Б. Ратц

Курс самолетовождения.

Часть 1. Картография

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 656
ББК 39.1
Б11

Б. Ратц
Б11 Курс самолетовождения.: Часть 1. Картография / Б. Ратц – М.: Книга по Требованию, 2013. – 168 с.

ISBN 978-5-458-38620-3

Курс самолетовождения.

ISBN 978-5-458-38620-3

ВВЕДЕНИЕ

Современное самолетовождение пользуется следующими основными способами навигации: компасной навигацией, радионавигацией и авиационной астрономией.

Компасная навигация, несмотря на все более широкое распространение радионавигационных и астрономических методов, остается пока еще основным методом самолетовождения. Даже в тех случаях, когда навигационная обстановка, т. е. условия видимости земли и небесной сферы, характер местности, время года и суток, высота полета, его скорость и дальность, состав экипажа, оборудование самолета, наконец, боевая задача полета, — даже в тех случаях, когда эти условия полета требуют и позволяют применение радио и астрономии, все же методы компасной навигации находят себе применение в той или иной форме и размерах.

Основным методом компасной навигации является прокладка (счисление) пути. Этот метод требует от экипажа знания, во-первых, направления движения, во-вторых, скорости полета относительно земли и, в-третьих, времени полета.

Если бы не было ветра, то задача прокладки пути была бы во много раз проще, чем это есть в действительности: курс самолета, воздушная скорость и время, найденные по приборам, давали бы возможность довольно быстро определять место самолета с точностью, зависящей от точности показания компаса, указателя воздушной скорости и часов. Однако наличие ветра сильно осложняет прокладку пути. Причины этого заключаются, во-первых, в том, что в полете ветер можно определить, за редким исключением, только при условии видимости земли, и, во-вторых, в том, что величина и направление ветра сильно изменяются во времени и в пространстве. Эти два обстоятельства делают прокладку пути настолько неточной, что обычно через 30—40 минут полета после определения места по земным ориентирам приходится его опять повторять. Чем дольше длится полет вне видимости земли без использования других методов аэронавигации, тем менее точно известно местоположение самолета. Таким образом, т о ч н о с т ь п р о к л а д к и п у т и з а в и с и т о т р а с с т о я н и я, пройденного с начала ее (прокладки) ведения. Этим отличается способ прокладки пути от всех других способов самолетовождения. Практически точность прокладки составляет 5—8% от пройденного расстояния. Например, для расстояния 300 *км* это составляет 15—25 *км*.

Другим методом компасной навигации является визуальная пеленгация, позволяющая определить расчетное место самолета с точностью, зависящей от дистанции до пеленгуемого ориентира. Считают, что точность визуальной пеленгации составляет 3—5% от дистанции. При дистанции 50 *км* это составляет 2—3 *км*. Метод этот, по ряду причин, получил весьма ограниченное применение.

Весьма мощным и все развивающимся средством самолетовождения является радионавигация. Если до последнего времени все методы радионавигации были основаны на измерении углов (азимутов, или пеленгов), то в последнее время получили распространение дистанционно-метрические методы определения позиционной линии самолета или его расчетного места, известные под названием радиолокационных методов.

Методы, основанные на измерении углов, или азимутальные методы, дают возможность определить расчетное место самолета с точностью, зависящей от дистанции до пеленгуемой радиостанции. Точность радиопеленгации составляет 3—10% от этой дистанции в зависимости от способа пеленгации и некоторых других причин. При дистанции 300 *км* это составляет 10—30 *км*.

Несмотря на сравнительно небольшую точность, какую дают азимутальные методы радионавигации на больших дистанциях, методы эти получили весьма широкое распространение, особенно в слепом самолетовождении, так как с помощью их самолет имеет возможность выйти к местоположению радиостанции с достаточной для практики точностью.

Радиолокационные, или дистанционно-метрические, способы радионавигации, основанные, как показывает название, на измерении дистанций от самолета до радиостанции, дают возможность определить позиционную линию самолета или его расчетное место с весьма большой степенью точности, что делает этот метод исключительно ценным, особенно для такой задачи военно-воздушных сил, как отыскание цели над территорией противника и выход на нее.

Точность, даваемая радиолокационными системами, определяется несколькими десятками метров и даже выше на дистанциях нескольких десятков и сотен километров. Такая высокая точность ставит новые проблемы перед другими областями навигационной науки, в частности перед картографией, долженствующей своей точностью составления карт не отставать от радиолокации.

Авиационная астрономия позволяет определять расчетное место самолета с точностью, не зависящей ни от взаимного расположения самолета и различных ориентиров на земле (например радиостанций), ни от времени полета, как это имеет место в методе прокладки пути. При помощи последних образцов секстантов можно получить расчетное место самолета с точностью 5—10 *км*.

Из сравнения всех описанных способов самолетовождения видно, что они далеко не равноценны и могут найти применение в полете только при определенной навигационной обстановке.

Искусство штурмана заключается в правильной оценке этой обстановки и, на основе этой оценки, в правильном и умелом использовании того или иного способа, дублировании различных способов.

Только умелое сочетание разных способов навигации в различной обстановке может служить залогом успешного выполнения полета в навигационном отношении.

ГЛАВА

ПОЗИЦИОННЫЕ ЛИНИИ НА ЗЕМЛЕ

§ 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЗЕМЛЕ

Земля по своей форме подходит к эллипсоиду, форма и величина которого определяются размерами его полуосей и **сжатием**. Величина сжатия $c = \frac{a-b}{a}$, где a и b — большая и малая полуоси эллипсоида.

Размеры полуосей, полученные различными исследователями, следующие:

	a	b	c
ЦНИИГА и К (советский эллипсоид) . .	6378,2 *км*	6356,9 *км*	1:298
По Бесселю	6 377,4 *км*	6 356,1 *км*	1:299
По Хейфорду (международное) . .	6 378,4 *км*	6 356,9 *км*	1:297

Для целей самолетовождения Землю принимают за шар, радиус которого определяют из условия равенства объемов земного сфероида и шара, т. е.

$$\frac{4}{3}\pi a^2 b = \frac{4}{3}\pi R^3,$$

откуда

$$R = \sqrt[3]{a^2 b}$$

Подставляя сюда значения a и b, получим приближенно $R = 6\,371$ *км.*

Положение любой точки на земной поверхности определяется географическими координатами: **широтой** φ и **долготой** λ (рис. 1).

Широта отсчитывается от 0 до 90° в обе стороны от экватора и получает наименование северной (N, Nord) или южной (S, Sud).

Для определения долготы один из меридианов принимают за начальный.

Большинством стран за начальный принят Гринвичский меридиан, проходящий через астрономическую обсерваторию в гор. Гринвиче (вблизи Лондона). На некоторых старых картах у нас ведут счет долгот от меридиана Пулково или о. Ферро. Долгота Пулково от Гринвича составляет:

$\lambda = 30°19'38'',55$ E, или приближенно $30°20'$ E;

долгота Ферро от Гринвича составляет:

$\lambda = 17°39'46'',05$ W, или приближенно $17°40'$ W.

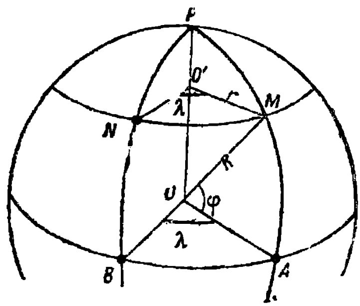

Рис. 1.

Для перехода от одного счета долгот к другому могут служить простые зависимости:

$$\lambda_{Гр} = 30°20' + \lambda_{Пулк};$$
$$\lambda_{Гр} = \lambda_{Фер} - 17°40'.$$

Долготу считают к востоку и к западу от начального меридиана от 0 до 180°; восточной долготе присваивается знак плюс (+) или E (East), а западной — знак минус (—) или W (West).

Длина дуги 1° меридиана (или экватора) приближенно может быть получена из соотношения:

$$n_{экв} = \frac{2\pi R}{360} \approx \frac{2\pi \cdot 6371}{360} \approx 111,18 \text{ км}.$$

Более точно: эта длина меняется в пределах от 110,56 *км* у экватора до 111,68 *км* у полюса.

Для получения длины дуги 1° параллели на какой-либо широте φ можно воспользоваться соотношением $n_{\varphi} = 111,18 \cos \varphi$, что следует из треугольника OMO' (см. рис. 1), так как $r = R \cos \varphi$, где r — радиус параллели.

Длины дуг в 1° меридиана и параллели на различных широтах даны в приложении 1.

Длина дуги земного меридиана приблизительно составляет 40 000 *км*, или километр равен $\frac{1}{40\,000}$ дуги меридиана.

Морская миля равна $1'$ дуги меридиана; следовательно,

$$1 \text{ морская миля} = \frac{2\pi R}{360 \cdot 60} \approx \frac{2\pi \cdot 6371}{360 \cdot 60} \approx 1,852 \text{ км}.$$

Так как длины дуг меридиана меняются от экватора к полюсу, то длина дуги $1'$ меридиана не всюду равна 1 852 *м* — ближе к экватору она несколько меньше, а к полюсу больше этой величины.

Перевод морских миль в километры и обратно см. в приложении 2.

Кабельтов равен $\frac{1}{10}$ морской мили, или 185 *м*.

Английская (статутная) миля равна 1,6 *км*.

В этих мерах длины оцифрованы все приборы на английских и американских самолетах (но не в морских милях!).

Перевод английских миль в километры и обратно см. в приложении 3.

§ 2. ОСНОВНЫЕ ЛИНИИ ПОЛОЖЕНИЯ

Дуга большого круга иначе называется в навигации ортодромией.

По ортодромии измеряется кратчайшее расстояние между двумя точками на земной поверхности.

Ортодромия составляет с меридианами различные, неравные между собой углы α_1, α_2, α_3... (рис. 2). Разница в этих углах при одной и той же длине ортодромии будет тем больше, чем ближе к полюсу расположена ортодромия.

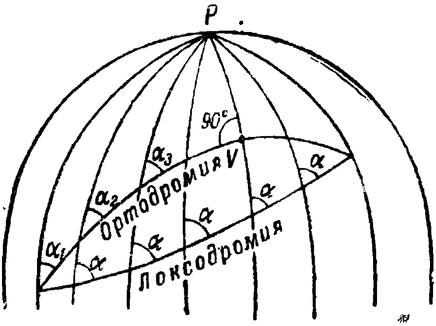

Рис. 2.

На ортодромии (или на ее продолжении) всегда можно найти точку, где ортодромия составляет с меридианом угол 90°. Такая точка называется вертексом (V). Из всех точек ортодромии вертекс имеет максимальную широту.

Линия, пересекающая меридианы под одинаковыми углами α, называется локсодромией (см. рис. 2). Локсодромия, как правило, длиннее ортодромии, но в некоторых частных случаях совпадает с ней, например, меридиан является одновременно ортодромической и локсодромической кривой. То же самое относится и к экватору. Более подробный анализ сравнения этих двух кривых дан в конце настоящего раздела.

Линией равных азимутов (ЛРА) называется кривая, из всех точек которой направление на одну какую-либо постоянную точку, считаемое по ортодромии, составляет с меридианами один и тот же угол $П$ (рис. 3). Эта кривая является линией возможных положений, т. е. позиционной линией самолета, пеленгующего какую-либо радиостанцию с помощью радиополукомпаса (радиокомпаса).

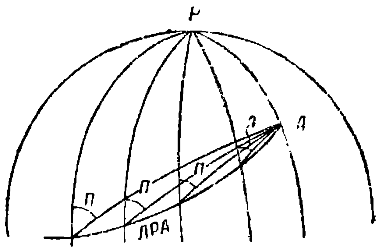

Рис. 3

М а л ы й к р у г[1] на земном шаре, являясь геометрическим местом точек, равноудаленных от одной точки — центра круга, используется в самолетовождении как позиционная линия самолета при астрономической и радиоориентировке.

Наконец, позиционной линией самолета при радионавигации могут быть г и п е р б о л а и э л л и п с.

Разберем подробнее каждую из указанных нами позиционных линий.

§ 3. ОРТОДРОМИЯ

Уравнение ортодромии

Как было уже сказано, ортодромия является дугой большого круга. На рис. 4 P — полюс земли, EQ — экватор, AB — ортодромия между точкой A, лежащей на экваторе, и точкой B с координатами φ и λ. Тогда из сферического треугольника PAB можно получить уравнение ортодромии.

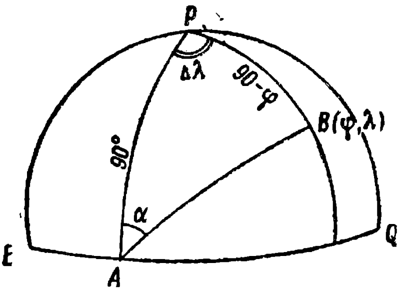

Рис. 4.

По формуле четырех элементов[2] имеем, принимая за четыре элемента угол α, сторону PA, угол $\Delta\lambda$ и сторону $(90-\varphi)$:

$$\cos PA \cdot \cos \Delta\lambda = \sin PA \cdot \operatorname{ctg} PB - \sin \Delta\lambda \cdot \operatorname{ctg} \alpha.$$

Так как $PA = 90°$, то получим:

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \Delta\lambda. \tag{1}$$

Здесь α — угол, который составляет ортодромия с меридианом в точке пересечения с экватором.

Уравнение (1) является уравнением ортодромии. Задаваясь разностью долгот $\Delta\lambda$ точки A и текущей точки, можно получать широту этой точки.

Ниже, при расчете промежуточных точек ортодромии (формула 7), дан другой вид уравнения ортодромии, в которое в качестве постоянных входят координаты вертекса.

Из уравнения (1) имеем:

при $\alpha = 0°, \sin \Delta\lambda = 0$, т. е. $\Delta\lambda = 0$ или $180°$.

Это значит, что при любой широте разность долгот точек ортодромии равна $0°$ или $180°$, т. е. ортодромия обращается в меридиан.

При $\alpha = 90°, \operatorname{tg} \varphi = 0°$, т. е. ортодромия обращается в экватор.

---

[1] Правильнее следует сказать м а л а я о к р у ж н о с т ь, но мы будем пользоваться принятым в навигации термином м а л ы й к р у г (так же, как и термином б о л ь ш о й к р у г).

[2] Формулы сферической тригонометрии даны в приложении 18.

При дальних перелетах основное направление полета прокладывается по ортодромии, которая разбивается на ряд участков. Внутри каждого из участков путь прокладывается по локсодромии (рис. 5), по которой уже совершается полет. Для разбивки ортодромии на участки необходимо как-то выбрать промежуточные точки.

Рис. 5.

Параллельно с этим определяют ортодромические путевые углы и расстояния. Вычисление всех этих элементов составляет предмет того, что обычно называют **расчетом ортодромии**, способов которого существует довольно много. Здесь мы разберем два аналитических способа расчета. В дальнейшем, при анализе некоторых проекций, мы укажем и на графические методы расчета ортодромии с помощью тех или иных проекций.

Ортодромический путевой угол

На рис. 6 A и B — точки с координатами φ_1, λ_1 и φ_2, λ_2, дуга AB — ортодромия, α — ортодромический путевой угол в точке A. Применим к сферическому треугольнику PAB формулу четырех элементов:

$$\sin PA \cdot \operatorname{ctg} PB - \sin(\lambda_2 - \lambda_1) \cdot \operatorname{ctg} \alpha = \cos PA \cdot \cos(\lambda_2 - \lambda_1),$$

или

$$\sin(90 - \varphi_1) \cdot \operatorname{ctg}(90 - \varphi_2) - \sin(\lambda_2 - \lambda_1) \cdot \operatorname{ctg} \alpha = \cos(90 - \varphi_1) \cdot \cos(\lambda_2 - \lambda_1),$$

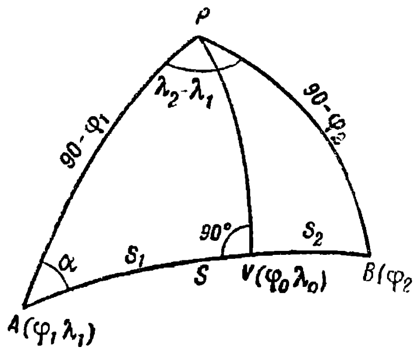

Рис. 6.

откуда

$$\operatorname{ctg} \alpha = \cos \varphi_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \cdot \operatorname{cosec}(\lambda_2 - \lambda_1) - \sin \varphi_1 \cdot \operatorname{ctg}(\lambda_2 - \lambda_1). \quad (2)$$

По этой формуле может быть вычислен ортодромический путевой угол.

Ортодромическое расстояние

Из рис. 6 имеем по теореме синусов:

$$\frac{\sin AB}{\sin(\lambda_2 - \lambda_1)} = \frac{\sin PB}{\sin \alpha},$$

откуда

$$\sin S = \frac{\cos \varphi_2 \cdot \sin(\lambda_2 - \lambda_1)}{\sin \alpha}. \quad (3)$$

Чтобы получить расстояние в километрах, необходимо после вычисления S по формуле (3) умножить его значение в минутах дуги на 1,852.

Вычисление ортодромического путевого угла по формуле (2) и расстояния по формуле (3) удобно производить по схеме (см. приложение 4).

Можно вычислить ортодромическое расстояние, не прибегая к формуле (2). По теореме для косинуса косоугольного треугольника имеем:

$$\cos AB = \cos PA \cdot \cos PB + \sin PA \cdot \sin PB \cdot \cos(\lambda_2 - \lambda_1),$$

откуда

$$\cos S = \sin\varphi_1 \cdot \sin\varphi_2 + \cos\varphi_1 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \cos(\lambda_2 - \lambda_1). \tag{4}$$

После получения S по формуле (4) необходимо умножить его значение в минутах дуги на 1,852 для перевода в километры. Вычисление удобно производить по схеме (см. приложение 5) в случаях, когда необходимо вычислить только ортодромическое расстояние. При необходимости же вычисления, параллельно с расстоянием, и ортодромического угла, удобнее воспользоваться схемой, данной в приложении 4.

Координаты промежуточных точек

1-й способ.

При этом способе можно получить промежуточные точки, задаваясь их долготами. Искомые широты определяются по соответствующей формуле.

Способ использует вспомогательную точку вертекса. По рис. 6 найдем координаты (φ_0, λ_0) вертекса из прямоугольного сферического треугольника PVA:

$$\sin PV = \sin PA \cdot \sin\alpha,$$

откуда

$$\cos\varphi_0 = \cos\varphi_1 \cdot \sin\alpha. \tag{5}$$

Из того же треугольника имеем:

$$\cos PA = \operatorname{ctg}(\lambda_0 - \lambda_1) \cdot \operatorname{ctg}\alpha,$$

откуда

$$\operatorname{ctg}(\lambda_0 - \lambda_1) = \sin\varphi_1 \cdot \operatorname{tg}\alpha. \tag{6}$$

По формулам (5) и (6), после предварительного определения α по формуле (2), определяются координаты вертекса.

Из прямоугольного треугольника PBV имеем:

$$\operatorname{tg} PV = \operatorname{tg} PB \cdot \cos VPB,$$

откуда

$$\operatorname{tg}\varphi = \operatorname{tg}\varphi_0 \cdot \cos(\lambda_0 - \lambda). \tag{7}$$

Давая различные значения долготам λ, по этой формуле можно получать соответствующие широты φ. Вычисление координат промежуточных точек по формулам (6) и (7) удобно производить по схеме, данной в приложении 6, после того как вычислен путевой угол по схеме приложения 4. Таким образом, полный расчет ортодромии может быть произведен по схемам, данным в приложениях 4 и 6.

2-й способ.

Способ позволяет вычислять координаты промежуточных точек, выбранных, как это нам угодно, например, через определенные расстояния по ортодромии или через расстояния по ортодромии, соответствующие изменению путевого угла на 1°.

1) Объединяя формулы (2) и (6), получим:

$$\operatorname{tg}(\lambda_0-\lambda_1)=\operatorname{tg}\varphi_2\cdot\operatorname{ctg}\varphi_1\cdot\operatorname{cosec}(\lambda_2-\lambda_1)-\operatorname{ctg}(\lambda_2-\lambda_1). \qquad (8)$$

2) Из треугольника PAV имеем:

$$\operatorname{tg} PV=\operatorname{tg} PA\cdot\cos APV,$$

откуда

$$\operatorname{tg}\varphi_0=\operatorname{tg}\varphi_1\cdot\sec(\lambda_0-\lambda_1). \qquad (9)$$

Формулы (8) и (9) служат для определения координат вертекса.

3) Из треугольника PBV имеем:

$$\operatorname{tg} BPV=\frac{\operatorname{tg} BV}{\sin PV},$$

откуда

$$\operatorname{tg} S=\operatorname{tg}(\lambda_0-\lambda)\cdot\cos\varphi_0. \qquad (10)$$

По этой формуле можно вычислить расстояние по ортодромии от точки с долготой λ до вертекса. Если весь маршрут полета лежит по одну сторону от вертекса (рис. 7), то после вычисления по формуле (10) $S_1=AV$ и $S_2=BV$, находят искомое расстояние S как разность S_1 и S_2, т. е.

$$S=S_1-S_2.$$

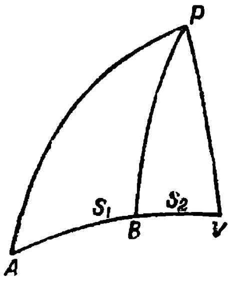

Рис. 7.

Если же маршрут проходит через вертекс, то

$$S=S_1+S_2.$$

4) После вычисления расстояния S по формуле (10), эту же формулу можно использовать в другом виде:

$$\operatorname{ctg}(\lambda_0-\lambda)=\operatorname{ctg} S\cdot\cos\varphi_0. \qquad (11)$$

Задаваясь определенными, обычно равными, промежутками по ортодромии S, начиная от места вылета, вычисляют долготы соответствующих точек.