



СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

УДК 62-93

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТЫ ПОЛЕТА САМОЛЕТА

М.А. Епринцев, Н.С. Самсонова, В.В. Перлюк

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

В статье рассматриваются различные методы определения высот полета летательного аппарата. Рассматриваются различные виды высот полета летательного аппарата, а также методы определения этих высот, преимущества и недостатки этих методов. Проводится сравнительный анализ различных методов определения высоты по критериям точность и быстродействие.

Ключевые слова: летательный аппарат, высота, абсолютная высота, относительная высота, истинная высота, барометрический метод, радиотехнический метод, инерциальный метод, оптический метод.

Для цитирования:

Епринцев М.А., Самсонова Н.С., Перлюк В.В. Обзор существующих методов измерения высоты полёта самолёта // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №1(19), ISSN 2007-5687. – СПб.: ГУАП., 2019 – с.6-11. РИНЦ.

THE OVERVIEW OF EXISTING METHODS OF PLANE FLIGHT ALTITUDE MEASUREMENT

M.A. Eprintsev, N.S. Samsonova, V.V. Perluok

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The following article analyzes various methods of aircraft flight altitude definition. It analyzes various types of aircraft flight altitudes, as well as the methods of measurement of these altitudes. Comparative analysis of various methods of altitude measurement is conducted by the criteria of the execution speed and accuracy.

Keywords: aircraft, altitude, true altitude, relative hight, absolute altitude, barometric method, radio method, inertial method, optical method.

For citation:

Eprintsev M.A., Samsonova N.S., Perluok V.V. The overview of existing methods of place flight altitude measurement // System analysis and logistics.: №1(19), ISSN 2007-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2019 – p.6-11.

С момента первого полета самолета прошло более века. Современные самолеты сильно отличаются от тех, с которых начиналось зарождение авиации. С развитием технологии возрастает и требования, предъявляемые к приборам и системам.

Одним из важнейших параметров, используемых при управлении движением летательного аппарата, является текущая высота полета, т.е. вертикальное расстояние от летательного аппарата до некоего уровня отсчета. В зависимости от выбранного уровня высота полета может быть:

- Абсолютная – высота полета над уровнем моря. Эта высота нужна для решения задач эшелонирования, т.к. задает для всех самолетов одинаковый начальный уровень – уровень моря.
- Относительная – высота полета относительно места взлета и посадки. Нужна для того чтобы избежать столкновений с препятствиями в зоне взлета и посадки.
- Истинная – высота над пролетаемой местностью. Нужна для избежания столкновений в препятствиям на протяжении полета.



Наглядное представление перечисленных выше видов измеряемых высот полета представлено на рисунке 1.



Рис.1. Классификация высот полета

Во время полета пилоту необходимо знать все три вида высот. Однако измерить все высоты одним методом не представляется возможным, поэтому существует несколько различных методов определения каждой из этих высот.

Барометрический метод

Позволяет измерить абсолютную и относительную высоту полета. Основан на зависимости статического давления от высоты полета. Измеряя текущее статическое давление и сравнивая его с атмосферным давлением на уровне моря или с давлением у аэродрома взлета или посадки, используя гипсометрическую формулу (1,2), можно высчитать абсолютную и относительную высоты полета.

Гипсометрическая формула для высоты менее 11 километров:

$$H = \frac{T_0}{\tau} \cdot \left(1 - \left(\frac{P_H}{P_0}\right)^{R \cdot \tau}\right) \quad (1)$$

Гипсометрическая формула для высоты более 11 километров:

$$H = H_{11} + \frac{RT_{11}}{lge} \cdot \lg \frac{P_{11}}{P}, \quad (2)$$

где H – высота полета; T_0, P_0 – температура и давление у земли или на уровне моря; τ – градиент температуры. Параметр, учитывающий изменение температуры на $-6,5^\circ\text{C}$ с подъемом на каждый километр; P_H – статическое давление на высоте полета; R – универсальная газовая постоянная; H_{11} – высота полета в 11 км; T_{11} – температура на высоте 11 км; P_{11} – давление на высоте 11 км.

Методические погрешности данного метода: не позволяет учесть рельеф местности; ошибка, связанная с изменением температуры воздуха у поверхности земли и над уровнем моря после взлета; изменение средней температуры столба воздуха

К инструментальным погрешностям можно отнести неточность изготовления элементов баровысотомера, температурную погрешность (погрешность возникающая из-за изменений габаритов составных частей прибора в результате изменения температуры) уменьшение полезной силы потока воздуха с высотой при сохранении неизменной силы трения (влияет на определение статического давления), а также гистерезис при деформации чувствительного элемента прибора.



Радиотехнический метод

Позволяет измерить истинную высоту полета. Прибор для измерения высоты данным методом называется радиовысотомер (РВ). Делятся на РВ малых высот и на РВ больших высот. Как правило, на самолетах используются радиовысотомеры малых высот (0-700 м). Измерения проводятся при взлете и посадке, однако сама посадка осуществляется по баровысотомеру (по относительной высоте полета).

Радиовысотомер состоит из двух антенн: передатчика и приемника. Принцип действия прибора основан на измерении времени между отправленным на поверхность земли сигналом с антенны-передатчика и приемом отраженного сигнала антенной-приемником. Схематично принцип работы радиотехнического метода изображен на рисунке 2. Высота измеряется с помощью формулы (3).

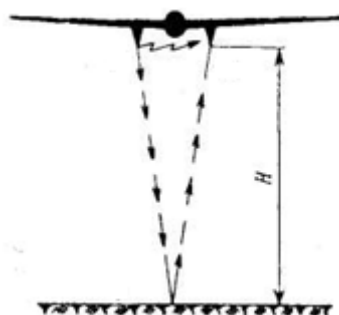


Рис.2. Схематичное изображение принципа работы радиотехнического метода определения истинной высоты полета

Формула определения высоты полета радиовысотомера:

$$H = c \frac{\tau}{2}, \quad (3)$$

где H – высота полета; c – скорость радиосигнала; τ – задержка между приемом и передачей сигнала.

Погрешность этого метода связана с радиопомехами и отражением сигнала от поверхности, особенно проявляется при полете над водой.

Инерциальный метод

Позволяет измерить относительную высоту полета относительно аэродрома взлета. Основан на измерении вертикальной составляющей ускорения, действующего на летательный аппарат с помощью акселерометра, и дальнейшего 2-х кратного интегрирования для нахождения высоты полета.

Методическая погрешность метода в том, что при двойном интегрировании возникает и накапливается ошибка измерения. Поэтому этот метод нуждается в корректировании.

Оптический метод

Позволяет измерить истинную высоту полета. Принцип работы оптического метода измерения высоты полета аналогичен методу работы радиовысотомера. Здесь передатчиком выступает лазер, а приемником – фоторезистор. По временному интервалу между включением лазера и приемом отраженного луча фоторезистором определяется высота по формуле, аналогичной формуле (3).



Другая реализация оптической системы основана на системе компьютерного зрения. Два или более лазера, отправляют световой сигнал на поверхность земли или воды. Система компьютерного зрения определяет расстояние между точками этих сигналов на снимке и, зная расстояние между точками этих сигналов на снимке и, зная расстояние между источниками сигнала, определяет расстояние до поверхности [1,2].

Оптический метод в отличие от радиотехнического, работает над водной поверхностью с достаточно высокой точностью, поэтому он нашел применение в конструкции экранопланов.

С помощью спутниковой навигационной системы

Позволяет измерить высоту относительно эллипсоида, используемого в качестве модели Земли или уровнем моря. В основе этого метода лежит измерение расстояния до нескольких (от 4-х) вещающих спутников, находящихся на специально корректируемых известных орбитах.

На основании математических вычислений прибор определяет широту и долготу места на модели Земли, а так же высоту над уровнем моря или над эллипсоидом. Для работы этого метода на борту должна находиться цифровая карта местности.

Для определения высоты этим методом достаточно трех спутников, число спутников увеличивается для увеличения точности значения. Точность этого метода так же зависит от состояния ионосферы. Этот метод точнее, чем барометрический метод определения абсолютной высоты, т.к. не зависит от атмосферного давления.

Однако недостатком метода является слишком большое время вычисления (до секунды).

В таблице 1 представлены результаты анализа методов измерения высот полета самолета по различным параметрам.

Таблица 1 – Анализ характеристик методов измерения высоты используемых в самолетах

Метод измерения	Быстродействие	Погрешность	Высоты	Автономность
Барометрический метод	Менее 0,5с	~10 м	0-20км	Автономен
Радиотехнический метод	Менее 0,5с	~1 м	0-0,7 км	Автономен
Инерциальный метод	Менее 0,5с	~10 м	Любые	Автономен
Оптический метод.	Менее 0,5с	~1м	0-0,2 км	Автономен
С помощью спутниковой навигационной системы	Свыше 0,5с	Для открытых систем: ~0,5м Для закрытых систем: ~0,01м	Любые	Требует связи со спутниковой системой

На рисунке 3 представлена классификация высот полета и методов их измерения.

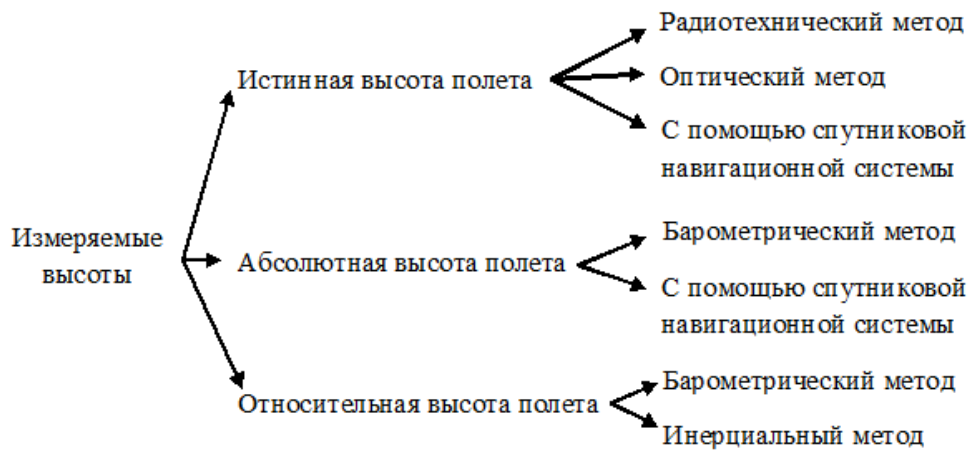


Рис.3. Высоты и методы их измерения

Существует множество способов определения всех высот полета самолета. Все они имеют свои преимущества и недостатки друг относительно друга. Поэтому в самолете реализуется сразу несколько методов определения высоты полета, что позволяет получить полную и довольно точную информацию, необходимую как для пилотирования летательного аппарата, так и для работ других систем самолета.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Боднер В.А.* Авиационные приборы. М.: Машиностроение, 1969.
2. *Воробьев В. Г.* Авиационные приборы и измерительные системы М. : Транспорт, 1981.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Епринцев Михаил Александрович –

студент кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А
E-mail: Noltar12@mail.ru

Самсонова Наталья Сергеевна –

студент кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

Перлюк Владимир Владимирович –

кандидат технических наук, доцент
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А
E-mail: perlvv@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Eprintsev Mikhail Alexandrovich –

student of the department of aerospace measuring and computing systems
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
SUAI, 67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: Noltar12@mail.ru

Samsonova Natalja Sergeevna –

student of the department of aerospace measuring and computing systems
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
SUAI, 67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

Perluok Vladimir Vladimirovich –

candidate of technical sciences, associate professor
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
SUAI, 67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: perlvv@mail.ru