

## РАСПРЕДЕЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКИ

М. В.Бахиркин, В. С.Орлов (Москва)

Развитие системы организации воздушного движения в России рассматривается сегодня как развитие сегмента общемировой структуры, базирующееся на согласованных подходах к целям и критериям развития, что отражено в Глобальной эксплуатационной концепции ИКАО, Национальной Эксплуатационной концепции ОрВД (Организации Воздушного Движения) РФ, ФЦП модернизации транспортной системы России. Сегодня это принято определять как концепцию развития CNS/ATM (Communication Navigation Surveillance/Air Traffic Management), т.е. – развитие ОрВД (АТМ) через совершенствование базовых функций связи, навигации, наблюдения (CNS).

Модель динамической воздушной обстановки (МДВО) предназначена для проведения исследований, анализа требований и функционального тестирования элементов алгоритмического и программного обеспечения перспективных функций CNS/ATM самолетов ГА (Гражданской Авиации).

Рассматривается задача, связанная с имитационным моделированием полета одного или нескольких самолетов в окружающих этот самолет внешних условиях. Условия, в которых проходят управляемые полеты, могут динамически изменяться. Это касается, прежде всего, состояния метеорологической обстановки и состояния структуры воздушного пространства (изменения структуры секторов и пр.).

Обобщенная структура динамической модели представлена на рис. 1. Она включает множество моделей диспетчерских пунктов управления, обеспечивающих управление потоком ВД (Воздушного Движения) со стороны системы УВД (Управления Воздушным Движением), а также множество моделей ВС (Воздушных Судов), выполняющих полеты по заданным маршрутам, представляющих собой собственно управляемый поток ВД.

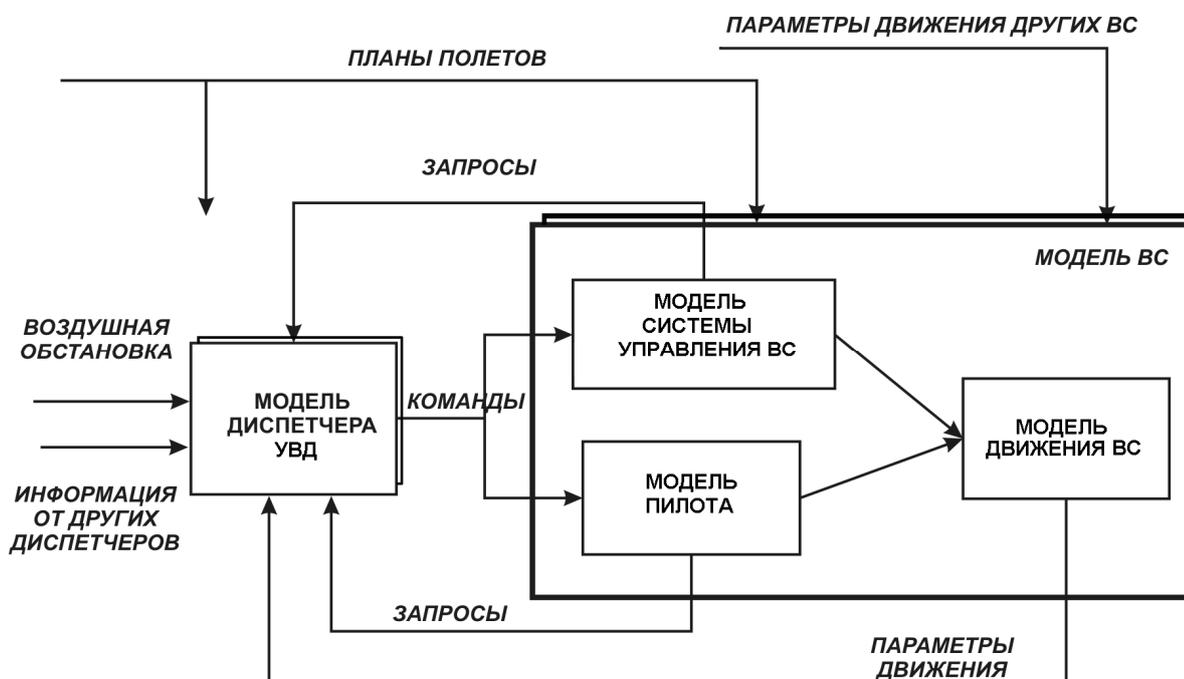


Рис. 1. Структура динамической модели

Принимается, что в состав модели диспетчерского пункта входят подсистемы, описывающие:

- ✓ информационные средства, обеспечивающие диспетчера необходимой информацией о ВД в области его ответственности, а также информацией об условиях выполнения ВД;
- ✓ средства связи, обеспечивающие обмен информацией и прием/передачу команд между диспетчерами, а также диспетчером и бортами, совершающими полеты в области его ответственности;
- ✓ действия диспетчера по сбору и анализу поступающей к нему информации и данных и выработке команд экипажам.

Диспетчеры обрабатывают имеющуюся у них информацию (заявленные планы полетов, данные о воздушной обстановке, об ограничениях по ИВП), информацию от других диспетчеров и от управляемого борта (сообщения экипажа плюс, возможно, информация от системы автоматического зависимого наблюдения). По результатам обработки данных диспетчер вырабатывает команды, либо рекомендации и предупреждения и передает их на борт.

В состав модели управляемого полета ВС (модель ВС) условно входят модель бортовой системы самолетовождения и собственно модель движения ВС (модель ЛА). Модель бортовой системы самолетовождения описывает функционирование бортовых информационных средств и средств связи, а также средств, обеспечивающих собственно выработку команд управления (составной частью которых можно считать пилота). Бортовая система самолетовождения при выработке команд управления может использовать тот или иной объем информации, включающий плановые данные о маршруте и режимах полета, данные по аэронавигационной структуре ВП, метеоданные, данные о параметрах движения и намерениях других ВС, находящихся в некоторой окрестности этого ВС, рекомендации и команды органов УВД. Модель ЛА описывает собственно движение ВС, совершаемое в соответствии с командами управления, поступающими на вход его системы стабилизации и системы управления скоростью.

В простейшем случае математического моделирования динамическая модель движения всех объектов может быть выполнена в рамках единого модуля, однако на практике возникают случаи, требующие распределения процесса динамического моделирования.

Например, такая ситуация возникает, когда целью этапа математического моделирования является подготовка к полунатурному моделированию функционирования системы управления самолетом. Для организации исследований такого стенда полунатурного моделирования необходимо включение в его состав упрощенной (по сравнению с детализацией собственно полунатурной модели самолета) математической модели внешней среды, окружающей «свой самолет». Переход на такую конфигурацию моделирующего стенда технически упрощается, если уже на стадии чисто математического моделирования будет реализована его будущая структура (отдельные модели самолета и внешней среды, динамически моделируемые параллельно и информационно взаимодействующие по согласованному протоколу).

Другой пример необходимости распределенного моделирования – математическая или полунатурная модель самолета функционирует в различных организациях, в составе различных моделирующих комплексов. Для возможности сравнения получаемых результатов необходимо, чтобы условия моделирования были одинаковыми. Это обеспечивается, если для моделирования используется единая модель внешней обстановки, территориально расположенная в одной из этих двух организаций или в некоторой третьей организации.

Минимальный состав исполняемых модулей динамической модели включает:

- ✓ модель внешней среды, в которой производится динамическое моделирование всех воздушных объектов, кроме «своего самолета», а также производится совместная обработка и визуализация всей информации о движении (Модель ВВО);
- ✓ модель «своего самолета», в которой производится его динамическое моделирование с использованием данных о воздушной обстановке в объеме, обеспечиваемой информационными средствами самолета (Модель СВС);
- ✓ модель «диспетчер задачи», собственно организующий процесс динамического моделирования (течение времени) и обмен данными (Модель ДВр);
- ✓ опционально, прототип бортовой ЭВМ с загруженным ПО (Power PC).

Архитектура комплекса верхнего уровня распределенной модели динамической обстановки представлена на рис. 2.

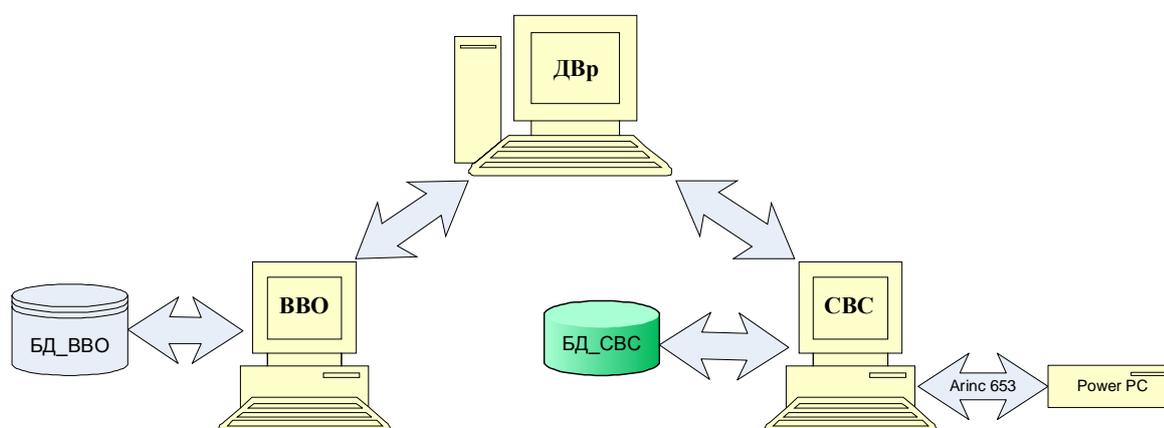


Рис. 2. Архитектура комплекса верхнего уровня распределенной модели динамической обстановки

Модель **ВВО** содержит следующие процедуры:

- ✓ интерактивная подготовка исходных данных о внешней воздушной обстановке и формирование сценария моделирования;
- ✓ имитация динамики управляемого полета каждого самолета;
- ✓ визуализация картографической информации;
- ✓ предоставление справочной и аэронавигационной информации.

Модель **СВС** содержит следующие процедуры:

- ✓ интерактивная настройка параметров модели "своего" самолета;
- ✓ имитация управляемого полета отдельного ("своего") самолета;
- ✓ имитация процедур программной реализации исследуемых и разрабатываемых процедур функций CNS/ATM;
- ✓ визуализация индикационной информации.

Модель **ДВр** содержит следующие процедуры:

- ✓ управление сеансом моделирования;
- ✓ управление течением модельного времени и его масштабом.

Проводимые в настоящее время исследования связаны с разработкой, тестированием и анализом функций и отдельных процедур бортовой системы обеспечения эшелонирования ASAS (Airborne Separation Assurance System). Назначение этой системы состоит в своевременном обнаружении предпосылок к возникновению т.н. среднесрочных конфликтных ситуаций в воздухе и выдаче предупреждений и рекомендаций экипажу к их разрешению.

Следствием возникновения конфликта является необходимость своевременного принятия экипажем или диспетчером решения, приводящего, как правило, либо к изменению траектории полета в рамках существующего плана, либо к изменению (модификации) самого плана, но с учетом всех реалий, складывающихся в окружающем воздушном пространстве. На борту эти задачи должны решаться в результате обработки и анализа данных, получаемых как от бортовых информационных систем, так и через системы связи от наземных служб УВД.

Формирование процедур управления, анализ ограничений такого способа управления должен проводиться с учетом адекватных условий на динамику и плотность воздушного движения, на информационную достаточность и на летно-технические характеристики ВС.

Таким образом, проведение исследований системы ASAS, проведение работ по прототипированию ее программных компонентов требуют создания адекватных этим задачам универсальных моделей динамики управляемых потоков воздушного движения с учетом реальной структуры воздушного пространства, реальных потоков воздушных судов, реальных ограничений в использовании воздушного пространства, реальных схем планирования полетов и маршрутизации потоков.

Модель ВВО имитирует динамические процессы управляемого полета всех самолетов из сформированного потока и ограничений ИВП, тем самым «подыгрывая» общую воздушную обстановку для выбранного «своего» ВС.

Модель ВС состоит из двух основных подсистем: собственно динамической модели ЛА и модели бортовой системы самолетовождения ВС, включающей алгоритмы выработки команд управления системой стабилизации.

Исходя из назначения модели ВВО, модель движения ЛА в ней является *упрощенной*. Динамика процессов стабилизации описывается простейшей моделью динамики в форме апериодического звена с заданной добротностью (для каждого канала отдельно), приближенно описывающим запаздывание в отработке команд управления.

Модель движения ЛА в СВС представляет собой детальный вариант с включением как подробной динамической модели регулятора системы стабилизации, так и с детальным моделированием сил и моментов и с учетом имеющихся нелинейностей. Такое подробное описание необходимо при анализе функционирования бортовых систем.

Подсистемы выработки команд управления системы самолетовождения в моделях ВВО и СВС используют одинаковый состав данных. На входе подсистем выработки команд управления – оценки параметров собственного движения, а также движения других ВС. На выходе – команды управления системой стабилизации: угол курса  $\psi^*$ , высота  $H^*$ , воздушная скорость  $V^*$ . При выработке этих команд используются данные о плане собственного полета, доступные на борту метеоданные, команды и рекомендации наземного сегмента управления.

Модель диспетчера времени (ДВр) в режиме моделирования должна моделировать ход модельного времени. Текущее значение модельного времени в момент перехода к очередной итерации моделирования должно отсылаться моделям ВВО и СВС.

Моделирование в синхронизированном масштабе времени заключается в синхронизации модельного и реального времен. В режиме реального масштаба времени за единицу реального времени производится моделирование на тот же интервал модельного времени. При ускоренном режиме моделирования за единицу реального времени моделируется некоторое количество модельных единиц времени, соответствующих масштабу ускоренного времени, заданного как параметр данного режима.

На рис. 3 изображен ход модельного времени, соответствующий описанной схеме.

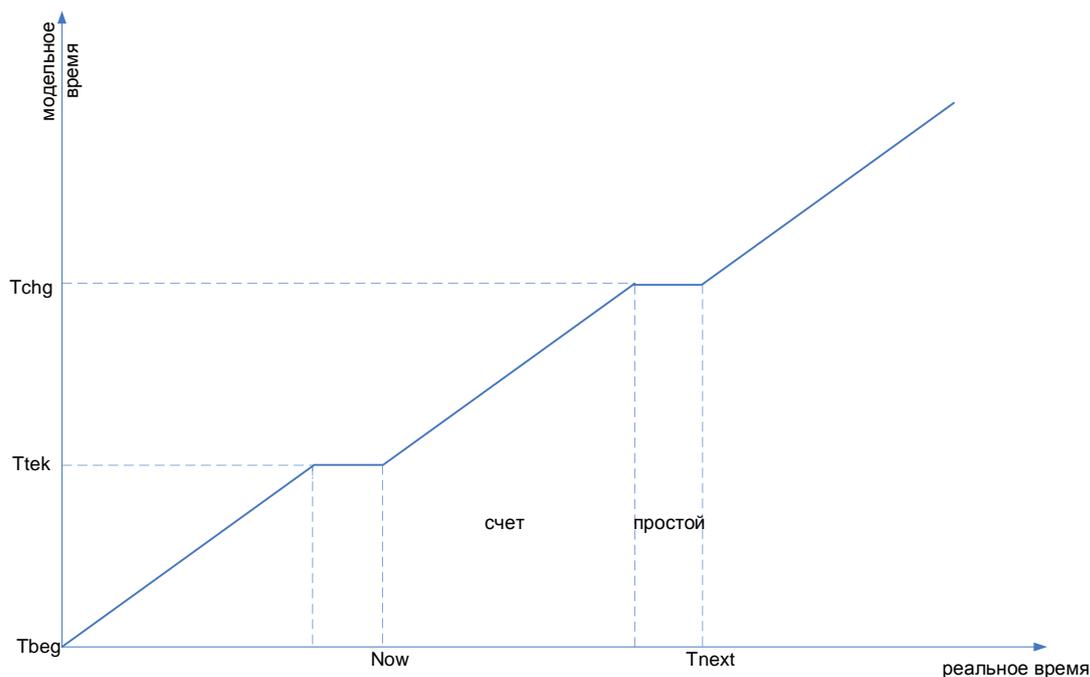


Рис. 3. Соотношение модельного и реального времени

#### Выводы

- ✓ Создана распределенная модель динамической воздушной обстановки.
- ✓ Отработана модель движения ЛА в СВС, которая представляет собой детальный вариант динамической модели регулятора системы стабилизации, с подробным моделированием сил и моментов, с учетом имеющихся нелинейностей.
- ✓ В настоящее время с использованием МДВО проводятся исследования, связанные с разработкой, тестированием и анализом функций и отдельных процедур бортовой системы обеспечения эшелонирования ASAS (Airborne Separation Assurance System).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 08-08-00370-а)