[**1. Введение**](#_47b4jb9g0xtv) **2**

[**2. Модель ошибок БИНС**](#_arq0t3pozjeg) **3**

[Ошибки из-за неточного определения вертикали](#_plolt2cylcq8) 3

[Ошибки, вызванные дрейфом гироскопов](#_ot34gv10q17f) 4

[Ошибки, вызванные погрешностями акселерометров:](#_r8s4p33w7j89) 5

[**3. Методы калибровок БЧЭ**](#_upkdninj0r03) **5**

[**Вывод**](#_sot6nj6vczxd) **6**

[**Список литературы**](#_3v3vsyuxsp42) **7**

# 1. Введение

Целью данной работы является изучение алгоритмов калибровки для устранения инструментальных погрешностей БИНС. Задача расчета ошибок заключается в нахождении связи между погрешностями приборов и погрешностями выходных параметров БИНС. Установление такой связи позволяет рассчитать погрешности БИНС, в которой используют элементы с известными характеристиками ошибок. Анализируя ошибки, можно в определенной степени упростить алгоритмы, по которым работает вычислительное устройство, а также выработать обоснованные требования к коррекции БИНС.

# 2. Модель ошибок БИНС

Определим используемые в докладе системы координат:

* *Связанная система координат (ССК) -* центр СК совпадает с центром масс объекта, на котором установлен БИНС, ось совпадает с продольной осью объекта, ось - с нормальной осью, ось - дополняет правую тройку;
* Географическая система координат (ГСК) - центр СК совпадает с центром масс объекта на этапе выставки, ось направлена на север, ось - на восток, ось - вдоль местной вертикали.

Положим, что все значения о линейных ускорениях объекта и его угловых скоростях получаются в *ССК,* а задача навигации и ориентации решается в *ГСК.* Ориентация ССК относительно ГСК определяется углами Крылова - крена (𝛾), тангажа (𝜃) и курса (𝜓).

## *Ошибки из-за неточного определения вертикали*

Пусть ошибки акселерометров и гироскопов раны нулю, а вертикаль в начальный момент времени определена с ошибкой (то есть после этапа выставки ось отклонена от местной вертикали на угол в плоскости *ССК*). Объект переместился вдоль местной параллели на угол относительно начального положения (Рис 1).

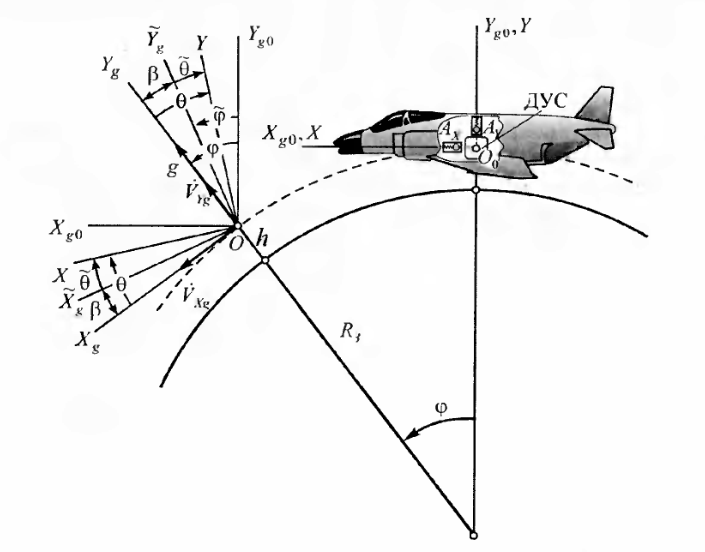


Рис 1. Отклонение осиот местной вертикали и перемещение объекта на угол .

Тогда акселерометры БИНС по оси будет измерять следующие проекции векторов линейных скоростей объекта и ускорение силы тяжести:

Таким образом, после перепроектирования вектора линейных ускорений из *ССК* в *ГСК* в проекции кажущегося ускорения будет содержаться составляющая вектора ускорения силы тяжести.

Значение угла можно вычислить, зная истинный угол поворота и угол вычисленный с помощью бортового БИНС:

Продифференцировав и проинтегрировав обе части равенства получим:

где - частота Шулера. Эту частоту можно трактовать, как частоту малых незатухающих колебаний в поле силы тяжести Земли физического маятника, приведенная длина которого равна расстоянию от центра Земли до объекта, движущегося на высоте . Числовое значение частоты Шулера равно , соответственно, период Шулера будет равен

Если в начальный момент времени , то ошибка построения вертикали равна 0. В случае, когда в начальный момент времени вертикаль задана с ошибкой , то решение верхнего уравнения равна:

Следовательно, вычисленная вертикаль будет совершать колебания относительно истинной вертикали с периодом Шулера. Найдем ошибку в определении скорости ЛА, как разность между приборной скоростью и истинной скоростью ЛА, и ошибку определения широты:

Таким образом, ошибки, возникающие при отклонении вычисляемой БИНСом вертикали от истинной, имеют колебательный характер, период которых равен периоду колебаний Шулера, а амплитуда определяется величиной отклонения вертикалей.

## *Ошибки, вызванные дрейфом гироскопов*

Пусть выставка прошла идеально, углы рассогласования между осями ССК и ГСК в начальный момент времени равны 0, акселерометры не имеют ошибок, однако гироскопы измеряют угловую скорость ЛА с ошибкой . Найдем ошибку определения угла тангажа при движении ЛА в соответствии с *Рис 1.* Запишем формулу определения с учетом дрейфа :

Получим ошибку определения , вычтя из расчетного значения истинное:

где Дифференцируя обе части равенства получим:

В соответствии с *Рис. 1* связь между истинным и вычисленным значениями угла тангажа определяется равенством:

Таким образом, ошибка выработки тангажа равна ошибке построения вертикали с обратным знаком. Найдем уравнение для ошибки построения вертикали с учетом дрейфа гироскопа, продифференцировав обе части равенства:

Найдем решение уравнения при условии что , а начальные условия нулевые:

Найдем ошибки определения скорости и широты:

Таким образом, вычисленная вертикаль совершает Шулеровские колебания около истинной вертикали с амплитудой При этом в ошибке определения скорости присутствует постоянная составляющая , которая приводит к накоплению погрешности при определении параметров навигации.

## *Ошибки, вызванные погрешностями акселерометров:*

Пусть выставка прошла идеально, углы рассогласования между осями ССК и ГСК в начальный момент времени равны 0, гироскопы не имеют ошибок, однако акселерометры имеют ошибки смещения нуля Тогда акселерометры по осям будут измерять проекции векторов линейных скоростей ЛА, ускорения свободного падения плюс собственные ошибки:

Перепроектируем вектор кажущегося ускорения из *ССК* в *ГСК,* запишем получившееся для оси *X* значение:

Пренебрегая величинами второго порядка малости (произведения ошибок акселерометров), получим уравнение для ошибки построения вертикали:

Дифференцируя обе части равенства получим:

Полагая, что угол мал и , получим решение верхнего уравнения при нулевых начальных условиях:

Из решения следует, что погрешности акселерометра вызывают колебания вычисленной вертикали с периодом Шулера относительно смещенного от истинной вертикали положения равновесия на величину . Амплитуда колебаний равна ошибке акселерометра в долях ускорения силы тяжести .

Найдем погрешности определения скорости и широты БИНС:

Таким образом, ошибка в измерении скорости и широты также имеет колебательный характер с периодом Шулера и амплитудой, пропорциональной значению погрешности акселерометра .

# 3. Методы калибровки БЧЭ

Как видно из предыдущего блока, ошибки БЧЭ БИНС сильно сказываются на точность решения задач навигации и ориентации. Для устранения ошибок БЧЭ проходит через этап *калибровки*.

Под калибровкой понимается совокупность операций, устанавливающих соотношение между измеренными БЧЭ величинами и установленными значениями тех же величин на поворотном стенде. Результатом калибровки является определение коэффициентов модели ошибок чувствительных элементов БИНС.

## *Калибровка акселерометров*

# Вывод

В ходе выполнения данной работы

# Список литературы

1. O. S. Salychev: Applied Inertial Navigation: Problems and Solutions. BMSTU Press. Moscow, Russia. 2004;
2. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем / В. В. Матвеев, В. Я. Распопов / Под общ. ред. д.т.н. В. Я. Распопова. “Конценр “ЦНИИ “Электроприбор””, 2009;