное моделирование может иметь только узкое применение: в связи с отмеченными особенностями системы адекватное моделирование требует создания очень сложных с технической точки зрения человеко-машинных комплексов моделирования, участия многих операторов – диспетчеров и пилотов. Такие уникальные комплексы необходимы для тестирования эффективности разрабатываемых процедур управления воздушным движением (УВД), но решение всего комплекса возникающих вопросов с их помощью не обеспечить. В этих условиях особое значение приобретают математическое имитационное моделирование и программные комплексы, обеспечивающие подготовку, собственно моделирование и обработку полученных результатов.

Необходимо отметить, что в области УВД, впрочем, как и в других сложных технических системах, понятия «математическая модель» и математическое моделирование как процесс используются для решения трех различных задач:

- собственно математическое моделирование, как средство поддержки при проведении синтеза системы и исследования ее функционирования в различных условиях (как часто говорят, для получения ответа на вопрос «что, если?» («what if?»)), для валидации системных решений, схем, методов и алгоритмов управления – исследовательские имитационные модели;;
- сопровождающее моделирование реального образца системы – сопровождающие имитационные модели;
- моделирование как средство поддержки и ускорения принятия решения человеком непосредственно в контуре (процессе) реального управления – модели, поддерживающие принятие решений.

С методической стороны все три группы моделей очень близки, в них могут использоваться одни и те же средства, процедуры, алгоритмы. Тем не менее, в настоящей работе рассматриваются модели применительно к первой группе задач.

Особое значение имитационного моделирования процессов организации и управления воздушным движением связано с продолжающейся модернизацией систем ОРВД в мире. Эта реорганизация связана с внедрением технологий CNS/ATM (Communication, Navigation and Surveillance/Air Traffic Management – Связь, навигация и наблюдение/Организация воздушного движения), обеспечивших возможность кардинального изменения принципов, процедур, методов планирования и управления. А необходимость изменений вызвана значительным увеличением интенсивности воздушного движения (ВД), при котором во многих регионах практически достигнуты пределы возможностей существующей системы. Это обстоятельство дополняется выходом на первый план вопросов эффективности как выполнения полетов пользователями воздушного пространства (ВП), так и собственно системы УВД. В настоящее время такие работы объединены в первую очередь вокруг двух гигантских научно-технических программ модернизации систем ОРВД – SESAR (Европа) и NextGen (США). Для разработки и внедрения новых процедур и методов планирования и управления ВД необходимы исследовательские имитационные модели.

2.2. Краткий обзор моделирующих средств. Традиционно рассматриваются две группы моделируемых процессов и систем: системы управления воздушным движением и системы планирования использования воздушного пространства (ПИВП), хотя такое деление становится все более условным.

В рамках *моделей процессов управляемого воздушного движения*, получивших наиболее широкое распространение и известность в мире, следует отметить следующие комплексы моделирования [2]: AirTop, AwSim, FACET, HERMES, NARIM, NASPAC, National Flow Model, OPAS, OPGEN, RAMS, Regional Traffic Model, SDAT, SDAT, SIMMOD PRO, SIMMOD PLUS, TAAM, TARGETS, SAAM, NEVAC.

Большинство моделей являются моделями среднего (mesoscopic) и высокого (microscopic) уровня подробности, очень небольшое число моделей – с малой (macroscopic) степенью подробности. Около половины моделей могут быть отнесены к моделям с изменяемым уровнем подробности. Большинство моделей являются стохастическими.

Наиболее часто реализуется моделирование траектории полета, окружающей среды, области выполнения полетов (на маршруте, в районе аэропорта, в терминальной области), средств связи, наблюдения, навигации и информационных потоков, а также работы персонала, моделируется эшелонирование ВС (разделения самолетов в воздухе), предотвращение столкновения с земной поверхностью и препятствиями, разделение самолета с закрытым ВП, обнаружение и разрешение парных и множественных конфликтов. При моделировании производится вычисление множества показателей эффективности и применяются оптимизационные процедуры: оптимизация маршрутов, в том числе на поверхности аэродрома, оптимизация высоты крейсерского полета, выполняется организация потоков воздушного движения (ОПВД), ресекторизация и изменение конфигурации на аэродроме, а также оптимизация структуры воздушного пространства.

Среди *средств моделирования процессов ПИВП* можно выделить: ABNA, ACES, AEM3, ATC-HPM, ATTILA, AwSim, CAASD, COSAAC, FACET, JSE, LMINET, MEANS, Mentor, NARIM, NASPAC, NFM, OPAS, PACER, SIMMOD, ТААМ, TACOT, TARGETS, TOPAZ, SAAM, NEVAC.

Наиболее часто моделируются следующие процессы планирования и ОПВД: изменения времени вылета с учетом пропускной способности (ПС) аэропорта, схемы назначения слотов, программы задержек и остановок на земле, ограничения на маршруте или в пунктах маршрута по продольному эшелонированию, изменения, вносимые в полет по маршруту (в связи с ограничением ПС секторов), прогнозирование загрузки диспетчера и влияния этой загрузки на ПС и эффективность управления «транзитным» потоком ВД в маршрутном секторе, движение в аэропорту и приаэродромной области, изменение временных составляющих планов полета, выбор приемлемых маршрутов с учетом местоположения областей плохой погоды, прогнозное обнаружение конфликтов в различных вариантах, взаимодействие различных участников ВД при совместном принятии решений.

2.3. Выбор типа моделирования. Цели моделирования систем ОрВД весьма многочисленны и разнообразны. Поэтому в зависимости от ставящихся конкретных целей и особенностей решаемых исследовательских задач могут использоваться следующие группы «инструментов» моделирования:

– расчетные математические модели, позволяющие оценить с достаточной точностью требуемые показатели, описывающие ту или иную сторону функционирования системы ОрВД, без непосредственного моделирования собственно процессов в динамике их развития.

– имитационное математическое моделирование, позволяющее определить (вычислить) требуемые показатели путем непосредственного компьютерного моделирования процессов планирования и управления ВД в динамике их развития и обработкой получаемых при этом результатов.

Как показывает анализ [7], в существующих моделирующих системах нашли применение и широко используются оба варианта моделирования, причем применяют различные типы второго:

– ускоренное дискретно-событийное моделирование;
– собственно динамическое моделирование в реальном и/или ускоренном времени;

– агентное моделирование.

Соотношение областей применения расчетного и имитационного моделирования представляет большой интерес. Первый напрашивающийся вывод: математическое моделирование должно применяться на предварительных этапах исследования, а затем, при необходимости получения более точных результатов, следует повторить исследования методами более детального имитационного моделирования. Однако все не столь очевидно. Прежде всего ситуация зависит от решаемых задач. Большая группа задач связана с исследованиями по использованию ВП и оценкой влияния многочисленных факторов:

- влияние на показатели ИВП интенсивности и структуры потоков ВД;
- влияние на эти показатели структуры ВП (трассовой структуры, структуры аэрородомного ВП, конфигурации и графиков работы секторов управления, структуры и состава наземных средств);
- влияние на показатели изменения правил и процедур выполнения полетов;
- влияние точности навигации на уровень безопасности полетов;
- оценка уровней риска.

Для таких исследований более целесообразно применять расчетное моделирование. В качестве полетных данных могут использоваться потоки, соответствующие реальным плановым или фактическим данным, либо потоки, построенные на их основе. Расчетные соотношения для вычисления показателей ИВП (алгоритмы модели) основываются на гипотезе выполнения полетов в соответствии с исходными полетными данными. При этом можно учитывать статистический характер выполнения полетов (например, точность выдерживания траектории). Основной недостаток – ограниченная точность получаемых оценок, связанная с отсутствием учета отклонений реально выполняемых полетов от плановых характеристик.

Имеется целый ряд задач, действительно требующих именно моделирования процессов в динамике их развития. Это задачи, связанные с моделированием ситуаций управления с обратной связью (когда событие, которое в принципе может быть спрогнозировано по исходным данным, повлечет за собой существенное изменение ситуации относительно прогноза по исходным данным). Имеются в виду прежде всего ситуации с моделированием влияния на процессы и траектории полета управляющих воздействий, вырабатываемых диспетчерами УВД и экипажем в ответ на реализующиеся условия полета. В этих случаях моделирование таких динамических процессов необходимо. В качестве примеров можно привести следующие задачи:

- моделирование управления очередью на прилет и/или вылет;
- моделирование с целью исследования «эффекта домино» при предотвращении нарушений норм эшелонирования в условиях плотного ВД.

Еще одна причина обоснованности применения имитационного моделирования связана с необходимостью учета и оценки влияния случайных факторов на процессы ОрВД. При достаточно сложных моделях этих случайностей построение адекватных расчетных моделей может стать нереальным, при этом, действительно, гораздо проще провести статистическое моделирование «в лоб».

2.4. Программный исследовательский комплекс КИМ ОрВД. Исследовательский комплекс имитационного моделирования систем и процессов ОрВД «КИМ ОрВД» предназначен для проведения исследований, связанных с разработкой мер по совершенствованию как структуры воздушного пространства, так и процедур планирования и управления потоками ВД, а также для анализа эффективности предлагаемых мер.

Программный исследовательский комплекс КИМ ОрВД [8–12] (рис. 4) состоит из следующих ключевых подсистем:

- средства подготовки исследовательских вариантов потоков ВД, структуры ВП, условий выполнения полетов и состояния системы ОрВД. Сюда включаются как автоматизированные, так и полностью автоматические средства синтеза, в том числе средства оптимального синтеза;
- средства хранения исследовательских вариантов, а также настройки имитационных моделей на любой подготовленный сценарий;
- собственно средства моделирования (как расчетные (математические), так и имитационные модели);
- средства обработки (в том числе статистической), визуализации и архивирования процессов и результатов моделирования.



Рис. 4. Обобщенная схема исследовательского комплекса «КИМ ОрВД»

Для подготовки и проведения моделирования приняты следующие подходы. Все операции выполняются в рамках взаимосвязанного программного обеспечения, использующего единые БД, единые расчетные и интерфейсные средства анализа ИВП, единое картографическое ядро. Для решения отдельных и конкретных оптимизационных задач используются специализированные, ориентированные для конкретного применения алгоритмы и процедуры. В составе моделирующего комплекса реализован целый ряд задач синтеза (синтез исследовательских потоков ВД, регулирование потоков ВД, синтез маршрутов и ремаршрутизация, синтез структуры района УВД, формирование конфигураций и графиков работы секторов УВД, управление очередью прибывающего и вылетающего потока ВС и др.). Синтез проводится на базе разнообразных математических подходов, включающих методы теории вероятностей и математической статистики, методов условной оптимизации и нелинейного программирования, эволюционно-генетических методов, методов теории массового обслуживания и др.

При моделировании учитываются многочисленные случайные факторы, свойственные системе: случайные потоки ВД, погрешности выполнения планов полетов, случайные условия (например, метеорологические) и состояние системы (например, пропускная способность ее элементов) и др.

КИМ ОрВД на протяжении ряда лет успешно применяется во ФГУП «Госкорпорация по ОрВД», а также ГосНИИАС при решении многочисленных исследовательских задач.

2.5 Примеры использования имитационного моделирования. Первой рассматривается задача исследования эффективности различных вариантов регулирования потоков ВД путем назначения слотов вылета, а также влияния на эффективность различных стратегий как централизованной системы планирования, так и пользователей. Актуальность таких исследований определяется назревшей необходимостью, стоящей перед аeronавигационной системой РФ, внедрения средств регулирования потоков ВД на этапе текущего планирования и, соответственно, тактической ОПВД.

Схема процесса регулирования потока ВД представлена на рис. 5. В процессе регулирования участвуют Главный центр (ГЦ) регулирования потоков, аэродромные диспетчерские пункты (АДП), авиакомпании (АК) (или экипажи ВС). Из АК в систему ОПВД поступают заявки на полеты (сообщения FPL), система ОПВД решает задачу выбора перегруженных элементов ВП, расчета задержек рейсов, которые могли бы привести к устраниению перегрузок ВП, и рассыпает соответствующие сообщения (ANM, AIM, SAM, SRM, SLC, SIP, FLS, DES) заинтересованным органам – АК и АДП. Процесс регулирования замыкается обратной связью – реакцией объектов регулирования АДП и АК в виде сообщений SMM, SPA, SRJ, RFI, SWM, DLA, CHG, CNL, FPL.

Целью регулирования является обеспечение бесконфликтного (с отсутствием превышений нормативов пропускной способности аэродромов и секторов управления УВД) потока путем реализации минимального изменения заявленных условий (минимальных задержек на вылет). Динамика процесса определяется изменением во времени потока заявок на полеты, изменением состояния системы, а также собственно процессом регулирования. Процесс регулирования обеспечивается путем обмена сообщениями (в форме телеграмм) между участниками регулирования.

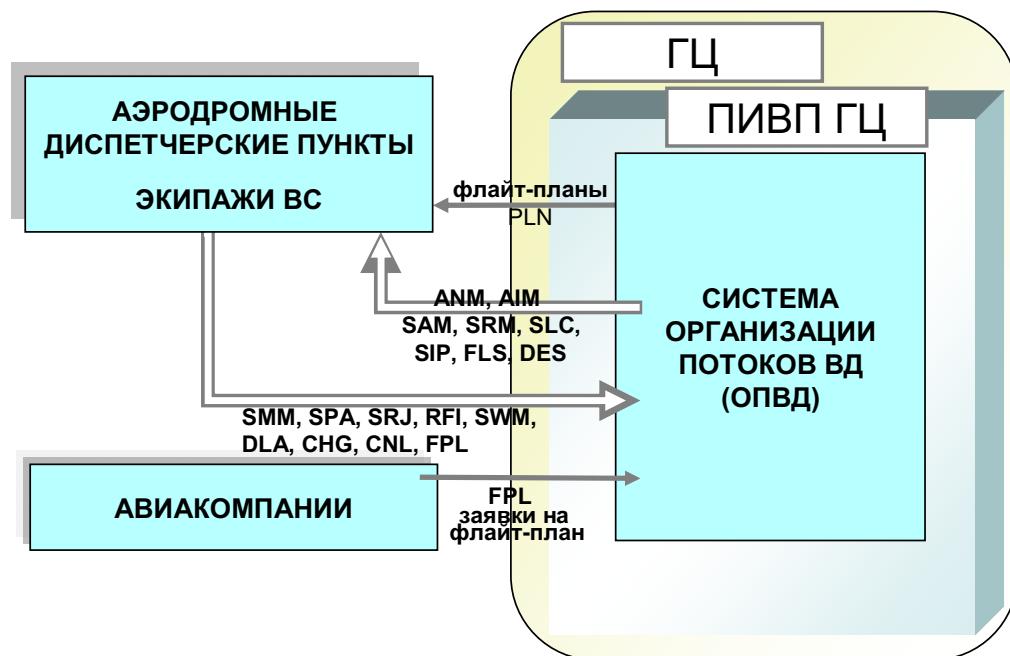


Рис. 5. Моделирование регулирования потоков воздушного движения

Неопределенность (стохастичность) процессов определяется случайным характером формирования заявок на полеты, возможностью различной реакции эксплуатанта на регулирование, случайным характером условий вылета и выполнения полетов.

Целью исследований является оценка последствий внедрения и выработка рекомендаций. Основные показатели, по которым оценивается эффективность регулирования потоков ВД путем назначения слотов вылета: суммарная задержка, фактически реализовавшаяся по причине регулирования (на интервале 24 ч с начала регулирования), оставшаяся после регулирования перегрузка (если регулирование не справляется полностью со своей задачей), количество регулируемых полетов, средняя задержка на полет. Благодаря имитационному моделированию процесса регулирования потоков ВД могут быть выбраны параметры регулирования, позволяющие достичь решения проблемы с перегрузками системы с минимальной суммарной задержкой ВС из-за регулирования.

В качестве второго примера имитационного моделирования в интересах отработки стратегий управления воздушным движением рассматривается моделирование процессов управления очередью на прилет на аэродром с применением при этом специального средства поддержки работы диспетчера АМАН (Arrival manager) и специальных оптимизационных процедур (рис. 6).

Задачи, решаемые с использованием имитационной модели движения ВС в районе аэродрома, состоят в следующем:

- валидация программных средств, а также реализованных в их составе оптимизационных методов и алгоритмов управления;
- оценка эффективности управления прилетом ВС при различных схемах управления;
- оценка пропускной способности отдельной взлетно-посадочной полосы и аэропорта в целом;
- оценка эффективности структуры ВП и выявление путей ее совершенствования.

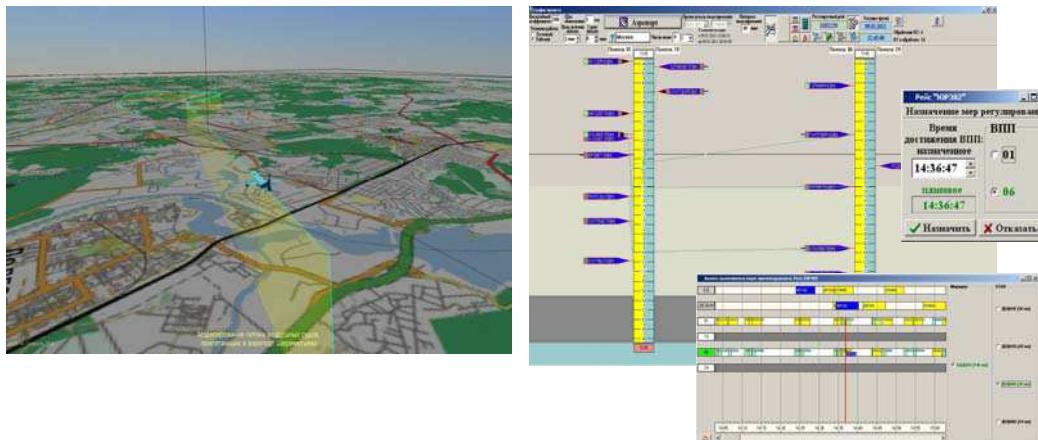


Рис. 6. Моделирование процессов управления очередью прилета на аэродром

Заключение

Представлен опыт ФГУП «ГосНИИАС» в части разработки имитационных математических моделей процессов функционирования авиационных систем и комплексов управления как в боевых операциях, так и операциях, связанных с организацией и управлением воздушным движением самолетов гражданской авиации. Данные модели созданы коллективами разработчиков и непрестанно модернизируются и совершенствуются под вновь возникающие практические задачи. Наиболее широко они используются для поддержки принятия технических и организационных решений, отработки алгоритмического и программного обеспечения систем управления различного уровня и назначения, создания тренажерных комплексов.

Литература

1. **Вишнякова Л. В., Кухтенко В. И., Слатин А. В.** Применение методов декомпозиции к задаче оптимального проектирования зенитной ракетной системы и ее элементов на ранних этапах разработки // Изв. РАН. Теория и системы управления. 1996. № 4.
2. **Вишнякова Л. В., Кухтенко В. И.** Система автоматизированного формирования облика ЗРК // Изв. РАН. Теория и системы управления. 1993. № 6.
3. **Вишнякова Л. В., Карп К. А., Малышев В. В.** Формирование облика ЗРК (учебное пособие). М.: МАИ, 2003.
4. **Вишнякова Л. В., Слатин А. В.** Автоматизированная система анализа эффективности ЗРК // Сборник докладов 2 ЦНИИ МО РФ, 2002.
5. **Березнев Е. В. и др.** Имитационная математическая модель боевых действий и средства трехмерной визуализации для отработки ФПО самолета РЛДН // Труды научн.-техн. конф. «Актуальные вопросы создания информационно-управляющих систем», М., «Концерн радиостроения «Вега», 2011.
6. **Павловский Ю. Н., Белотелов Н. В., Бродский Ю. В.** Имитационное моделирование. М.: ИЦ «Академия», 2008.
7. **Дегтярев О. В., Зубкова И. Ф.** Ускоренное моделирование процессов организации потоков и управления ВД. Аналитический обзор. М.: НИЦ ГосНИИАС, 2008.
8. **Дегтярев О. В. и др.** Комплекс имитационного моделирования потоков воздушного движения // Сб. трудов ГосНИИАС. Сер. Вопросы авионики, 2003. Вып.2(12).
9. **Degtiarev O. V., Egorova V. P.** Regulated Air Traffic Flow Simulation Tool // 16th IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace, Sanct-Peterburg, 2003.
10. **Дегтярев О. В. и др.** Комплекс имитационного моделирования УВД // Труды научн.-техн. конф. «Авиационные системы в XXI веке». Т. 2. М.: НИЦ ГосНИИАС, 2006.
11. **Вишнякова Л. В. и др.** Комплекс имитационного моделирования системы ОрВД РФ // Российско-европейский семинар «Концепции и технологии ОрВД»/ Труды. М., 2007.
12. **Дегтярев О. В., Зубкова И. Ф.** Применение имитационного моделирования в качестве средства интеллектуальной поддержки принятия решений в задачах организации и управления воздушным движением // Труды 8-й Международной научн.-техн. конф. «Интеллектуальные системы». Нижний Новгород, 2008.