

А.В. Быковский, Л.М. Селиванова, Т.Н. Лаптева

Инерциальная система ИС1-72

Методические указания к выполнению лабораторных работ



Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н. Э. Баумана

2 0 1 7

УДК 629.7.054.07

ББК 39.57

Б95

Издание доступно в электронном виде на портале *ebooks.bmstu.ru*
по адресу: <http://ebooks.bmstu.ru/catalog/177/book1676.html>

Факультет «Информатика и системы управления»
Кафедра «Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации»

*Рекомендовано Редакционно-издательским советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебно-методического пособия*

Рецензент

д-р техн. наук профессор *К.А. Неусыпин*

Быковский, А. В.

Б95 Инерциальная система ИС1-72 : методические указания к выполнению лабораторных работ / А. В. Быковский, Л. М. Селиванова, Т. Н. Лаптева. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. — 30, [2] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-4712-1

Даны сведения о конструкции, кинематической схеме, принципе действия и технических характеристиках инерциальной системы ИС1-72. Рассмотрены принципы функционирования каналов стабилизации и управления курсовертикалью КВ-1П с интегральной коррекцией, входящей в состав ИС1-72. Приведены описание конструкции, принцип действия и технические характеристики гироскопа ГПИ-5 и датчика акселерометра ДА-2.

Для студентов 4- и 5-го курсов МГТУ им. Н.Э. Баумана, обучающихся по специальности «Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации».

УДК 629.7.054.07

ББК 39.57

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

© Оформление. Издательство

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

ISBN 978-5-7038-4712-1

Предисловие

Инерциальные системы полуаналитического типа, используемые в авиации, предназначены для физического построения на борту летательного аппарата (ЛА) горизонтального опорного трехгранника. Эта задача решается с помощью курсовертикали КВ-1П с интегральной (шулеровской) коррекцией. Углы ориентации ЛА (тангаж и крен) измеряются датчиками углов, установленными по осям карданового подвеса КВ-1П. Стабилизация и управление курсовертикалью осуществляется по показаниям чувствительных элементов системы — гироскопов и акселерометров. В лабораторных работах рассмотрены конструкция и принципы функционирования курсовертикали КВ-1П, гироскопа ГПИ-5 и акселерометра ДА-2, режимы стабилизации и управления КВ-1П (интегральная коррекция), дан анализ погрешностей инерциальной системы ИС1-72 с аналоговым вычислителем.

Лабораторные работы по дисциплинам «Инерциальные навигационные системы», «Автоматическое управление летательными аппаратами» включены в программу курса «Расчет и синтез инерциальных навигационных систем».

Цель лабораторных работ — ознакомление с кинематической схемой, принципом работы и конструкцией курсовертикали КВ-1П и ее основных функциональных элементов; изучение особенностей функционирования курсовертикали КВ-1П в режимах стабилизации и управления; изучение конструкций гироскопа ГПИ-5 и акселерометра ДА-2; ознакомление с алгоритмом интегральной (шулеровской) коррекции; анализ погрешностей инерциальной системы полуаналитического типа с аналоговым вычислителем.

После выполнения лабораторных работ студенты смогут: обосновать принцип построения инерциальных систем полуаналитического типа с интегральной или радиальной коррекцией; объяснить особенности конструкции поплавкового интегрирующего гироскопа ГПИ-5 и поплавкового маятникового акселерометра ДА-2; проанализировать характер изменения погрешностей инерциальной системы; провести расчет погрешностей инерциальной системы и выработать требования к чувствительным элементам и алгоритму навигации.

Работа № 1. КУРСОВЕРТИКАЛЬ КВ-1П

Цель работы — ознакомление с конструкцией курсовертикали КВ-1П и входящих в ее состав гироскопов ГПИ-5 и акселерометров ДА-2.

1.1. Назначение курсовертикали КВ-1П

Курсовертикаль КВ-1П является центральным прибором самолетной инерциальной системы ИС1-72 и предназначена:

- для стабилизации совместно с блоком усилителей БУГ-15 и блоком коррекции БК-28 осей чувствительности трех датчиков акселерометров, расположенных на гиросtabilизированной платформе (ГСП), по осям горизонтального опорного азимутально-свободного трехгранника o ;
- для выдачи сигналов, пропорциональных углам гироскопического курса ψ_r , крена γ и тангажа ϑ , при неограниченных углах маневра объекта.

1.2. Кинематическая схема курсовертикали КВ-1П.

Принцип действия

Кинематическая схема курсовертикали КВ-1П приведена на рис. 1.1. Курсовертикаль КВ-1П представляет собой пространственный гиросtabilизатор с дополнительной креновой (следающей) рамой. На платформе курсовертикали КВ-1П, подвешенной с помощью трехрамного карданова подвеса в корпусе, установлены три двухстепенных поплавковых интегрирующих гироскопа (ПИГ) Г1 — Г3 и три датчика акселерометров А1 — А3. Оси чувствительности гироскопов и акселерометров (при неотклоненном положении) ориентированы по осям правого горизонтального азимутально-свободного опорного трехгранника o . Вершина этого трехгранника совпадает с центром масс объекта, ось Z_o , ориентирована по местной вертикали вверх (линия действия силы тяжести), а оси X_o , Y_o , расположены в плоскости местного горизонта и не вращаются относительно инерциального пространства, т. е. составляющая абсолютной угловой скорости ГСП $\omega_{oz} = 0$.

При начальной ориентации ось гиropлатформы Y_o может занимать произвольное, но фиксированное положение в азимуте, которое определяется в процессе выставки ориентацией продольной оси корпуса навигационной системы. Это означает, что начальное значение угла гироскопического курса $\psi_r(t_0) = 0$.

Ось подвеса платформы во внутренней раме крена вертикальна, ось подвеса дополнительной следающей рамы крена устанавливается параллельно продольной оси объекта.

Гироскопы Г1 — Г3 являются чувствительными элементами трех каналов стабилизации курсовертикали КВ-1П. В соответствии с типом используемых гироскопов курсовертикаль КВ-1П является гиросtabilизатором индикаторно-силового типа. Принцип работы гироскопической стабилизации состоит в компенсации внешних возмущающих моментов, действующих на платформу, моментами стабилизирующих двигателей ДС1 — ДС3, установленных на осях

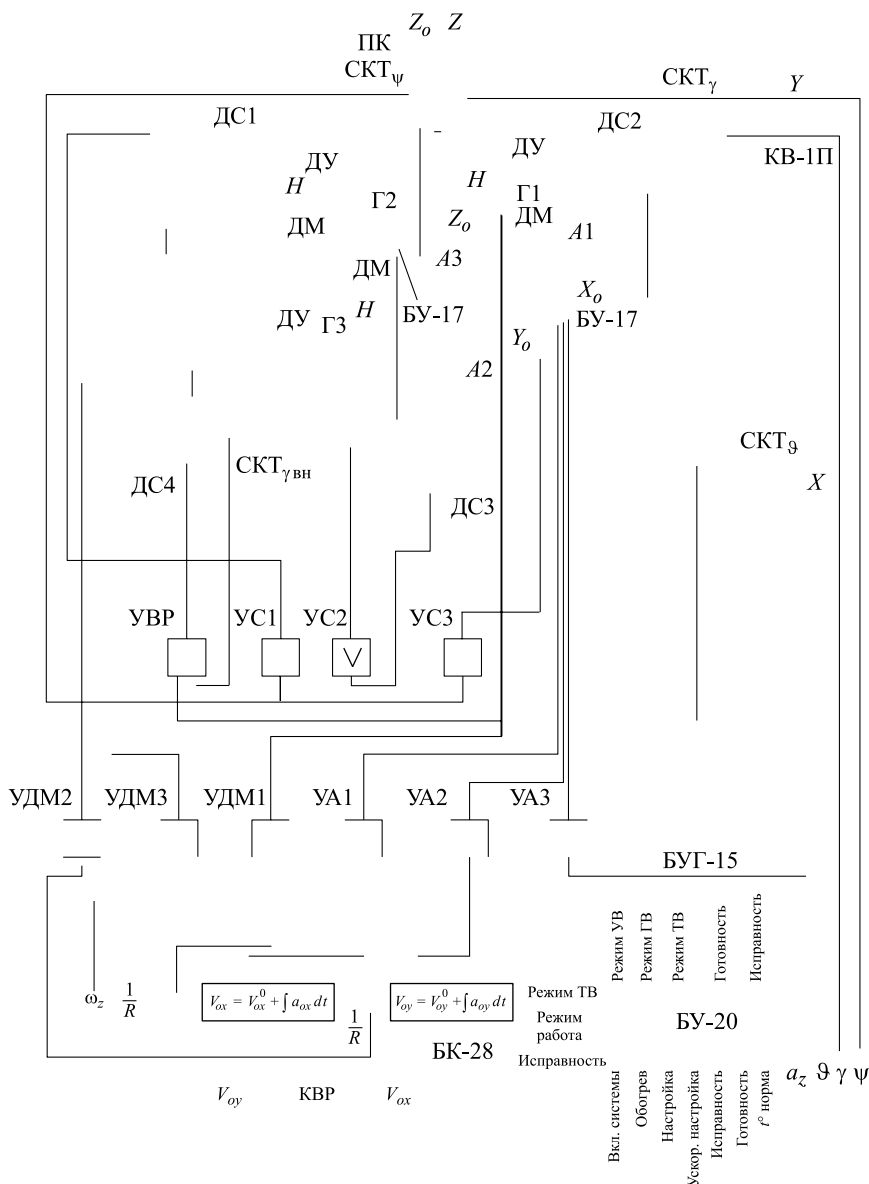


Рис. 1.1. Кинематическая схема курсовертикали КВ-1П:

ПК — преобразователь координат; СКТ ψ — датчик угла гироскопического курса (синусно-косинусный трансформатор); СКТ γ — датчик угла наружного крена (синусно-косинусный трансформатор); ДС1 — двигатель стабилизации по оси тангажа; ДС2 — двигатель стабилизации по оси внутреннего крена; ДУ — датчик угла гироскопа; H — кинетический момент гироскопа; Г1, Г2, Г3 — гироскопы; ДМ — датчик момента гироскопа; А1, А2, А3 — акселерометры; ДС4 — двигатель стабилизации по оси наружного крена; СКТ $\gamma_{вн}$ — датчик угла внутреннего крена (синусно-косинусный трансформатор); СКТ ϑ — датчик угла тангажа; ДС3 — двигатель стабилизации по оси курса; УВР — усилитель внешней рамы; УС1, УС2, УС3 — усилители блока усилителей БУГ-15; УДМ2, УДМ3, УДМ1 — усилители датчиков момента; УА1, УА2, УА3 — усилители сигналов акселерометров блока БУГ-15; ω_z — угловая скорость канала курса (в тестовом режиме); R — радиус Земли; V_{ox}^0, V_{oy}^0 — начальные значения абсолютной линейной скорости; a_{ox}, a_{oy} — горизонтальные проекции кажущегося ускорения; a_z — вертикальное кажущееся ускорение; ϑ, γ, ψ — тангаж, крен, гироскопический курс

тангажа, внутреннего крена и курса соответственно. Управление стабилизирующими двигателями ДС1 — ДС3 осуществляется через предварительные усилители блока БУ-17, установленного на платформе курсовертикали, и усилители УС1 — УС3 блока усилителей БУГ-15 по сигналам датчиков угла соответствующих гироскопов. Эти датчики фиксируют малые угловые отклонения гироскопов, вызываемые внешними возмущающими моментами.

Гироскоп Г3, ось собственного вращения и ось прецессии которого параллельны плоскости платформы, вместе с системой разгрузки осуществляет стабилизацию платформы относительно оси курса. Гироскопы Г1 и Г2 обеспечивают вместе с системами разгрузки стабилизацию платформы вокруг двух других осей ее подвеса — осей тангажа и крена. Оси прецессии гироскопов Г1 и Г2 перпендикулярны плоскости платформы, а оси собственного вращения параллельны этой плоскости и взаимно перпендикулярны. Сигналы датчиков угла гироскопов Г1 и Г2, усиленные предварительными усилителями курсовертикали КВ-1П, подаются на усилители УС1 и УС2 блока БУГ-15 через преобразователь координат ПК, представляющий собой синусно-косинусный трансформатор (СКТ), установленный на вертикальной оси платформы. Сигнал датчика угла гироскопа Г3 подается непосредственно на УС3; ПК формирует и передает управляющие сигналы на двигатели стабилизации ДС1 и ДС2 в зависимости от ориентации платформы (точнее, от ориентации осей чувствительности гироскопов Г1 и Г2) относительно осей стабилизации, преобразуя сигналы датчиков углов гироскопов через синус и косинус угла гироскопического курса ψ_{Γ} .

Для обеспечения невыбиваемости курсовертикали при сложных пространственных маневрах самолета карданов подвес имеет дополнительную следящую раму (внешнюю раму крена), обеспечивающую ортогональность всех трех осей вращения платформы при любых маневрах самолета. Поддержание перпендикулярности осей осуществляется следящей системой внешней рамы крена, состоящей из датчика угла СКТ_{у_{вн}}, усилителя внешней рамы УВР, расположенного в блоке БУГ-15, и двигателя стабилизации ДС4. Входными сигналами следящей системы внешней рамы крена является сигнал с синусной обмотки СКТ_{у_{вн}}, причем этот сигнал минимален при взаимно перпендикулярном положении внутренней рамы крена и рамы тангажа. Этот сигнал после усиления и преобразования в усилителе внешней рамы УВР блока БУГ-15 подается на двигатель ДС4, который отслеживает внешнюю раму до положения, при котором угол δ неперпендикулярности рамы тангажа и внутренней рамы крена не станет равным нулю. Угол поворота следящей рамы γ^* связан с углом δ соотношением

$$\gamma^* = \frac{\delta}{\cos \vartheta}.$$

Для реализации этого соотношения усилитель внешней рамы УВР содержит схему автоматической регулировки коэффициента усиления, для чего в усилитель подается напряжение с косинусной обмотки датчика угла тангажа СКТ_г.

При некоторых пространственных маневрах самолета, когда угол тангажа ϑ превышает 90° , происходит переворот следящей рамы на 180° , при этом

в соответствии с действительным движением самолета изменяется на 180° показание курса и сохраняется правильная полярность отсчета угла тангажа. Когда угол тангажа ϑ превышает 90° , следящая система внешней рамы крена теряет устойчивость, и двигатель ДС4 начинает вращать внешнюю раму крена с максимальной скоростью. При этом увеличивается угол неперпендикулярности δ , что вызывает дальнейший разворот внешней рамы крена с максимальной скоростью. Когда она повернется на угол, превышающий 90° , равновесие в системе восстановится, и угол начнет уменьшаться. Положение равновесия в системе наступит при развороте внешней рамы крена на 180° . В системе предусмотрено электрическое арретирование следящей рамы по корпусу курсовертикали. По сигналу АРРЕТИРОВАНИЕ вход усилителя УВР подключается к синусной обмотке датчика команд крена СКТ_γ, установленного на оси следящей рамы.

Во время полета платформа удерживается в плоскости горизонта с помощью системы горизонтальной коррекции. В курсовертикали КВ-1П предусмотрены два режима горизонтальной коррекции: режим интегральной и режим радиальной коррекции.

Основным режимом работы курсовертикали КВ-1П в полете является режим работы с интегральной коррекцией, которая обеспечивает невозмущаемость платформы горизонтальными ускорениями объекта. Контур интегральной коррекции по каждому горизонтальному каналу включает датчик акселерометра А1 (А2), предварительный усилитель курсовертикаль КВ-1П, усилитель УА1 (УА2) блока БУГ-15, интегратор блока БК-28, усилитель датчика моментов УДМ1 (УДМ2) блока БУГ-15 и датчик момента ДМ гироскопа Г1 (Г2). Акселерометр представляет собой датчик акселерометра А1 (А2), работающий в замкнутой схеме с предварительным усилителем курсовертикали и усилителем УА1 (УА2) блока БУГ-15. Выходное напряжение акселерометра пропорционально измеряемому ускорению.

На выходах интегратора блока коррекции БК-28 формируется сигнал, пропорциональный составляющей абсолютной угловой скорости самолета по оси X_o (Y_o), поступающий на усилитель УДМ1 (УДМ2) и далее на датчик момента гироскопа Г1 (Г2), и выходной сигнал инерциальной системы, пропорциональный горизонтальной составляющей абсолютной линейной скорости самолета V_{ox} (V_{oy}). Начальные значения V_{ox}^0 (V_{oy}^0) для вычислений вводятся в блок БК-28 при подготовке системы к работе. Под действием момента, развиваемого датчиком момента гироскопа Г1 (Г2) по оси прецессии гироскопа, платформа прецессирует к плоскости горизонта. Контур интегральной коррекции по каждой из осей X_o и Y_o представляет собой замкнутую систему, содержащую акселерометр и два последовательно соединенных интегрирующих звена, одним из которых является интегратор, а другим – гироскоп. Такая замкнутая система моделирует физический маятник с периодом Шулера (84,4 мин). Чтобы обеспечить такой период колебаний, коэффициенты передачи звеньев (акселерометра, интегратора и гироскопа) выбраны из условия равенства их произведения значению g/R , где g – ускорение силы тяжести, R – средний радиус земной сферы с учетом высоты полета ($R = 6411$ км).

Для уменьшения погрешности системы от влияния дрейфа, статической ошибки и нечувствительности интегратора в курсовертикали КВ-1П предусмо-

Литература

Навигация летательных аппаратов в околоземном пространстве / под ред. Г.И. Джанджгавы. М.: Научтехлитиздат, 2015.

Содержание

Предисловие	3
Работа № 1. КУРСОВЕРТИКАЛЬ КВ-1П	4
1.1. Назначение курсовертикали КВ-1П	4
1.2. Кинематическая схема курсовертикали КВ-1П. Принцип действия	4
1.3. Конструкция курсовертикали КВ-1П	9
1.4. Технические характеристики курсовертикали КВ-1П	10
1.5. Приборы и элементы конструкции курсовертикали КВ-1П	11
1.5.1. Гироскоп поплавковый интегрирующий ГПИ-5	11
1.5.2. Датчик акселерометра ДА-2	15
1.5.3. Датчик моментов ДМ-10	17
1.5.4. Датчик моментов ДМ-3	18
1.5.5. Синусно-косинусные трансформаторы	18
1.5.6. Контактные группы ГК-4	19
1.5.7. Блоки усилителей БУ-17	19
1.5.8. Терморегуляторы Т-24 и Т-26	19
1.5.9. Усилитель У-148	19
1.6. Содержание отчета о лабораторной работе	20
Контрольные вопросы	20
Работа № 2. ИНЕРЦИАЛЬНАЯ СИСТЕМА ИС1-72	21
2.1. Назначение инерциальной системы ИС1-72	21
2.2. Состав аппаратуры инерциальной системы ИС1-72	21
2.3. Условия эксплуатации инерциальной системы ИС1-72	21
2.4. Технические характеристики инерциальной системы ИС1-72	22
2.5. Принцип работы инерциальной системы ИС1-72	23
2.6. Режимы работы инерциальной системы ИС1-72	25
2.7. Методические ошибки инерциальной системы ИС1-72 с аналоговым вычислителем	28
2.8. Содержание отчета о лабораторной работе	30
Контрольные вопросы	30
Литература	31