

УДК 1:681.3.07

Программно-алгоритмическое обеспечение режима группового самолетовождения

К.С. Видов, Д.И. Гусев

Аннотация: Предметом исследования является программно-алгоритмическое обеспечение режима группового самолетовождения, базирующееся на комплексе моделирования и виртуального прототипирования бортового оборудования. Разработана информационная модель определения взаимных координат и математическая модель формирования параметров автоматического управления при выдерживании заданного местоположения.

Ключевые слова: комплекс моделирования; комплекс бортового оборудования; групповое самолетовождение, определение взаимных координат.

Зачастую, задачи, поставленные перед авиацией, решаются не автономными самолетами, а группами из двух и более самолетов, расположенных во время полета относительно друг друга определенным образом для успешного совместного выполнения задачи. Такого рода построения называются боевыми порядками [1]. Основная задача при действии самолетов в боевых порядках - безопасное пилотирование самолетов в группе с выдерживанием заданных параметров относительного положения.

Задачи, стоящие перед современной авиацией выдвигают требования выполнения групповых полетов в любое время суток в плотных боевых порядках и независимо от погодных условий. Кроме того, необходимость для экипажей самолетов решать множество основных задач полета делают требования к групповым полетам и их безопасности практически невыполнимыми без применения специализированных режимов полета.

Одним из основных путей безопасного выполнения групповых полетов и разгрузки летчика от задач пилотирования в строю является разработка специального режима

группового самолетовождения (ГСВ). Этот режим в обязательном порядке присутствует в перечне задач новых и перспективных авиационных комплексов.

Режим полета строем представляет собой сложную распределенную систему, включающую аппаратную и многопараметрическую программно-алгоритмическую составляющие.

В общем, структуру режима ГСВ можно разделить на две составляющие: сетевую (задачи межбортового информационного обеспечения и управления) и локальную (интеграция комплекса бортового оборудования (КБО) для реализации контура автоматического управления самолетом в заданных боевых порядках).

Оборудование, реализующее задачи сетевой части режима ГСВ, должно обеспечивать передачу и смену параметров строя, передачу управляющих команд режима ГСВ и, самое главное, обеспечивать высокоскоростной обмен параметрами движения самолетов группы и высокоточной координатной информацией о взаимном относительном положении самолетов в группе.

Локально, на каждом самолете в режиме ГСВ необходимо решение задач формирования параметров автоматического управления самолетом в интересах выдерживания заданных боевых порядков и взаимодействия с экипажем самолета через средства индикации и органы управления информационного управляющего поля (ИУП).

В групповом полете можно выделить характерные этапы:

- сбор автономных самолетов в группу и построение заданного боевого порядка;
- полет строем в заданном боевом порядке;
- перестроение самолетов группы при смене заданных параметров боевого порядка;
- прекращение группового полета и переход каждого самолета к автономным действиям.

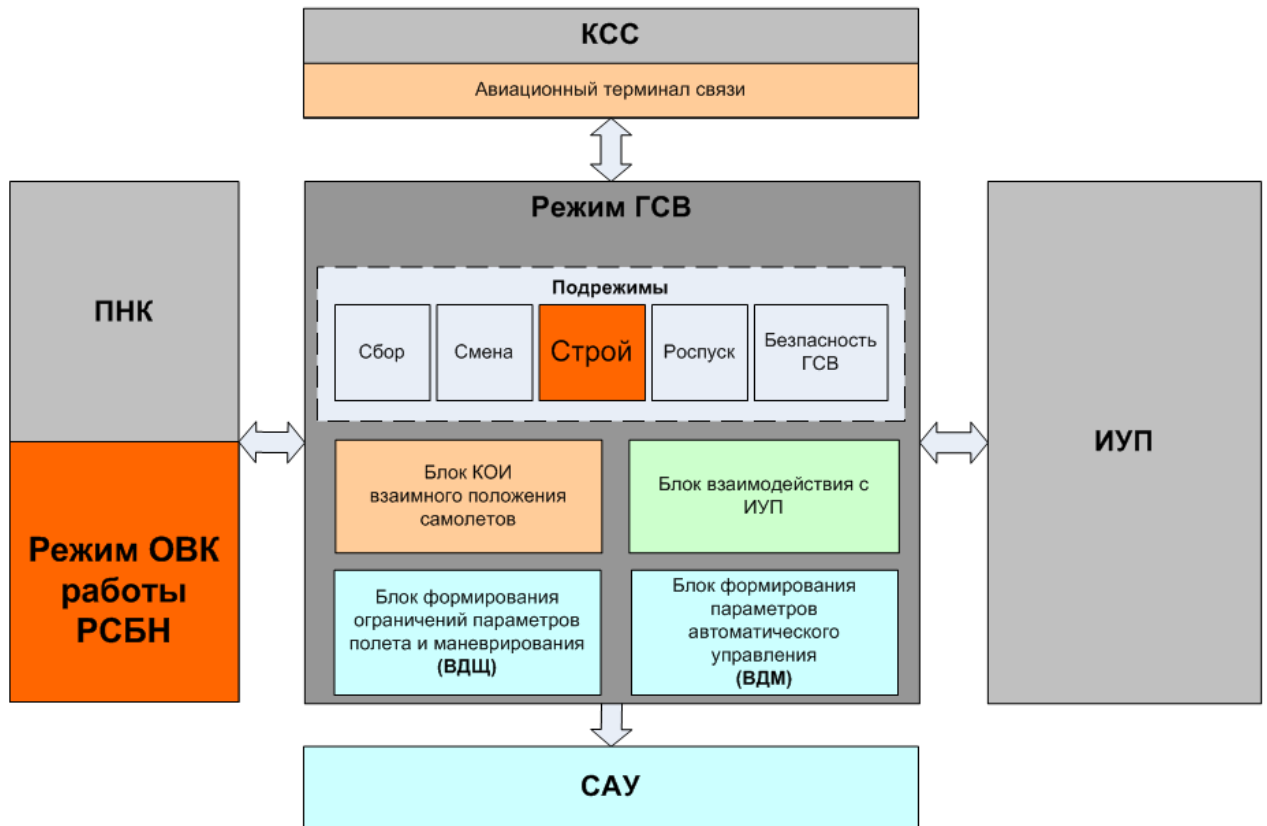


Рисунок 1. Обобщенная схема режима ГСВ и его взаимодействия с КБО

подразумевает ранжирование самолетов группы на ведущий самолет (ВДЦ) и ведомые самолеты (ВДМ). Состав задач режима ГСВ и их решение на самолете зависит от ранга самолета.

Обобщенная схема систем КБО, задействованных в режиме ГСВ, отображение в режиме ГСВ организационной структуры строя самолетов и поэтапной декомпозиции группового полета показано на рисунке 1.

Среди приведенных структурных элементов, реализующих решение задач режима ГСВ, фундаментальное значение имеют блок обеспечения определения взаимных координат (ОВК) и подрежим стабилизации заданных параметров строя («Строй»). По сути, эти два блока формируют ядро режима ГСВ, на основе которого осуществляется наращивание функциональных задач автоматизации полета строем.

1. Обеспечение определения взаимных координат в группе объектов

В основу режима группового самолетовождения положены алгоритмы комплексной обработки информации о взаимном пространственном расположении самолетов и

специальным образом организованные алгоритмы межбортового обмена, реализуемые в радиотехнических системах ОВК.

Задача учета точностных характеристик измерительной системы ОВК и комплексирования измерительной информации от дополнительных систем КБО является основным методом повышения качества режима ГСВ и повышения безопасности полетов строем [2].

На базе ОАО «ОКБ Сухого» разработан диалоговый комплекс прототипирования и математического моделирования КБО, который позволяет уже на ранних этапах проектирования описывать такие комплексы, оперативно синтезировать требуемые структуры их построения и оценивать их соответствие поставленным задачам [3]. На базе этого комплекса разработана модель ОВК с целью оценивания точностных характеристик радиотехнической системы ближней навигации и ее использования при разработке режима ГСВ.

На рисунке 2 приведен состав и схема взаимодействия блоков модели ОВК, состоящей

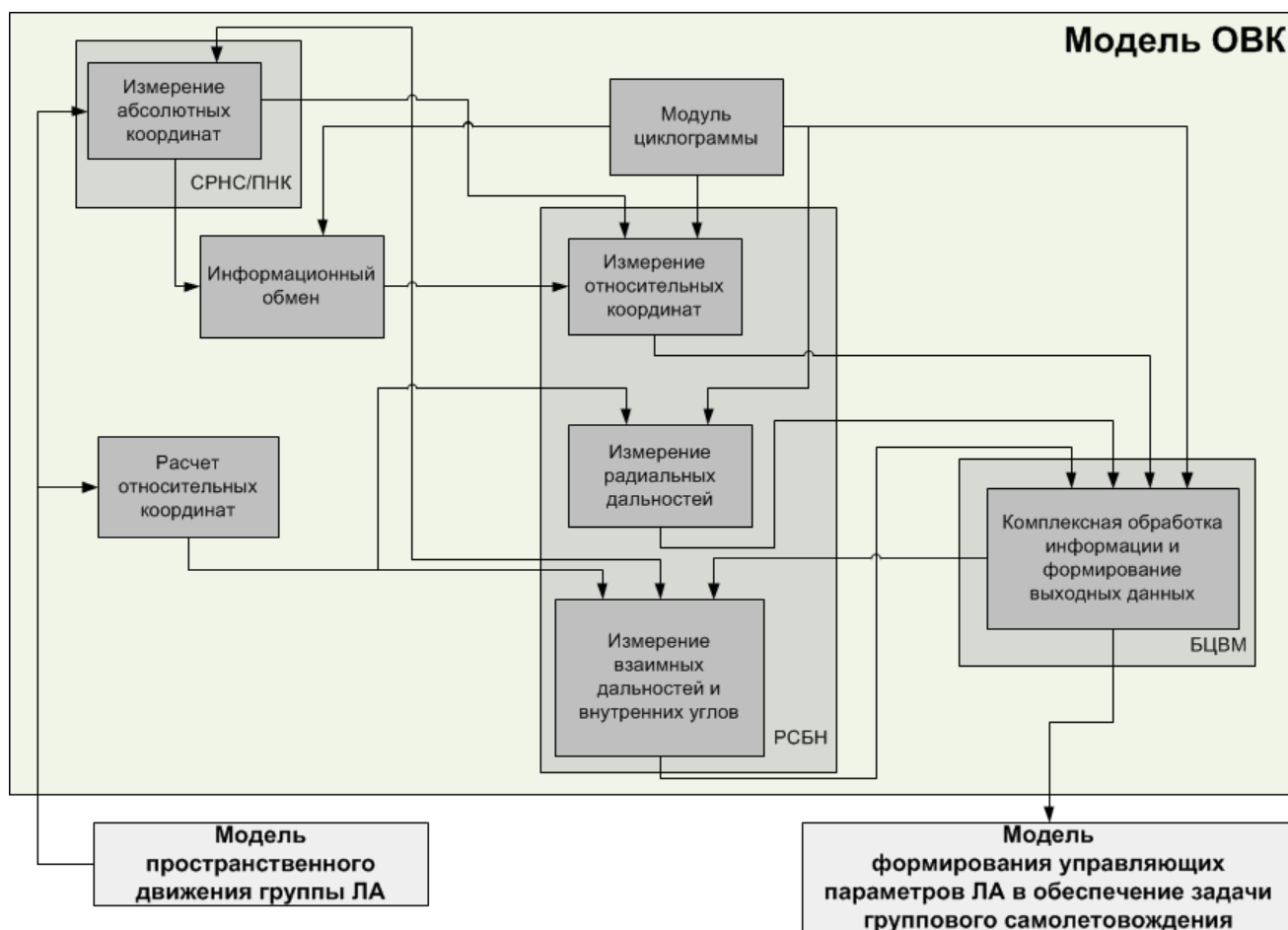


Рисунок 2. Структурная схема функционирования модели ОВК

из функционально-программных модулей, отражающих различные режимы измерений и

информационного обмена, используемых в системе. В состав модели ОВК входят программные модули, имитирующие работу систем, входящих в контур ОВК, и ряд вспомогательных модулей, обеспечивающих внешние условия ее работы. В программные модули, имитирующие работу систем: спутниковой радионавигационной системы (СРНС), пилотажно-навигационного комплекса (ПНК), радиотехнической системы ближней навигации (РСБН), включены алгоритмы учета погрешностей измерения.

Исходные данные для модели ОВК вычисляются по координатам траекторного движения взаимодействующих ЛА группы. Эти координаты в режиме работы по информации от модели СРНС и в режиме скоростной поддержки от инерциальной навигационной системы ПНК представляются в географической системе координат. Абсолютные координаты взаимодействующих ЛА и составляющих скорости их движения преобразуются в модели информационного обмена и поступают в модель РСБН, для собственного ЛА, эти данные передаются непосредственно в модель РСБН. С модели РСБН информация об абсолютных и относительных координатах ЛА группы передается в модель комплексной обработки информации и формирования выходных данных. Эта модель представляет собой совокупность алгоритмов реального комплексного фильтра, используемого в системе РСБН (ОВК). Результатом работы модели ОВК, являются оценки относительных координат группы из четырех ЛА (взаимные дальности, углы пеленга и места).

В процессе проведения экспериментов по отработке модели ОВК без применения предлагаемого программного обеспечения заявленные разработчиком системы характеристики по точности определения взаимных координат не подтвердились.

Для оценки влияния изменения отдельных начальных условий на итоговый результат работы модели необходимо проводить ряд экспериментов, где с помощью изменения начальных условий, оценивать влияние этих изменений на интересующий результат. Трудность проведения эксперимента заключается в том, что в этих условиях без дополнительных средств, поддерживающих принимаемое экспериментатором решение, получить удовлетворительный результат по изменению параметров невозможно в разумные сроки. Кроме того, сам процесс исследования займет много времени из-за необходимости постоянно проводить большое количество экспериментов. Наконец, проведение большого объема экспериментов предъявляет к инженеру-исследователю требования по соблюдению ряда условий: при изменении хотя бы одного из условий, эксперимент проводится заново.

Использование метода информационного моделирования для идентификации систем позволяет комплексно оценивать возможности исследуемой системы, проверять адекватность модели реальным аналогам и проводить усовершенствования модели на основе полученных

результатов. Поэтому на этапе предварительного проектирования КБО наличие инструмента, позволяющего проводить исследование и тестирование сложных моделей с помощью векторов внешних воздействий, без использования внутренних зависимостей моделей, является необходимым условием.

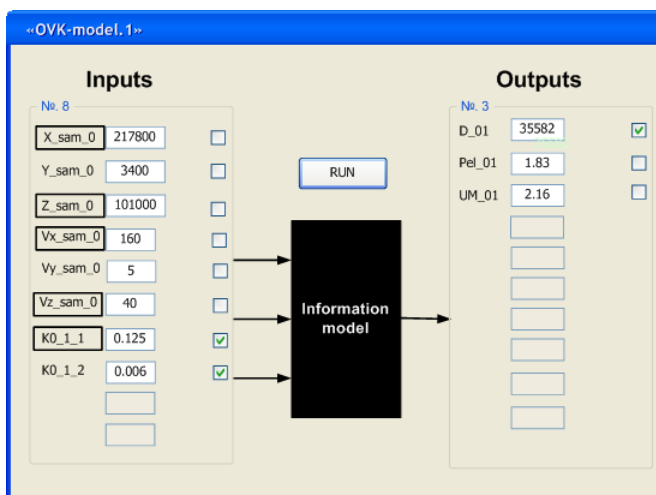


Рисунок 3. Определение параметров модели ОВК, оказывающих влияние на выходные оценки

На этапе проектирования КБО при совместном испытании моделей его составляющих блоков и систем с использованием диалогового комплекса прототипирования и математического моделирования КБО выхода характеристик комплекса за границы требований, возникает сложная задача выбора параметров комплекса для корректировки и управления этим процессом на базе автоматического анализа вектора входных воздействий его комплексной модели.

Поддержку принимаемого решения по изменению конкретного параметра предлагается осуществлять посредством использования инструмента по созданию информационных моделей, имитирующих отдельные системы бортового оборудования или определенный режим работы КБО [4]. Под информационной моделью понимается определенный класс имитационных моделей, основной отличительной чертой которых является целенаправленно отобранная информация об объекте, отражающая наиболее существенные для исследователя свойства объекта [5].

Удобным и естественным базисом для разработки информационных моделей является искусственные нейронные сети (ИсНС). Для создания обучения и использования информационных моделей на базе диалогового комплекса прототипирования и имитационного моделирования (ДКПиММ), разработано программное приложение «Information Model Making» (ИММ), являющееся надстройкой ДКПиММ. В нем реализованы функции создания, обучения и обобщения (тестирования) ИсНС являющейся ядром проектируемой информацийонной модели.

Для оценки влияния параметров на итоговое измерение значения дальности между двумя объектами, сформирована информационная модель размерности (8x3), в которой входами являлись координаты нулевого ЛА и два коэффициента фильтра координатной

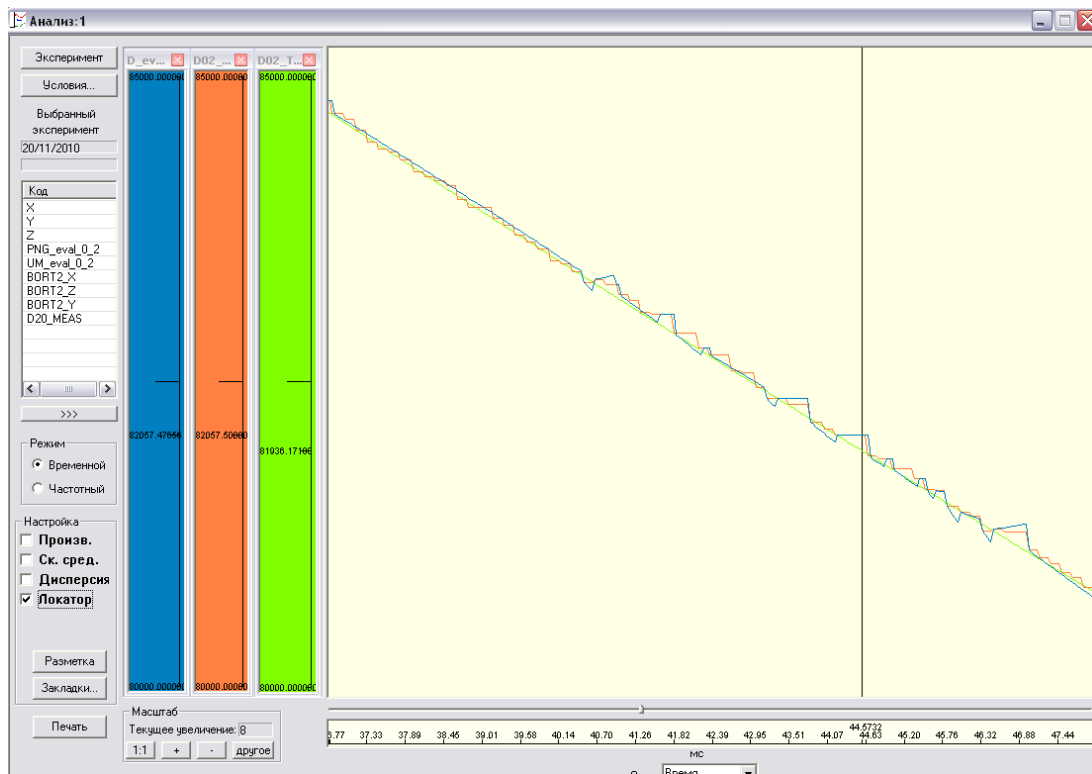


Рисунок 4. Оценки дальности ОВК 0-го и 2-го ЛА. Справа налево: Расчетная, измеренная, оцененная.

информации модели ОВК. Проведенное моделирование позволило определить ряд параметров, влияющих на интересующие выходные параметры модели. Помимо высотноскоростных параметров, влияние на выходные оценки дальности оказывает коэффициент фильтрации (рисунок 3).

Для демонстрации корректности получаемых результатов, проведено несколько сеансов моделирования, идентичных по своим начальным условиям, за исключением интересующего параметра - коэффициента фильтрации, который менялся в процессе проведения экспериментов.

На рисунке 4 представлены результаты начального этапа моделирования, когда значения коэффициента не изменялись. На графиках справа налево приведены расчетная дальность между нулевым и вторым ЛА, измеренная имитатором датчика дальность и итоговая (оцененная).

На представленном графике можно увидеть, разницу в отмеченный момент времени между тремя дальностями и то, что дальность выходная является сглаженной оценкой дальности измеренной. Второй эксперимент был проведен с целью проверки корректности

указанного информационной моделью направления изменения. Начальные условия использовались аналогичные предыдущим, за исключением значения коэффициента фильтра координатной информации.

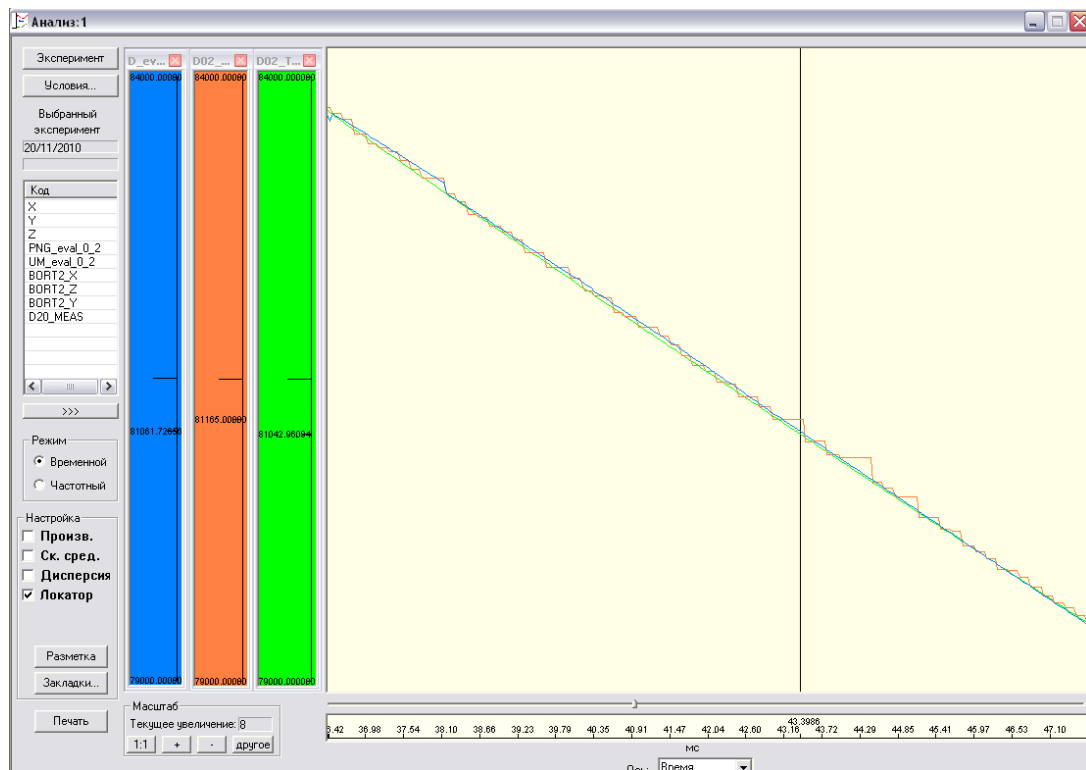


Рисунок 5. Оценки дальности ОВК 0-го и 2-го ЛА. Слева направо: Расчетная, измеренная, выходная.

Результаты этого эксперимента представлены на рисунке 5. Использование информационной модели позволило корректно определить параметры, влияющие на итоговую оценку дальности и, за счет этого, повысить точность ее определения.

2. Обеспечение режима стабилизации заданных параметров строя

Решение задачи автоматического выдерживания заданных параметров строя позволяет обеспечить выполнение группового полета при отсутствии визуального контакта между самолетами группы вследствие выполнения полета в сложных метеорологических условиях или ночью в течение суток и по своей продолжительности является основной при групповом полете. Задача имеет различное решение на ВДЦ самолете и ВДМ самолетах.

На ВДЦ самолете решение задачи стабилизации параметров строя выполняется путем ограничения собственных установившихся высотно-скоростных параметров движения и параметров пространственного маневрирования. Указанные ограничения накладываются с целью обеспечения избытка маневренных характеристик для удержания заданного положения в строях и обеспечения непрерывной устойчивой работы радиоканалов информационных систем межбортового обмена и канала ОВК.

При формировании ограничений высотно-скоростных параметров полета ВДЦ самолета и маневренных характеристик в обязательном порядке учитываются текущие параметры собственного движения ВДЦ самолета, заданные параметры боевого порядка, характеристики радиоканалов информационных систем и предельные допустимые значения высотно-скоростных параметров и характеристик маневров в автоматическом режиме.

Сформированные ограничения индицируются летчику для их выдерживания при ручном управлении самолетом и подаются в контур автоматического управления при полете под управлением САУ.

Основное же решение задачи стабилизации заданного положения с точки зрения автоматизации процесса пилотирования в строю осуществляется на ВДМ самолете.

Процесс непрерывного формирования параметров автоматического управления на ВДМ самолете, в общем, состоит из 4 основных этапов:

1. Определение положения ВДЦ самолета в связанной горизонтированной системе координат ВДМ самолета на основе информации о взаимном положении канала ОВК.
2. Определения позиционных сигналов рассогласования текущего положения ВДМ самолета относительно заданного положения в строю.
3. Формирование управляющих параметров в продольном, боковом и скоростном каналах управления.
4. Ограничение управляющих параметров с учетом особенностей работы САУ и их трансляция в САУ для отработки.

В общем случае выработка управляющих параметров на основе данных ОВК и доступных на борту ВДМ самолета параметров движения ВДЦ самолета осуществляется в виде комбинации отклонения от заданного положения, скорости его изменения и составляющей, учитывающей движение ВДЦ самолета в продольном, боковом и скоростном каналах управления. Все составляющие берутся с соответствующими коэффициентами.

Коэффициенты в алгоритмах формирования подбираются из противоречивых требований обеспечения точности аperiodической отработки рассогласований, времени отработки рассогласований и обеспечения плавности движения самолета, что в свою очередь приводит к стабилизации положения не в заданной точке, а некоторой окрестности заданного положения и к наличию динамических погрешностей стабилизации положения при отслеживании маневров ВДЦ самолета.

Для начальной отработки алгоритма стабилизации заданного положения ВДМ самолетом в режиме ГСВ выполнено моделирование в составе диалогового комплекса прототипирования и математического моделирования КБО.

Структура комплекса для моделирования алгоритмов стабилизации заданных параметров строя в режиме ГСВ приведена на рисунке 6.

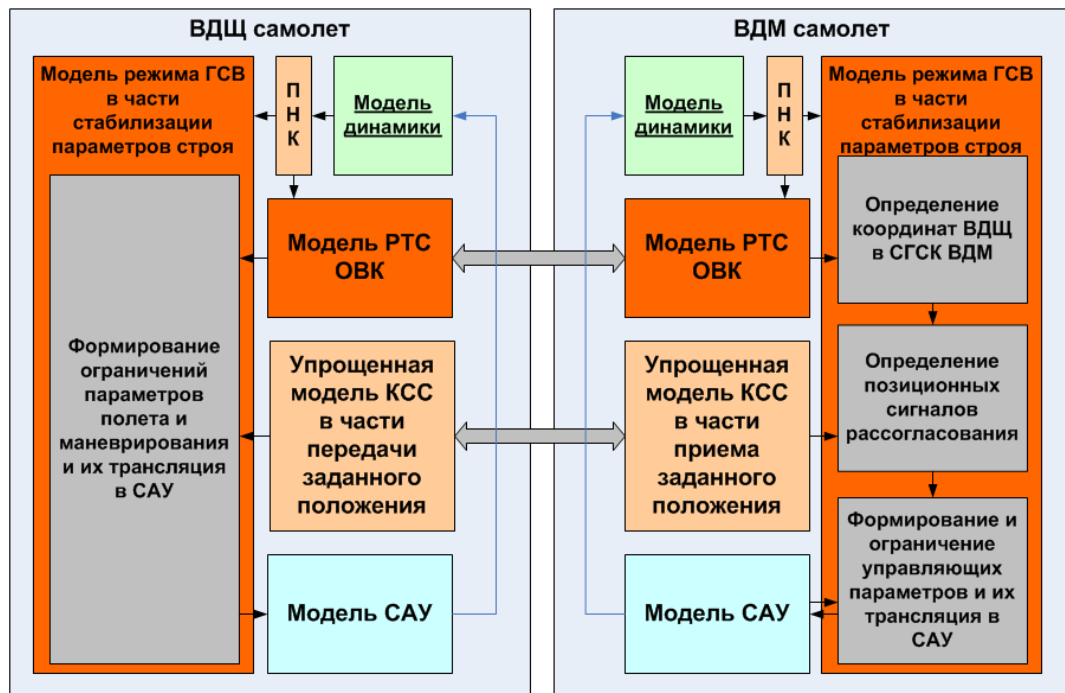


Рисунок 6. Структура комплекса моделирования режима ГСВ

Первая часть эксперимента состояла из смены заданных параметров строя (отработки ВДМ самолетом скачкообразного изменения рассогласования позиционных сигналов) и отслеживания маневрирования ВДЦ самолета в горизонтальной плоскости (маневр «змейка»). Результаты моделирования показаны на рисунках 7, 8.

Вторая часть эксперимента состояла заключалась в отслеживании разгона ВДЦ самолета и последующего торможения в горизонтальном полете. Результаты моделирования показаны на рисунках 9, 10.

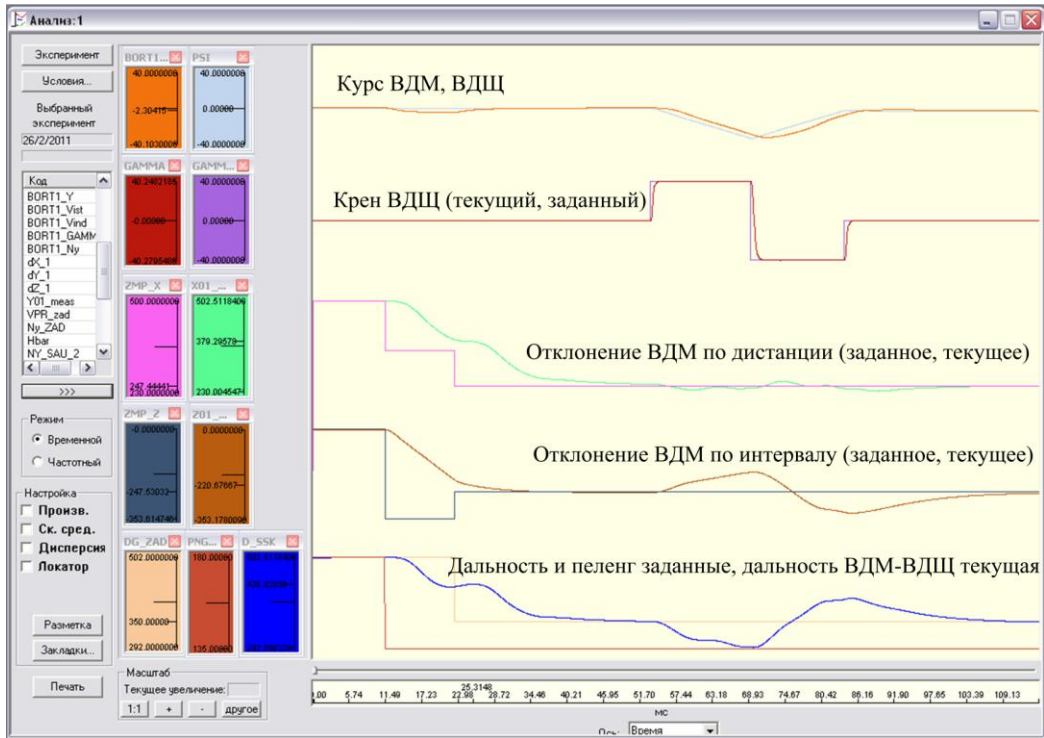


Рисунок 7. Позиционные сигналы рассогласования текущего положения ВДМ самолета и заданного положения при смене заданного положения и выполнении маневра «змейка»

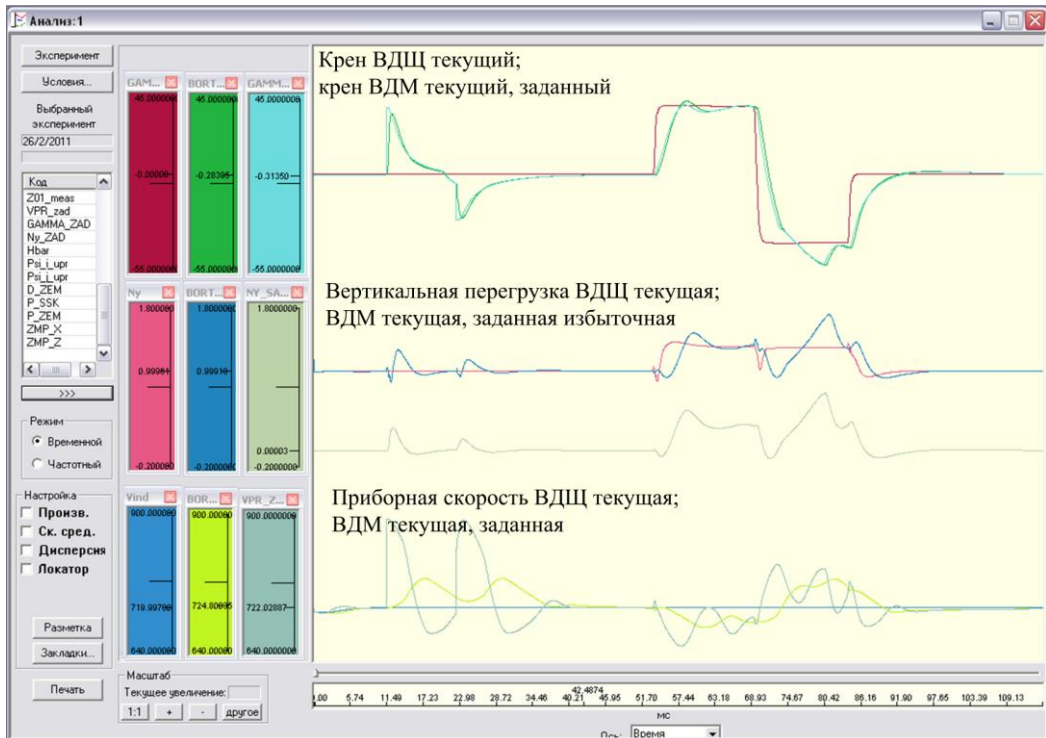


Рисунок 8. Параметры маневрирования и управления при смене заданного положения и выполнении маневра «змейка»

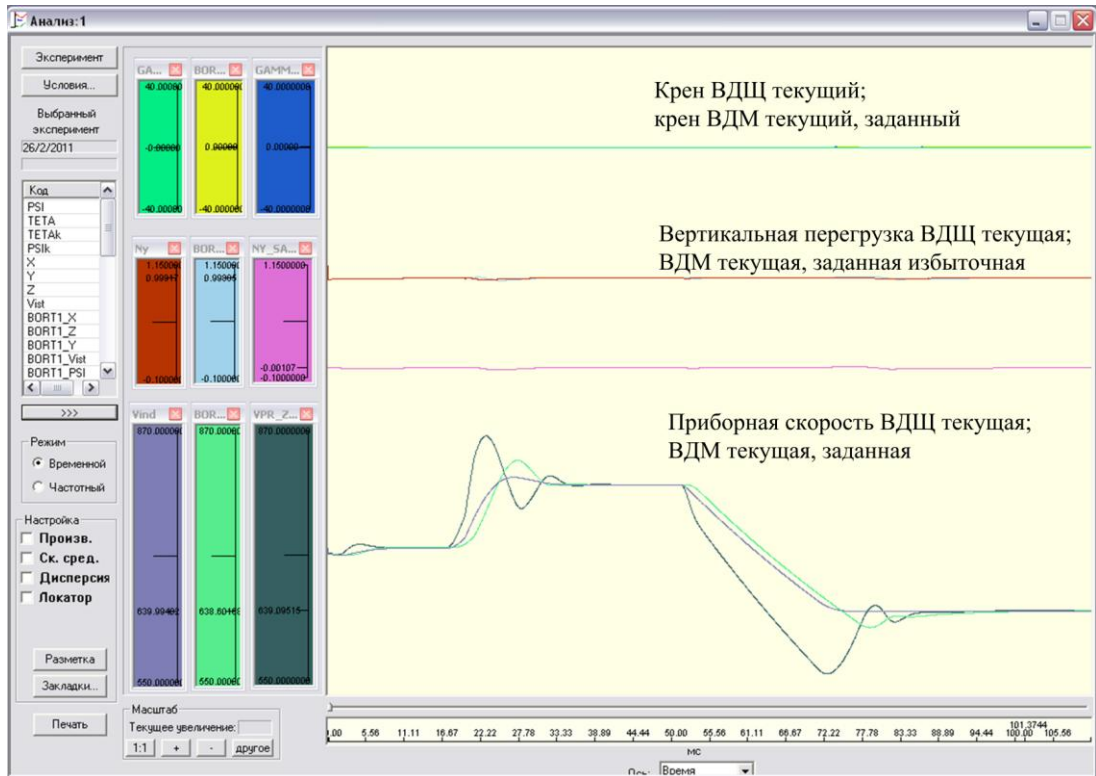


Рисунок 9. Позиционные сигналы рассогласования текущего положения ВДМ самолета и заданного положения при выполнении маневра по скорости (разгон-торможение)



Рисунок 10. Параметры маневрирования и управления при выполнении маневра по скорости (разгон-торможение)

Как видно из приведенных графиков ВДМ самолет стабилизирует заданное

положение на установившихся режимах полета ВДЦ самолета и с допустимой динамической погрешностью при маневрировании ВДЦ самолета. Переход ВДМ между заданными положениями позволяет использовать алгоритмы автоматической стабилизации заданного положения в качестве основы автоматизации процессов смены заданного боевого порядка.

Проведенные эксперименты подтвердили достаточность информации канала ОВК и ее качество для реализации автоматической стабилизации положения ВДМ в области заданного положения. Построенную модель режима ГСВ можно считать базой для дальнейшей отработки и исследования процессов управления в строю, отработки и исследования влияния информационной избыточности путем комплексирования канала ОВК и каналов обмена навигационными параметрами комплекса средств связи, функционального наращивания и расширения задач режима ГСВ.

Заключение

Решение задачи ГСВ путем использования на предварительном этапе проектирования его комплексной имитационной модели позволяет с использованием разработанного программно-алгоритмического обеспечения уже на данной стадии осуществлять полноразмерную отработку режима стабилизации заданного местоположения.

Повышение точности ОВК в решении этой задачи имеет наиболее важное значение, поэтому предполагаемые точностные характеристики измерительных систем необходимо учитывать на этапе отработки автоматического управления при полете в плотных боевых порядках. Это позволяет на ранних этапах проектирования находить и устранять алгоритмические и, частично, инструментальные ошибки за счет их учета при проведении комплексной обработки информации и формировании заданных параметров автоматического управления, сокращая стоимость разработки.

Библиографический список

- 1 Авиация ВВС России и научно-технический прогресс. Боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра / под. Ред. Е.А. Федосова. – М.: Дрофа, 2005.
- 2 Гайнуллин И.А., Бабиченко А.В. Математическое моделирование ситуационной системы интеллектуальной поддержки решения задач самолетовождения в плотном строю. // Авиакосмическое приборостроение, №11, 2008.
- 3 Павлова Н.В., Карпов М.А., Петров В.Г. Имитационное моделирование и прототипирование как метод разработки и исследования комплексов бортового оборудования. // Авиакосмическое приборостроение, №8, 2003.

4 Павлова Н.В., Петров В.Г., Видов К.С. Диалоговый комплекс прототипирования и имитационного моделирования бортового оборудования на основе информационной модели. Мехатроника, автоматизация. Управление. - М.О.: Изд-во «Новые технологии». №4, 2008г.

5 Горбань А.Н., Дунин-Барковский В.Л., Терехов С.А., Царегородцев В.Г. Нейросетевые информационные модели сложных инженерных систем. Нейроинформатика. – Новосибирск: Наука, 1998.

Сведения об авторах

Видов Кирилл Сергеевич, инженер-конструктор ОАО «ОКБ Сухого». тел.: (495) 578-58-27; mail: kirillpower@mail.ru.

Гусев Дмитрий Игоревич, аспирант Московского авиационного института (государственного технического университета). тел.: (499) 189-40-08; mail: dgus@inbox.ru.