

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

Одним из наиболее важных направлений применения математического моделирования сложных систем и процессов, в них происходящих, является, пользуясь модным сегодня термином, валидация концепций, методов и алгоритмов управления этими системами. Системы планирования и управления воздушным движением представляют собой примеры систем, успешное внедрение которых без многоэтапного моделирования, включающего этап математического моделирования, просто невозможно.

Можно утверждать, что по базовым целям и принципам организации такого моделирования, сопровождающего жизненный цикл существования системы, оно ничем не отличается от моделирования других сложных, часто человеко-машинных систем и процессов, в том числе экономических. С этой точки зрения обмен опытом моделирования технических и экономических систем небесполезен. В качестве положительного предыдущего опыта можно привести работы по описанию модели экономических процессов в форме динамической системы управления.

В докладе изложены некоторые соображения, полученные на основе многолетнего опыта моделирования различных авиационных систем.

Системы организации воздушного движения (ОрВД), их составные части – системы планирования использования воздушного пространства (ПИВП) и управления воздушным движением (УВД) – относятся к числу тех современных систем, внедрение которых без проведения большого объема исследований невозможно. Основные причины такого положения следующие:

- ввиду сложности систем и реализуемых процессов, размерности системы, сложности аэронавигационной структуры и правил ее использования практически нереально найти оптимальные решения и оценить последствия их принятия без проведения исследований (моделирования);

- натурные испытания крайне ограничены, как ввиду их стоимости, так и по соображениям безопасности.

Поэтому математическому моделированию в этой отрасли уделяется особое значение. Число задач, решаемых с помощью моделирования, столь велико, а задачи столь разнообразны, что в настоящее время в мире существуют многие десятки таких исследовательских моделей. В силу важности проблемы научно-техническое сообщество, отвечающее за проектирование, производство и эксплуатацию авиатранспортных систем, уже ряд лет предпринимает серьезные усилия не только для создания таких средств, но и для координации и согласования этой деятельности.

Среди моделей процессов управляемого воздушного движения, получивших наиболее широкое распространение и известность в мире, следует отметить следующие комплексы моделирования /1/: AirTop, AwSim, FACET, HERMES, NARIM, NASPAC, National Flow Model, OPAS, OPGEN, RAMS, Regional Traffic Model, SDAT, SIMMOD, SIMMOD PRO, SIMMOD PLUS, TAAM и TARGETS.

К числу наиболее распространенных и известных моделирующих средств, обеспечивающих исследования процессов ПИВП, относятся /1/: ABNA, ACES, AEM3, ATC-NPM, ATTLA, AwSim, CAASD, COSAAC, FACET, JSE, LMINET, MEANS, Mentor, NARIM, NASPAC, NEVAC, NFM, OPAS, PACER, SAAM, SIMMOD, TAAM, TACOT, TARGETS, TOPAZ.

Среди наиболее актуальных исследовательских задач можно привести исследования по оценке различных стратегий поведения авиакомпаний, особенно при

внедрении новых концепций; исследование эффективности от применения сокращенных норм эшелонирования; оценку влияния перегрузки отдельных компонентов на функционирование системы УВД в целом; исследования различных сценариев «what-if», включая новые схемы секторизации воздушного пространства (ВП), новые схемы маршрутов и ограничений, существенные изменения потребностей в ресурсах и т.д.

Последние годы в отрасли идут под знаменем идей и решений, разрабатываемых в рамках и в интересах глубокой модернизации этих систем по всем направлениям: концепции, методы, процедуры, правила, что предусматривается в том числе глобальными программами SESAR и NextGen. Это требует предварительных исследований и обоснования предлагаемых решений, а следовательно, и существенного расширения возможностей моделирования.

В зависимости от ставящихся перед моделированием целей и особенностей решаемых исследовательских задач могут использоваться следующие группы «инструментов» математического моделирования, т.е. типы математического 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 воздушным движением (ВД) и обработкой получаемых при этом результатов. При этом нашли применение ускоренное дискретно-событийное моделирование, непрерывное (динамическое) моделирование в реальном и/или ускоренном времени; агентное моделирование

Выбор в каждом конкретном случае типа моделирования зависит от решаемых задач. Большая группа задач связана с исследованиями, относящимися к использованию ВП (ИВП) и оценкой влияния на эффективность ИВП многочисленных факторов.

Для таких исследований более целесообразно применять расчетное моделирование. В качестве полетных данных могут использоваться потоки, соответствующие реальным плановым либо 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). Основная сложность, возникающая при этом, - построение модели (формирование расчетных соотношений для определения показателей). Основным недостатком – ограниченная точность получаемых оценок, связанная с учетом (и невозможностью учета) отклонений реально выполняемых полетов от плановых характеристик.

Однако на практике очень часто и для решения таких задач используется имитационное моделирование, в котором происходит имитация процессов выполнения полетов в динамике их развития. Значительного повышения достоверности и точности получаемых оценок показателей ИВП при этом моделировании по сравнению с расчетным моделированием часто не происходит. Во-первых, для этого требуется гораздо более точное моделирование, а оно требует резкого увеличения вычислительной загрузки и усложнения моделей. А с другой стороны, все равно, реальные действия людей, принимающих решения (пилоты и диспетчеры), могут быть формализованы только частично. Причина же столь широкого применения динамического моделирования для решения таких задач – простота решения «в лоб»: не надо создавать специально математические модели для расчета показателей, достаточно промоделировать процесс выполнения потоков, в процессе которого просто подсчитывать реализующиеся при этом

события (пересечение границ объемов воздушного пространства, нарушения норм эшелонирования и т.д.).

Однако 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). 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.

Вторая 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, становится, действительно, гораздо проще провести статистическое моделирование «в лоб».

Общая схема проведения исследований с использованием моделирующих средств включает три основных шага:

- подготовка сценария (моделируемых потока воздушных судов, аэронавигационной структуры, состояния ВП и системы, других условий выполнения полетов);

- собственно моделирование и сопровождающий анализ процессов планирования и выполнения полетов);

- послеполетные обработка и анализ результатов.

Многие (если не большинство) существующих имитационных моделей реализуют в своем составе решение только двух последних задач. Подготовка сценария, как правило, делается другими, специализированными программными средствами, а имитационная модель только настраивается на соответствующий комплект данных. Причем, скажем, потоки воздушных судов с требуемыми характеристиками подготавливаются с помощью одного вспомогательного средства, а формирование структуры и состояния ВП – с помощью другого. Само по себе такое решение не вызывает особых возражений, хотя могут возникать проблемы целостности и согласованности баз данных. Все-таки, такая схема требует значительных усилий в организации исследовательского эксперимента и стыковки данных.

Но есть другой, чрезвычайно важный аспект. В рамках подготовки данных для последующего моделирования очень часто приходится решать оптимизационные задачи – задачи синтеза потоков и воздушного пространства (например, задачи оптимального формирования структуры секторов района УВД). Для решения оптимизационных задач синтеза ВП или потоков ВД в большинстве существующих комплексов моделирования стремятся использовать стандартные процедуры из унифицированных пакетов (например, из пакета Matlab, либо других аналогичных пакетов). Это, с одной стороны, приводит к резкому увеличению времени на проведение оптимизации, а с другой стороны, требует резкого упрощения математической постановки относительно исходной технической (учитывающей все реальные требования и условия).

Результатом синтеза являются приближенные, часто даже далеко не оптимальные решения, которые приходится далее долго адаптировать под реальные правила ИВП. Целью же такого синтеза является получение реальных решений (решений, которые могут быть непосредственно реализованы на практике, причем таких, которые отвечают всем реальным практическим требованиям ИВП, изложенным в нормативных документах). А последние часто очень трудно формализуются и позволяют сделать обоснованные упрощения. В связи с этим более конструктивным являются следующие решения.

Во-первых, целесообразно применять не универсальные, а специализированные алгоритмы оптимизации. С одной стороны, они адаптируются под функциональные особенности оптимизируемого объекта, максимально их учитывают. С другой стороны, с учетом этих особенностей обеспечиваются вычислительно эффективные процедуры оптимизации.

Во-вторых, целесообразно не разрывать процессы синтеза и моделирования, а включать элементы моделирования в процесс синтеза. В частности, поскольку в процессе и в интересах синтеза требуется получать достоверные оценки показателей использования воздушного пространства, их проще всего и точнее всего можно получить непосредственным моделированием.

С учетом сказанного, на наш взгляд, крайне целесообразно интегрировать средства синтеза потоков ВД и структуры ВП в состав единого исследовательского программного комплекса моделирования. Именно так реализован комплекс имитационного моделирования систем ОрВД (КИМ ОрВД), разработанный в ГосНИИАС.

В качестве иллюстраций изложенных тезисов в докладе в качестве примеров рассмотрены результаты упреждающих исследований, связанных с внедрением в странах СНГ сокращенных норм эшелонирования, произошедшего в ноябре 2011 г., а также имитационного моделирования процессов, происходящих при организации и регулировании потоков воздушного движения в системе ОрВД в динамике их развития.

Заключение

Математическое моделирование – обязательный инструмент создания и внедрения сложных как технических, так и организационных систем. На разных этапах создания систем и при решении широкого круга решаемых при этом с помощью моделирования задач синтеза и анализа целесообразно применять различные модели, отличающиеся уровнем подробности и даже типом моделирования, адекватные каждый раз поставленным перед инструментом исследования задачам. Сделанные выводы основаны на многолетнем опыте создания и применения математических моделей, используемых при модернизации отечественной аэронавигационной системы.

Литература

1. Дегтярев О.В., Зубкова И.Ф. «Ускоренное моделирование процессов организации потоков и управления ВД». Аналитический обзор. - НИЦ ГосНИИАС, М., 2008.
2. Дегтярев О.В., Зубкова И.Ф. Методы и особенности математического моделирования систем организации воздушного движения. «Известия РАН. Теория и системы управления», 2012, в печати.