

**ТЕМА 3.
ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ
НАВИГАЦИОННЫЕ
СИСТЕМЫ**

План:

- ▣ История;
- ▣ 1) Назначение и основные функции
- ▣ 2) Физические принципы инерциальной навигации;
- ▣ 3) Классификация ИНС;
- ▣ 4) Характерные особенности и условия построения различного типа ИНС ;

История

-
-
- Принципы инерциальной навигации базируются на сформулированных ещё Ньютоном законах механики, которым подчиняется движение тел по отношению к инерциальной системе отсчёта (для движений в пределах Солнечной системы — по отношению к звёздам).
- Разработка основ инерциальной навигации относится к 1930-м годам. Большой вклад в неё внесли: в СССР — Б. В. Булгаков, А. Ю. Ишлинский, Е. Б. Левенталь, Г. О. Фридлиндер, в Германии — М. Шулер и в США — Чарльз Дрейпер. Значительную роль в теоретических основах инерциальной навигации играет теория устойчивости механических систем, большой вклад в которую внесли российские математики Ляпунов и Михайлов.

- Практическая реализация методов инерциальной навигации была связана со значительными трудностями, вызываемыми необходимостью обеспечить высокую точность и надёжность работы всех устройств при заданных весах и габаритах. Преодоление этих трудностей становится возможным благодаря созданию специальных технических средств — инерциальной навигационной системы (ИНС). Первый вариант практической ИНС, разработанный в США в начале 60-х, — несколько ящиков внушительных размеров (включая обслуживающую ЭВМ) — которые, занимая почти весь салон самолёта, впервые были испытаны во время перелёта в Лос-Анджелес, автоматически управляя самолётом.

1. Особенности инерциальных навигационных систем

- Инерциальные навигационные системы (ИНС) – это точные автоматические устройства, основанные на применении измерителей ускорений (акселерометров), стабилизаторов для удержания акселерометров в определенном положении относительно инерционной системы координат (ИСК), счетно-решающих устройств для вычисления местоположения летальных аппаратов и указывающих приборов.
- ИНС по способу определения координат местонахождения летательного аппарата относятся к системам счисления пути. Они используются для решения следующих навигационных задач:
 - – непрерывного измерения с помощью акселерометров ускорений центра масс ЛА под действием активных (негравитационных) сил;
 - – моделирования навигационных систем координат (НСК);
 - – вычисления составляющих скорости путем однократного интегрирования и координат местонахождения центра масс ЛА путем двукратного интегрирования измеренных ускорений;
 - – измерения углов ориентации ЛА относительно ИСК (углов сноса и скольжения, углов крена, курса и тангажа).

- ИНС имеют перед другими навигационными системами важные преимущества — универсальность применения, возможность определения основных параметров движения (координаты местонахождения, скорость, ускорение, направление движения, пространственная ориентация, т.е. угловое положение в заданной системе координат в пространстве, угловая скорость и др.), автономность действия, помехозащищенность, высокая точность при ограничении времени действия.
- ИНС присущи определенные недостатки, главными из которых являются: возрастание погрешностей с течением времени, что ограничивает возможность использования во времени без применения корректирующих средств; сложность устройства и необходимость применения высокопрецизионных базовых измерительных элементов и вычислительных устройств, высокая стоимость в



Стенд С1 >>

Шале G1-5

- ▣ 2. Принципы определения текущих координат, скорости ЛА и построения вертикали в ИНС
- ▣ Рассмотрим движение ЛА в одной плоскости вокруг неподвижной Земли, имеющей форму шара. На горизонтальной платформе поместим акселерометр. Пусть ЛА, сохраняя горизонтальность движения в течение времени t , перемещается из точки A в точку B . Тогда интегратор, на вход которого подается сигнал, пропорциональный v , т.е. величине путевой скорости ЛА. Если выход первого интегратора соединить со входом второго интегратора, то на выходе последнего появится сигнал, пропорциональный пути s , пройденному ЛА за время интегрирования:
- ▣ Истинная вертикаль за это время повернется на угол α . На этот же угол α (где R — расстояние от центра Земли до ЛА) должна повернуться и платформа с акселерометром, чтобы она осталась в горизонтальном положении. Таким образом, зная координаты точки старта A , можно определить координаты любой точки B и вектор путевой скорости v .

- Рассмотрим принцип построения вертикали на ЛА. Эта задача является обратной задаче определения. Если ЛА переместится из точки s с направлением вертикали v в точку s' с направлением вертикали v' , то истинная вертикаль повернется на угол. Для того, чтобы платформа в точке заняла горизонтальное положение, ее необходимо повернуть относительно первоначального положения на угол α . Таким образом, чтобы решить задачу построения вертикали, необходимо в любой момент времени знать величину угла α и поворачивать платформу на угол α . Приведенные выше соображения позволяют сделать вывод, что для получения ИНС необходимо объединить системы определения, и построения вертикали.



- **2.** Метод инерциальной навигации и инерциальные навигационные системы (ИНС) в настоящее время находят широкое применение для навигации летательных аппаратов. Из всех навигационных систем ИНС являются единственными, которые наилучшим образом удовлетворяют целому комплексу таких важных требований, как универсальность, полная автономность, помехозащищенность и помехоустойчивость, а также скрытность работы. Вместе с тем, уже при существующем уровне развития техники эти системы могут обеспечивать достаточную высокую точность навигации, которая ограничивается только точностью датчиков первичной информации и будет повышаться

- **2 .** Физические принципы инерциальной навигации неразрывно связаны с решением основной задачи динамики: при известных силах, действующих на тело, а так же его начальном положении и скорости необходимо определить его положение в любой момент времени относительно выбранной системы отсчета. Решение этой задачи разбивают на два этапа: □ определение движения центра масс; □ определение движения тела вокруг центра масс. Предположим, что на движущейся вблизи поверхности Земли объекте установлен трехкомпонентный акселерометр. Модель такого акселерометра можно представить в виде материальной точки единичной массы (чувствительного элемента), установленной в трехкомпонентном упругом подвесе (рис. 22.1). При решении задач общей теории инерциальной навигации движение этой

- ▣ Различают платформенные (когда измерительные акселерометры установлены на стабилизированной в плоскости горизонта платформе) и бесплатформенные инерциальные системы. В последних акселерометры установлены на корпусе самолета, измеренные ускорения преобразуются в необходимую систему координат.
- ▣ В платформенных ИНС взаимная связь блока измерителей ускорений и гироскопический устройств, обеспечивающих ориентацию акселерометров в пространстве, определяет тип инерциальной системы.

Типы ИНС:



1. Инерциальная система геометрического типа имеет две платформы. Одна платформа с гироскопами ориентирована и стабилизирована в инерциальном пространстве, а вторая с акселерометрами — относительно плоскости горизонта. Координаты самолета определяются в вычислителе с использованием данных о взаимном расположении платформ.

2. В инерциальных системах аналитического типа и акселерометры, и гироскопы неподвижны в инерциальном пространстве. Координаты объекта получаются в счетно-решающем устройстве, в котором обрабатываются сигналы, снимаемые с акселерометров и устройств, определяющих поворот самого объекта относительно гироскопов и акселерометров.



3. Полуаналитическая система имеет платформу, которая непрерывно стабилизируется по местному горизонту. На платформе имеются гироскопы и акселерометры. Координаты самолета определяются в вычислителе, расположенном вне платформы

Инерциальная система типа И-11

- Инерциальная система является системой навигации и предназначена для решения задач самолетовождения. Система обеспечивает:
 - — автономное и совместно с САУ выполнение полета по маршруту в соответствии с программой, введенной в нее перед полетом или в полете;
 - — непрерывное автоматическое определение и индикацию текущего МС в географической и ортодромической системах координат;
 - — формирование и индикацию заданного путевого угла и бокового отклонения от линии заданного пути для обеспечения автоматического самолетовождения в горизонтальной плоскости;
 - — формирование и индикацию путевой скорости и угла сноса;

- ▣ — определение и индикацию времени полета и оставшегося расстояния до очередного промежуточного пункта маршрута, географические координаты которого введены в систему;
- ▣ — вычисление и индикацию текущих значений путевого угла и истинного курса самолета;
- ▣ — вычисление и индикацию направления и скорости ветра;
- ▣ — ручную коррекцию географических координат места самолета;
- ▣ — индикацию географических координат и номеров промежуточных пунктов маршрута, введенных в систему;
- ▣ — индикацию в цифровой форме показателей готовности системы к работе, сигналов компенсации уходов гироскопов и составляющих путевой



Инерциальная навигационная система

Бесплатформенная инерциальная навигационная система И42-1С (БИНС)

- Эта навигационная система устанавливается на самолетах Ту-204 и Ил-96-300 и является основной системой в комплексе пилотажно-навигационного оборудования самолета.
- Комплекты БИНС (их устанавливается на самолете обычно три) являются основными датчиками пилотажно-навигационных параметров и параметров пространственного положения самолета. В отличие от инерциальной системы И-11 акселерометры и гироскопы не устанавливаются на стабилизированной платформе, а крепятся непосредственно к самолету. В качестве гироскопов используются

4 . Характерные особенности и условия построения различного типа ИНС

- В общем случае при построении инерциальных систем необходимо учитывать следующее:
- -способы измерения навигационных параметров ЛА относительно навигационной системы отсчета
- -виды ориентации акселерометров;
- -особенности моделирования систем координат;
- -методы учета гравитационного ускорения;
- -методы учета начальных параметров движения.

В связи с этим в состав любой инерциальной системы входят следующие функциональные элементы:

- ▣ -система акселерометров, измеряющая составляющие вектора a ускорения движения центра масс ЛА под действием активных сил;
- ▣ -датчики угловой ориентации, моделирующие навигационную систему координат или измеряющие ее угловую скорость вращения;
- ▣ -датчики первичной и исходной информации, в том числе и данных о гравитационном поле;
- ▣ -счетно-решающее устройства для вычисления навигационных алгоритмов;
- ▣ -системы отображения выходной информации или выдачи выходных сигналов различным потребителям;
- ▣ -системы управления и коррекции погрешностей.



Бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС)



- Инерциальные навигационные системы (ИНС) имеют в своём составе датчики линейного ускорения (акселерометры) и угловой скорости (гироскопы или пары акселерометров, измеряющих центробежное ускорение). С их помощью можно определить отклонение связанной с корпусом прибора системы координат от системы координат, связанной с Землёй, получив углы ориентации: рыскание (курс), тангаж и крен. Угловое отклонение координат в виде широты, долготы и высоты определяется путём интегрирования показаний акселерометров. Алгоритмически ИНС состоит из курсовертикали и системы определения координат. Курсовертикаль обеспечивает возможность определения ориентации в географической системе координат, что позволяет правильно определить положение объекта. При этом в неё постоянно должны поступать данные о положении объекта. Однако технически система, как правило, не разделяется и акселерометры, например, могут использоваться при выставке





*Спасибо
за внимание!*