

УДК 629.7+519.876.5

Оценка параметров системы определения взаимных координат перспективных самолетов при реализации режима группового самолетовождения

Гусев Д.И.

Аннотация: разработаны методические указания по проведению испытаний радиотехнической системы определения взаимных координат для определения ее точностных характеристик и ограничений накладываемых ею на маневрирование самолетов при полете строем.

Результаты проведения испытаний будут использованы при разработке алгоритмов режима группового самолетовождения.

Ключевые слова: определение взаимных координат; радиотехническая система; групповое самолетовождение; полет в строю; летные испытания, наземные испытания, методические указания.

Одним из основных элементов тактики ударной авиации являются боевые порядки, под которыми понимается размещение самолетов (групп самолетов) в воздухе для совместного выполнения боевой задачи. [1]. Основная задача при действии самолетов в боевых порядках - безопасное пилотирование самолетов в группе с выдерживанием заданных взаимных параметров интервала, дистанции и высоты полета. Быстрый рост возможностей авиационных комплексов и средств ПВО вследствие научно-технический прогресса диктуют требования выполнения групповых полетов в любых метеоусловиях, в любое время суток при возрастающей плотности боевых порядков.

Интеграция современных видов вооружений, авиационных комплексов в единое информационное поле приводит к значительному увеличению объемов информационной нагрузки на летный состав, особенно при выполнении поставленных задач при групповых действиях, что делает безопасное пилотирование в плотном строю крайне затруднительным.

Одним из основных путей разгрузки летчика от рутинных задач пилотирования при полете строем является разработка режима группового самолетовождения, интегрирующего в себе автоматическое управление самолетом в группе, формирование команд управления полетом, информационное взаимодействие и обмен между самолетами группы, информационное взаимодействие с летчиком. Режим группового самолетовождения закладывается в итоговый перечень задач решаемых всеми новыми и перспективными авиационными комплексами боевого применения.

Режим полета строем представляет собой сложную распределенную систему, включающую аппаратную и многопараметрическую программно-алгоритмическую составляющие. 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 определения взаимных координат (РТС ОВК).

Анализ работ, посвященных разработке алгоритмов автоматического обеспечения безопасности полетов строем [2] и отработка программно-алгоритмического обеспечения режима группового самолетовождения на стенде имитационного моделирования [3, 4, 5] привели к необходимости на ранних этапах разработки учитывать реальные точностные характеристики и области работоспособности РТС ОВК при маневрировании самолетов группы, которые могут быть получены только при натурных отработках РТС ОВК в ходе наземных и летных испытаний.

Для проведения испытаний любой технической системы и, в частности, РТС ОВК необходимо наличие сопроводительных и руководящих документов, включая методические указания по проведению соответствующих работ. В работе излагаются вопросы разработки методических указаний по проведению испытаний РТС ОВК, оценке ее характеристик и параметров для их применения в ходе проектирования и реализации алгоритмов режима группового самолетовождения.

При разработке методики испытаний РТС ОВК учитываются требования оптимизации затрачиваемых ресурсов путем проработки вариантов выполнения работ с минимизацией задействованного оборудования и применением технологической контрольно-проверочной аппаратуры, проведения организационных мероприятий, позволяющих проводить летные испытания РТС ОВК на фоне решения других задач, исключая организацию специальных полетов.

Поэтапная декомпозиция процесса испытаний аппаратуры РТС ОВК определяет изложенную ниже структуру методических указаний.

1. Объект испытаний, для которого составляется методика

Объектом испытаний является РТС ОВК, решающая задачи определения взаимных координат самолетов группы с использованием навигационной информации от бортовых навигационных систем (инерциальной навигационной и спутниковой навигационной систем [6]) и данных о параметрах движения взаимодействующих объектов, получаемых по собственному информационному каналу быстрого обмена в группе, с высоким темпом обновления информации для решения задач группового самолетовождения и обеспечения его безопасности на всех этапах полета. РТС ОВК функционирует при оговоренных в техническом задании на данную аппаратуру ограниченных абсолютных и относительных высотно-скоростных параметрах полета самолетов группы.

Основными параметрами, характеризующими работу РТС ОВК, являются точность определения взаимных координат, пропускная способность каналов информационного межбортового обмена, область работоспособности системы при маневрировании самолетов группы. Точность определения координат зависит от характеристик задействованных информационных систем, реализованных алгоритмов комплексной обработки информации и от темпа обновления информации, который характеризуется длительностью временного интервала между моментами получения информации о координатах одного и того же самолета. Под пропускной способностью понимается количество самолетов в зоне действия системы, при котором обеспечивается заданный темп обновления информацией. Область работоспособности РТС ОВК определяется предельными относительными и абсолютными скоростями, относительными и абсолютными высотами полета самолетов группы, относительными дальностями до взаимодействующих самолетов, углами тангажа и крена.

Ввод управляющих команд по включению (отключению) и управлению работой РТС ОВК осуществляется средствами бортового информационно-управляющего поля кабины самолета. Ввиду отсутствия на момент проведения испытаний реализованного бортового программного обеспечения режима группового самолетовождения, непосредственно управляющего РТС ОВК, организуется технологический режим взаимодействия средств бортового информационно-управляющего поля с аппаратурой РТС ОВК.

2. Цель испытаний РТС ОВК

При проведении испытаний РТС ОВК необходимо получить следующие результаты:

- оценку функционирования аппаратуры РТС ОВК и точности формирования параметров взаимного положения самолетов при наземных испытаниях;
- оценку функционирования аппаратуры РТС ОВК и точности формирования параметров взаимного положения самолетов при летных испытаниях;

- оценку области стабильного определения параметров взаимного положения самолетов при прямолинейном полете и маневрировании с помощью систем объективного контроля и бортовых измерений;
- оценку соответствия характеристик РТС ОВК заданным в техническом задании требованиям.

3. Общие положения разрабатываемых методических указаний

Аппаратура РТС ОВК обеспечивает измерение и выдачу в бортовые системы самолета наклонной дальности до взаимодействующего самолета (ρ_{ij}), пеленга на взаимодействующий самолет (φ_{ij}) и угла места взаимодействующего самолета (β_{ij}), определенных по данным информационного обмена и измеренной наклонной дальности относительно взаимодействующих самолетов группы (здесь i - номер собственного самолета в группе, j - номер взаимодействующего самолета в группе).

В качестве контрольно-проверочной аппаратуры в ходе испытаний предлагается использовать специальным образом организованный наземный измерительный пункт (НИП).

В зависимости от доступного на момент проведения натурных работ оборудования возможна организация проведения испытаний в нескольких конфигурациях.

Минимальная возможная конфигурация группы ОВК для проведения наземных и летных испытаний состоит из НИП, который осуществляет имитацию одного самолета группы и еще одного самолета. Каждый из них оборудован комплектом РТС ОВК (конфигурация 1).

При оборудовании второго самолета аппаратурой РТС ОВК испытания проводятся одновременно для двух самолетов и НИП (конфигурация 2).

Выполнение процедур испытаний целесообразно проводить в два основных этапа:

- наземные испытания по определению характеристик РТС ОВК и области их стабильного формирования в горизонтальной плоскости в зависимости от относительного расположения НИП и одного самолета или НИП и двух самолетов попарно,
- летные испытания по определению характеристик РТС ОВК и области их стабильного формирования в пространстве в зависимости от параметров относительного движения НИП и одного самолета или НИП и двух самолетов попарно.

4. Параметры управления РТС ОВК на самолете и НИП

Для выполнения проверки функционирования РТС ОВК необходимо выполнить включение аппаратуры НИП и задействованной бортовой аппаратуры самолета, задать параметры формирования циклограммы обмена на каждом самолете и НИП.

Основными параметрами, определяющими циклограмму работы РТС ОВК, являются:

- частотно-кодированный канал (ЧКК),
- число самолетов в группе,
- номер самолета в группе (№С),
- команда перевода аппаратуры в режим ОВК.

На самолетах группы параметры №С и ЧКК ОВК определяются алгоритмически в зависимости от выбираемого на многофункциональном индикаторе в режиме тактической обстановки (МФИ ТО) номера радиомаяка (РМ) и номера ЧКК РМ. Номера РМ задаются вручную в диапазоне от 1 до 8, номер ЧКК задается вручную на МФИ из диапазона от 0177 до 0184 (технологический вариант управления РТС ОВК от бортового оборудования).

Проверка работоспособности РТС ОВК выполняется со следующими параметрами, отражающими взаимодействие звена самолетов: число самолетов в группе – 4, диапазон выбора номера самолета группы (от 1 до 4), номера ЧКК ОВК (5 и 19).

Соответствие между вводимыми номерами РМ, ЧКК РМ и выдаваемой из бортового оборудования в РТС ОВК управляющей информацией приведено в таблице 1.

Страница ввода номера РМ и ЧКК на МФИ представлена на рисунке 1.

Таблица 1. Соответствие номеров РМ и ЧКК и параметров ОВК

Выбранный номер РМ на МФИ ТО	Заданный номер ЧКК РМ на МФИ ТО	Выдаваемый в РТС ОВК номер ЧКК ОВК	Выдаваемый в РТС ОВК номер в группе	Выдаваемое в РТС ОВК число в группе
РМ1	ЧКК = 0177	ЧКК = 5	ЛА =1	Гр. = 4
РМ2	ЧКК = 0178	ЧКК = 5	ЛА =2	Гр. = 4
РМ3	ЧКК = 0179	ЧКК = 5	ЛА =3	Гр. = 4
РМ4	ЧКК = 0180	ЧКК = 5	ЛА =4	Гр. = 4
РМ5	ЧКК = 0181	ЧКК = 19	ЛА =1	Гр. = 4
РМ6	ЧКК = 0182	ЧКК = 19	ЛА =2	Гр. = 4
РМ7	ЧКК = 0183	ЧКК = 19	ЛА =3	Гр. = 4
РМ8	ЧКК = 0184	ЧКК = 19	ЛА =4	Гр. = 4

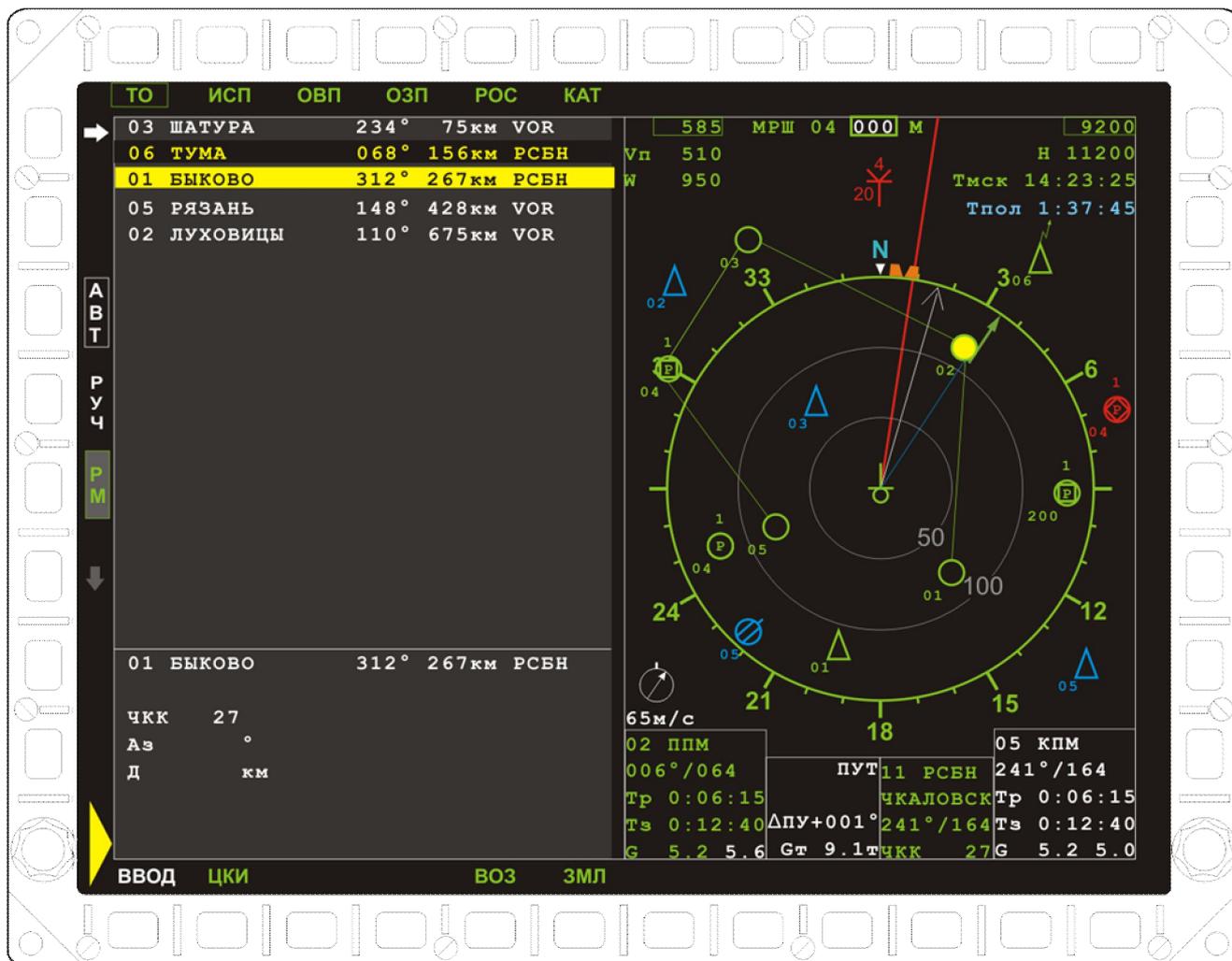


Рис. 1 Пример страницы ввода номера РМ и ЧКК на МФИ

На НИП ввод параметров управления РТС ОВК осуществляется в соответствии заданными на борту самолета параметрами (число самолетов в группе – 4, номер самолета группы от 1 до 4, номер ЧКК ОВК 5 или 19).

Структурная схема НИП представлена на рисунке 2.

Антенна НИП размещается таким образом, чтобы обеспечивалась прямая видимость объектов, которые будут принимать участие в наземной обработке. Производится определение координат антенны НИП с помощью приёмоизмерителя спутниковой навигационной системы. Полученные координаты фиксируются и в дальнейшем используются для задания координат местоположения НИП.

Стенд наземной проверки в составе технологического пульта проверки (ТПП), ПЭВМ и адаптера мультиплексного канала информационного обмена (МКИО) обеспечивает имитацию комплекса бортового оборудования самолета. С помощью ПЭВМ, входящей в НИП, производится управление РТС ОВК и наблюдение входной и выдаваемой информации в объеме, предусмотренном соответствующим протоколом информационного взаимодействия РТС ОВК с комплексом бортового оборудования.

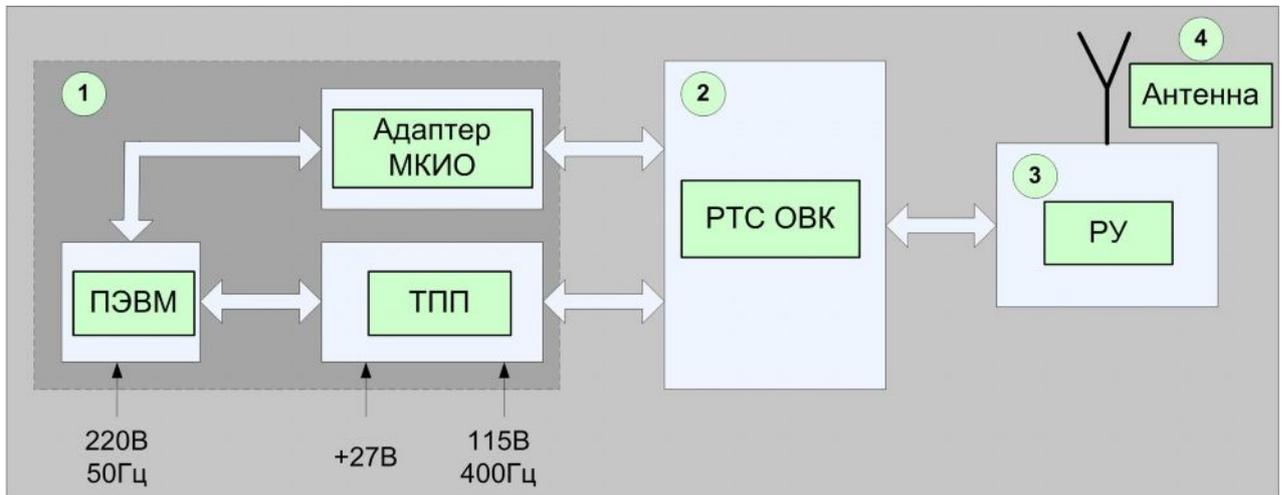


Рис. 2 Структурная схема НИП: 1 – стенд наземной проверки, 2 – РТС ОВК, 3 – распределительное устройство, 4 – антенна

На рисунке 3 приведён вид экрана монитора ПЭВМ для управления аппаратурой РТС ОВК и мониторинга ее работы.

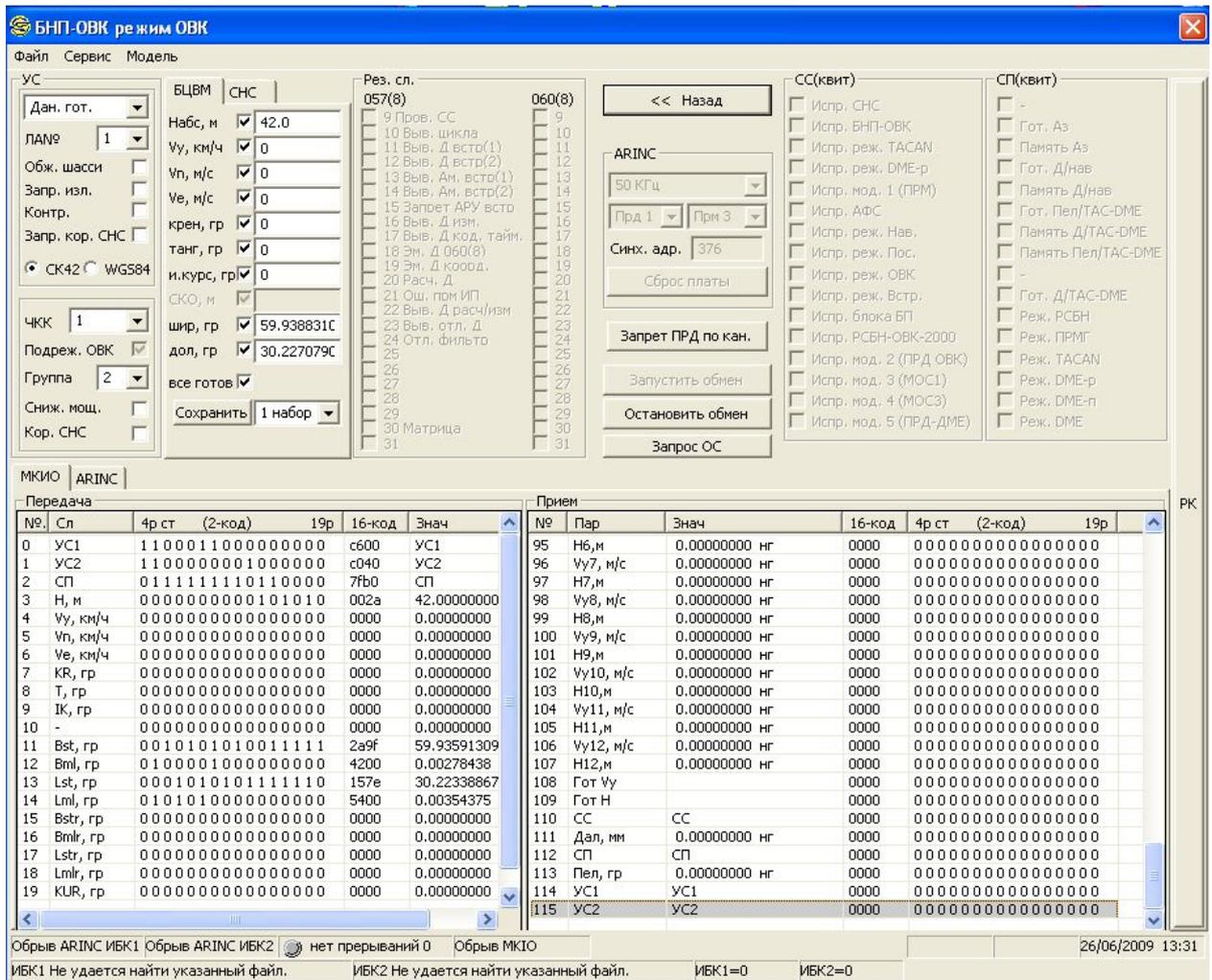


Рис. 3. Пример экранной формы монитора ПЭВМ

В окне "БНП-ОВК режим ОВК" задаётся управляющая информация (№С, ЧКК, число самолетов в группе) и вводятся координаты НИП (измеренные для антенны НИП). Взаимные координаты, вырабатываемые РТС ОВК, наблюдаются в окне "БНП-ОВК режим ОВК" в таблице "Приём" и используются для предварительной оценки при наземных проверках и летных испытаниях для контроля в реальном времени до обработки регистрируемых параметров системами бортовых измерений и объективного контроля.

5. Оцениваемые показатели и дополнительные условия проверок

Оценке подлежат статистические характеристики определения взаимных координат объектов, измеряемые аппаратурой РТС ОВК.

При использовании НИП и одного самолета такими относительными координатами являются:

- для НИП с №С=1 дальность до самолета с №С=2 (ρ_{12}), угол места самолета (β_{12}) и пеленг на самолет (φ_{12});
- для самолета дальность до НИП (ρ_{21}), угол места НИП (β_{21}) и пеленг на НИП (φ_{21}).

При смене № ЛА:

- для НИП с №С=2 дальность до самолета с №С=1 (ρ_{21}), угол места самолета (β_{21}) и пеленг на самолет (φ_{21});
- для самолета дальность до НИП (ρ_{12}), угол места НИП (β_{12}) и пеленг на НИП (φ_{12}).

При смене №С на №3 и №4 у самолета и НИП аналогично изменяются значения соответствующих индексов. При использовании НИП и двух самолетов индексы параметров для оценки также изменяются аналогично.

Схематичное изображение выполняемых определений взаимного положения при летных испытаниях в проверочной конфигурации 2 (два самолета и НИП) представлено на рисунке 4. Конфигурация 1 (один самолет и НИП) является частным случаем показанного на рисунке 4 варианта.

В прямой видимости НИП выполняются несколько полетов (например, полет 1 на переднем плане, полет 2 на заднем плане и т.д.) с различными параметрами (крен, скорость, высота, дальность и пр.).

В соответствии с техническим заданием на аппаратуру РТС ОВК погрешность определения дальности с вероятностью 0,95 должна быть не более $2\sigma_D$ на определенном удалении, погрешность определения угла места и пеленга с вероятностью 0,95 должна быть не более $2\sigma_\beta$, $2\sigma_\varphi$.

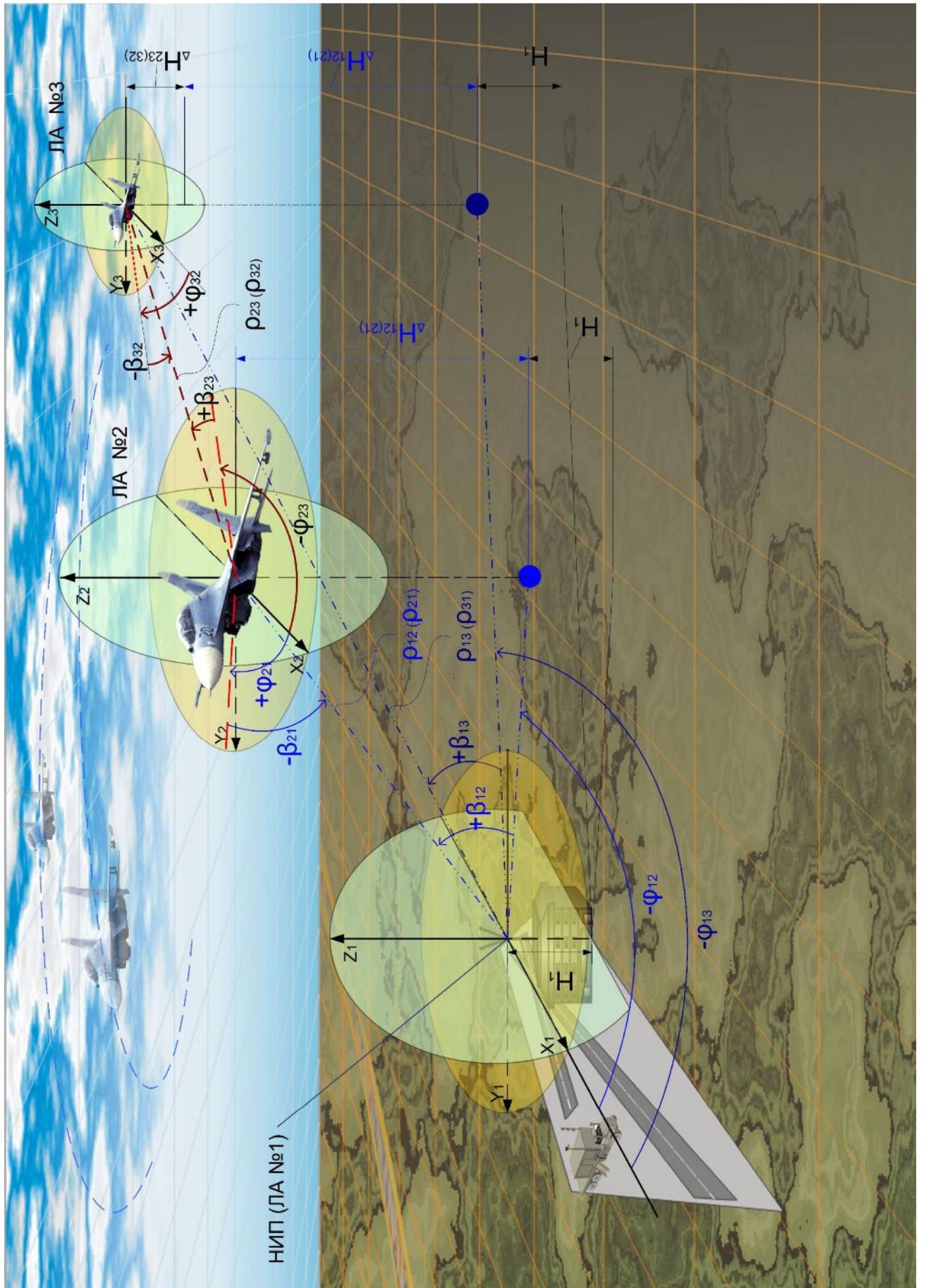


Рис. 4 Схема ОВК при летных испытаниях в конфигурации 2 (2 самолета и НИП)

6. Порядок проведения работ

На самолете включаются комплекс бортового оборудования, в том числе система объективного контроля, система бортовых измерений, на НИП включается питание.

На НИП количество самолетов всегда задается равным четырем и выполняется перебор №С в группе, № ЧКК ОВК. На самолете выполняется перебор номеров РМ и номеров ЧКК в соответствии с задаваемыми на НИП значениями аналогичных параметров во всем возможном диапазоне значений. Номера РМ и ЧКК вводятся вручную на МФИ в соответствии с таблицей 1.

Номер ЧКК ОВК должен быть одинаковым для самолетов и НИП, участвующих в оценке РТС ОВК, т.е. на всех объектах должен быть задан ЧКК ОВК №5 или №19. №С не должен повторяться на участвующих в проверке объектах.

После появления взаимных координат на мониторе ПЭВМ НИП производят фиксацию их значений на НИП и на самолете (или обоих самолетах в конфигурации проверок 2).

Результаты определения взаимных координат заносятся в специальные формуляры, учитывающие условия проведения испытаний и заданные параметры управления РТС ОВК. Одному набору введенных параметров ОВК соответствует массив результатов определения взаимных координат согласно условиям реального относительного расположения объектов, участвующих в испытании.

При наземных проверках для каждого выставленного относительного положения объектов, участвующих в испытаниях, т.е. условий испытаний, выполняется цикл проверок со сменой наборов параметров ОВК. Затем самолет/самолеты устанавливаются в новое положение относительно НИП и друг друга.

При летных испытаниях относительное расположение объектов, участвующих в проверках непрерывно изменяется, измерения проводятся для выбранного набора параметров ОВК на полет и при смене ЧКК ОВК в полете в соответствии с полетным заданием на основании положений разрабатываемой методики.

При наземных проверках режима ОВК самолет располагают на расстоянии 30, 60, 120м и более от НИП (в пределах прямой видимости). При проведении работ на базе аэродрома Раменское диапазон расстояний между двумя объектами составляет до 1000м. Эталонное расстояние ($\rho_{\text{изм}}$) определяется с погрешностью не хуже 5 м.

Самолеты располагают на подготовленных геодезических точках, находящихся в пределах прямой видимости таким образом, чтобы пеленг самолета на НИП был равен 0° , пеленг НИП на самолет – 180° .

Измерения эталонных координат производят относительно мест расположения антенн приемника сигналов спутниковой навигационной системы самолета и НИП.

После появления взаимных координат объектов на мониторе ПЭВМ НИП в течение 15 минут осуществляется регистрация данных.

Оценку точности определения взаимных координат производят путём сравнения зарегистрированных значений взаимных координат, выдаваемых РТС ОВК на самолете и НИП с измеренными эталонными значениями.

Аналогично проводят измерения относительных координат при пеленгах НИП на самолет равных 45° и 90° .

При наличии на момент проведения испытаний двух подготовленных самолетов расстановка объектов выполняется с соблюдением установки расстояний и пеленгов между двумя самолетами и НИП попарно.

Дополнительно, для определения зон затенения антенн и оценки надежности радиоканалов межбортового обмена, необходимо провести измерения относительных координат во всем диапазоне пеленгов (от 0° до 360°).

Схема описанного взаимного расположения объектов для НИП и одного самолета при наземных испытаниях приведена на рисунке 5.

В ходе летных испытаний НИП представляет собой неподвижный объект группы с известным местоположением. Самолет выполняет полет в зоне прямой видимости антенны НИП с различными углами крена из диапазона от -180° до 180° на высотах в диапазоне 100-20000м с удалением, оговоренным в техническом задании (при этом необходимо иметь антенны НИП в прямой видимости).

При наличии двух самолетов измерение взаимных координат каждого самолета и НИП производится в описанных выше условиях. Определение взаимных координат самолетов выполняется в следующих условиях:

- диапазон изменения дальности – согласно техническому заданию, но не менее 300м на ранних этапах испытаний;
- диапазон изменения пеленга на самолет №2 на борту самолета №1 от -180° до -90° и от 90° до 180° ;
- диапазон изменения пеленга на самолет №1 на борту самолета №2 от -90° до 90° ;
- диапазон превышений самолета №2 над самолетом №1 от -1000м до 15000м;
- крены самолетов в диапазоне от -180° до 180° ;
- углы наклона траектории в диапазоне от -50° до 70° .

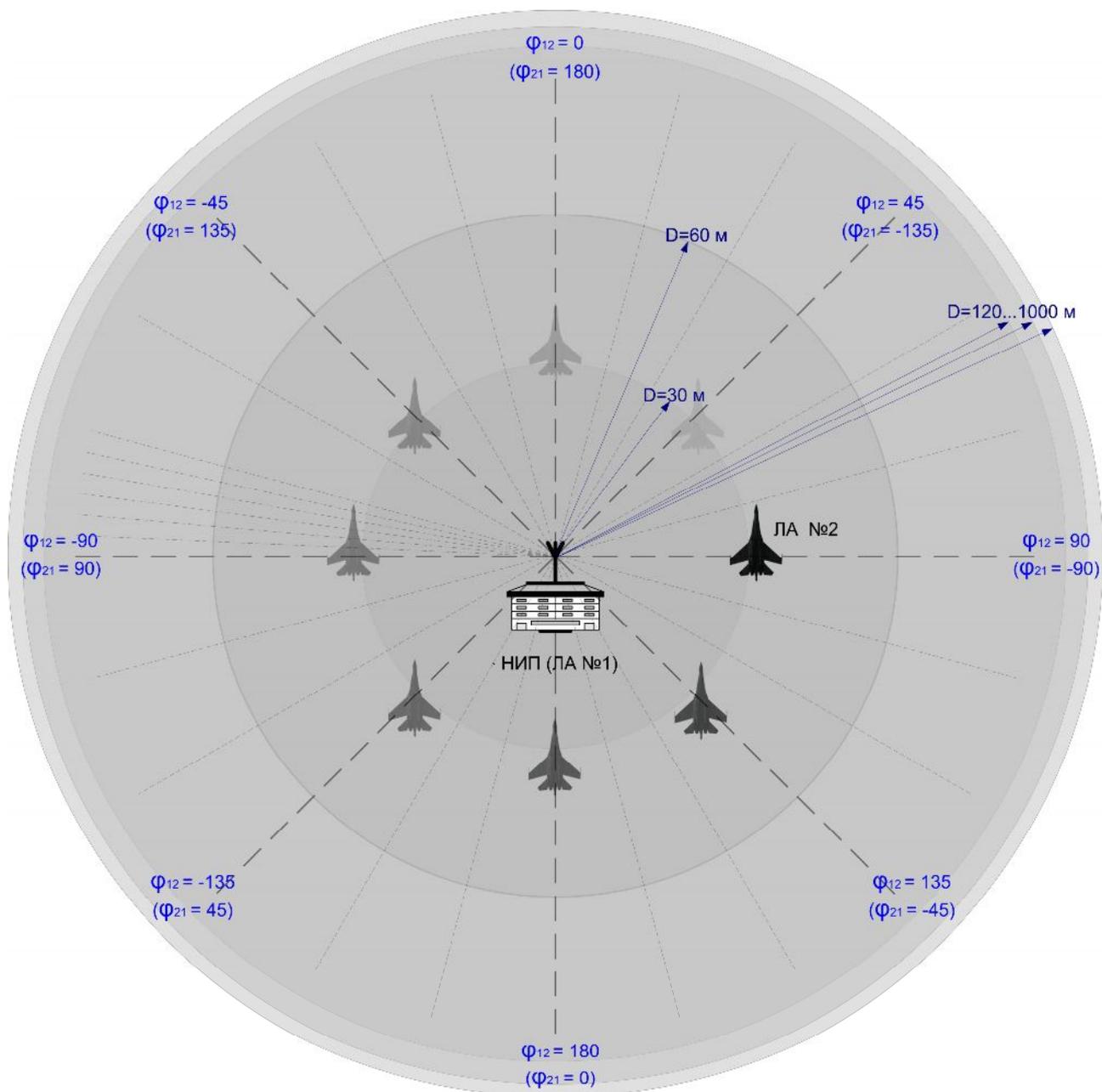


Рис. 5 Схема взаимного расположения объектов группы для наземных проверок в конфигурации 1 (1 самолет и НИП)

7. Порядок обработки результатов измерений

При наземных проверках обработка данных эксперимента по взаимным дальностям и угловым координатам осуществляется путем их сравнения с эталонными значениями, определенными расчетным путем для выбранных геодезических точек. Полученные невязки по координатам обрабатываются в соответствии с методикой обработки результатов определения взаимных координат РТС ОВК с применением специального программного обеспечения автоматизированной обработки результатов измерений [7].

При оценке результатов летных испытаний проводится обработка как измеренных значений, так и данных с системы бортовых траекторных измерений, принятой за эталон, а

также в соответствии с методикой обработки результатов определения взаимных координат РТС ОВК.

Точностные характеристики определения взаимных координат для НИП ($N_{\text{С}}=1$) и одного самолета ($N_{\text{С}}=2$) считаются соответствующими техническому заданию, если выполняются условия:

$$\begin{aligned}(\rho_{12})_i - \rho_{\text{изм}} &\leq \Delta_D = 2\sigma_D; (\rho_{21})_i - \rho_{\text{изм}} \leq \Delta_D = 2\sigma_D; \\(\beta_{12})_i - \beta_{\text{изм}} &\leq \Delta_\beta = 2\sigma_\beta; (\beta_{21})_i - (-\beta_{\text{изм}}) \leq \Delta_\beta = 2\sigma_\beta; \\(\varphi_{12})_i - \varphi_{\text{изм}} &\leq \Delta_\varphi = 2\sigma_\varphi; (\varphi_{21})_i - (180^\circ + \varphi_{\text{изм}}) \leq \Delta_\varphi = 2\sigma_\varphi.\end{aligned}$$

Аналогично при смене $N_{\text{С}}$ на 3 и 4 у самолета и НИП изменяется значение индексов i и j . При использовании НИП и двух самолетов индексы параметров для оценки изменяются аналогично:

$$\begin{aligned}(\rho_{ij})_i - \rho_{\text{изм}} &\leq \Delta_D = 2\sigma_D; (\rho_{ji})_i - \rho_{\text{изм}} \leq \Delta_D = 2\sigma_D; \\(\beta_{ij})_i - \beta_{\text{изм}} &\leq \Delta_\beta = 2\sigma_\beta; (\beta_{ji})_i - (-\beta_{\text{изм}}) \leq \Delta_\beta = 2\sigma_\beta; \\(\varphi_{ij})_i - \varphi_{\text{изм}} &\leq \Delta_\varphi = 2\sigma_\varphi; (\varphi_{ji})_i - (180^\circ + \varphi_{\text{изм}}) \leq \Delta_\varphi = 2\sigma_\varphi.\end{aligned}$$

Точность регистрации измеренных данных об относительных координатах в системах бортовых измерений и объективного контроля определяется путем определения статистических характеристик невязок зарегистрированных данных относительно соответствующих данных от РТС ОВК.

Метрологическое обеспечение комплекса технических средств бортовых измерений, регистрации, наземных средств обработки и соответствующего программно-математического обеспечения, используемого в процессе летных испытаний, осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ 8.326-78, а именно:

- все составляющие комплекса технических средств должны быть аттестованы, т.е. обеспечивать требуемую точность измерений, регистрации и обработки заданных параметров бортовой информации, используемой при анализе работоспособности испытываемого оборудования в процессе летных испытаний;
- ответственность за текущий контроль состояния метрологического обеспечения в процессе летных испытаний возлагается на инженера по метрологическому обеспечению из состава испытательной бригады.

Заключение

В работе рассмотрен вопрос проведения испытаний аппаратуры РТС ОВК в условиях ограниченных ресурсов на момент проведения испытаний (возможности комплекса бортового оборудования по управлению данной системой и количество готовых комплектов самой системы). Испытания проводятся в целях определения работоспособности системы, соответствия ее характеристик заложенным в техническом задании требованиям и оценки

ограничений ее применения в зависимости от относительного расположения объектов испытаний.

В работе предложены две конфигурации проведения проверок в зависимости от доступного на момент проведения испытаний оборудования: в составе НИП и одного самолета, в составе НИП и двух самолетов. Определен порядок проведения наземных и летных испытаний и параметры относительного расположения объектов испытаний.

По итогам практической реализации данной работы и соответствующей обработки результатов испытаний могут быть получены реальные характеристики системы как датчика ОВК и ограничения по параметрам относительного движения самолетов при групповом полете. Полученные характеристики РТС ОВК будут положены в основу разработки алгоритмов автоматического управления и обеспечения безопасности полета в режиме группового самолетовождения.

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, с.45-54.
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, с.11-21.
4. Павлова Н.В., Петров В.Г., Видов К.С. Диалоговый комплекс прототипирования и имитационного моделирования бортового оборудования летательных аппаратов на основе информационной модели //Мехатроника, автоматизация, управление, №4, 2008, с.17-21.
5. Хахулин Г.Ф. Основы конструирования имитационных моделей. – М.: НПК «Поток», 2002.
6. Алешин Б.С., Веремеенко К.К., Черноморский А.И. и др. Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006.
7. Лукашкин В.Г., Гарипов В.К., Слепцов В.В., Вишнеков А.В. Автоматизация измерений контроля и управления. - М.: Машиностроение-1, 2005.

Сведения об авторах

Гусев Дмитрий Игоревич, аспирант Московского авиационного института (государственного технического университета).

Ул. Седова, д.8, к. 1, кв. 54, г. Москва, 129323; тел.: (499) 189-40-08; mail: dgus@inbox.ru