

Аналитическое счисление.
Аналитический учет течения.

Сущность аналитического
счисления и вывод основных
формул.

Таблицы аналитического счисления
и его точность.

Аналитическое счисление – вычисление географических координат судна по его курсу и плаванию (по сделанным судном разностям широт и долгот) по формулам вручную или с помощью счетно-решающих устройств.

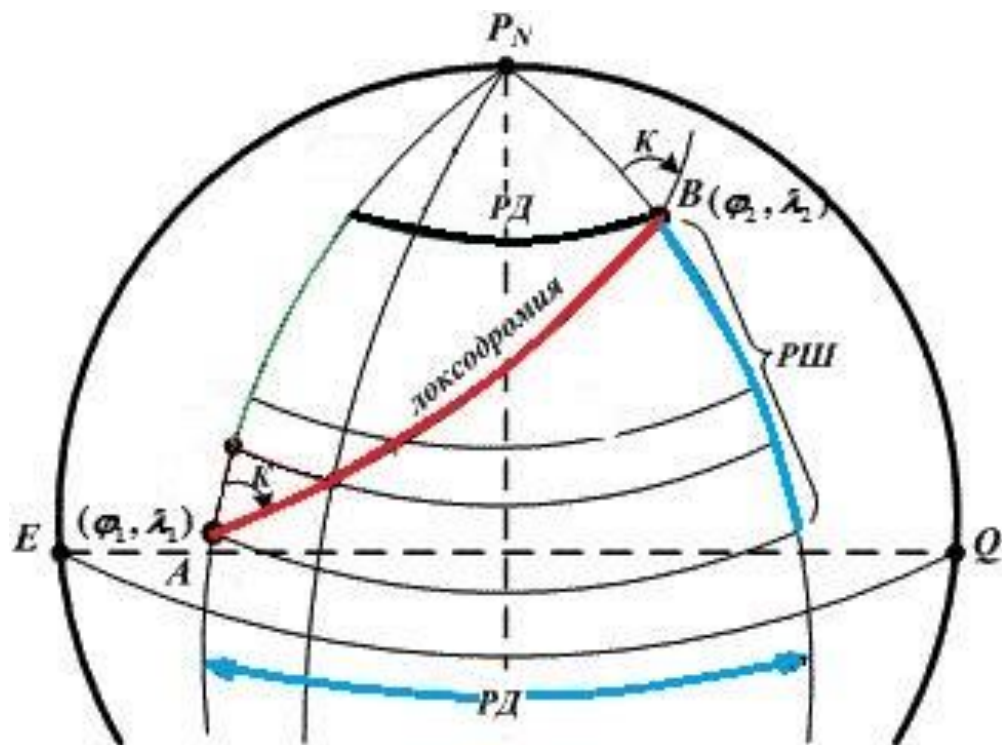
Аналитическое, или письменное, счисление применяется: при океанских переходах, когда отсутствуют крупномасштабные карты; при решении астрономических задач по определению места судна по Солнцу; во всех случаях, когда по какой-либо причине ведение графического счисления затруднено.

Формулы аналитического счисления нашли широкое применение и во многих других вопросах навигации.

Аналитическое счисление с помощью автоматических счетно-решающих устройств производится по формулам с учетом сжатия Земли.

В простейших системах решаются формулы без учета сжатия Земли.

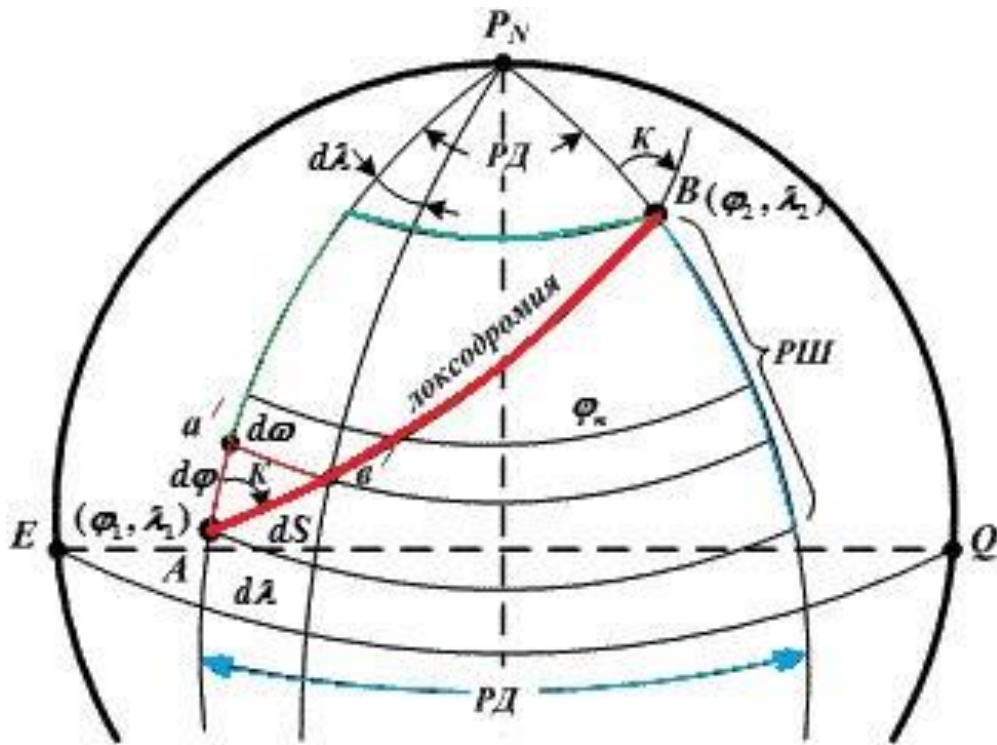
1. Вывод формул аналитического счисления



Судно из точки А ($\phi_1 \lambda_1$), следуя постоянным курсом (К) по локсодромии, пришло в точку В ($\phi_2 \lambda_2$).

Если будут известны сделанные судном разность широт (РШ) и разность долгот (РД) то координаты точки В ($\phi_2 \lambda_2$) легко получить из соотношений:

$$\left. \begin{aligned} \phi_2 &= \phi_1 + PШ \\ \lambda_2 &= \lambda_1 + PД \end{aligned} \right\}$$



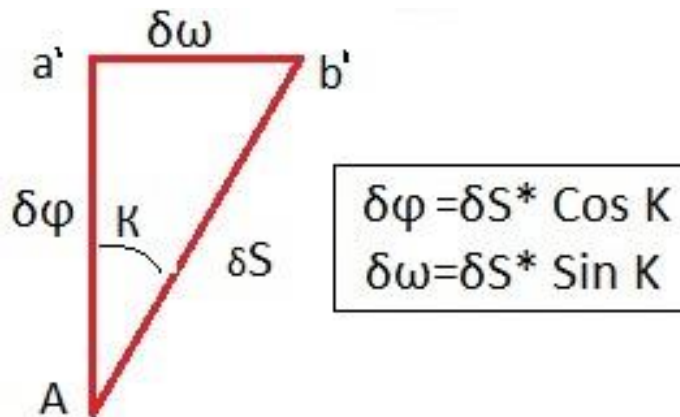
Считая Землю за сферу (шар) из элементарно малого треугольника $Aa'b'$:

$Aa' = \delta\phi$ – разность широт (мили)

$b'a' = \delta\omega$ – расстояние между меридианами по параллели от a' до b' – отстояние (мили)

$Ab' = \delta S$ – плавание судна по локсодромии между точкой A и точкой b' (мили)

Если $\Delta Aa'b'$ принять за плоский, можно написать дифференциальные уравнения:



В результате интегрирования значений $\delta\varphi$ и $\delta\omega$ при $K = \text{const}$, получим:

$$\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} d\varphi = \cos K \int_0^S dS \quad \longrightarrow \quad \left. \begin{aligned} \varphi_2 - \varphi_1 &= S \cdot \cos K \\ PIII &= S \cdot \cos K \end{aligned} \right\}$$

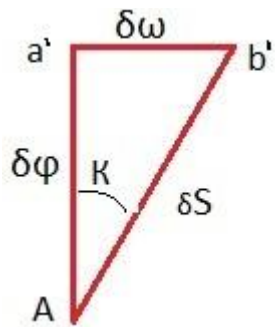
$$\int_0^{\omega} d\omega = \sin K \int_0^S dS \quad \longrightarrow \quad \omega = S \cdot \sin K$$

Для вычисления значения разности долгот – РД, воспользуемся соотношением между длиной дуги экватора и параллели:

$$d\lambda = \frac{d\omega}{\cos \varphi}$$

Умножим числитель $\delta\omega$ и знаменатель ($\cos \varphi$) на $\delta\varphi$, тогда

$$d\lambda = \frac{d\omega \cdot d\varphi}{d\varphi \cdot \cos \varphi}$$



так как из $\Delta Aa'b'$ $\frac{d\omega}{d\varphi} = \text{tg}K$ Т
О

$$d\lambda = \text{tg}K \cdot \frac{d\varphi}{\cos\varphi}$$

Решение этого уравнения приводит к известному интегралу:

$$\lambda_2 - \lambda_1 = \text{tg}K \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{d\varphi}{\cos\varphi} \quad \text{а} \quad \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{d\varphi}{\cos\varphi} = \text{РМЧ} \quad \text{ТОГД}$$

а

$$\text{РД} = \text{РМЧ} - \text{tg}K \quad (1)$$

Для вывода прямой связи между отшествием (ОТШ) и разностью долгот (РД), используем теорему о среднем значении интеграла, которая дает:

$$\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{d\varphi}{\cos \varphi} = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{\cos \varphi_n} = \frac{PШ}{\cos \varphi_n}$$

где φ_n – промежуточное значение широты в интервале между φ_1 и φ_2 .

Тогда для разности долгот – РД можно написать

$$РД = tgK \cdot \frac{PШ}{\cos \varphi_n} \quad (2)$$

Приравняв оба значения разности долгот (РД), полученного по формулам (1) и (2), получим значение промежуточной широты φ_n :

$$PМЧ \cdot tgK = tgK \cdot \frac{PШ}{\cos \varphi_n} \quad \longrightarrow \quad \cos \varphi_n = \frac{PШ}{PМЧ}$$

Подставив значение $\cos \varphi_n$ в формулу (2) для разности долгот (РД) и учтя, что

$$ОТШ = PШ \cdot tgK \quad \text{окончательно} \\ \text{получим:}$$

$$РД = \frac{ОТШ}{\cos \varphi_n} = ОТШ \frac{PМЧ}{PШ} \quad (3)$$

где отшествие (ОТШ) и разность широт (PШ) в милях.

Таким образом отстояние (ОТШ) представляет собой длину параллели (в милях) между меридианами точек А и В, широта которой (параллели) определяется соотношением

$$\varphi_{\text{ш}} = \arccos \frac{P_{\text{Ш}}}{P_{\text{МЧ}}}$$

На практике, при ведении аналитического учета на коротких расстояниях, можно допустить, что в интервале от φ_1 до φ_2 значение $\cos \varphi$ изменяется линейно, тогда

$$\varphi_{\text{ш}} \approx \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} = \varphi_{\text{ср}}$$

и приближенная формула для расчета разности долгот – РД примет вид:

$$P_{\text{Д}} = \frac{O_{\text{ТШ}}}{\cos \varphi_{\text{ср}}}$$

т.о. разность долгот (РД) равна отстоянию (ОТШ), деленному на косинус средней широты $\varphi_{\text{ср}}$.

По формулам

$$\left. \begin{array}{l} \varphi_2 - \varphi_1 = S \cdot \cos K \\ PШ = S \cdot \cos K \end{array} \right\} \quad \omega = S \cdot \sin K$$

составлены таблица 24 «МТ-75» и таблица 2.19а «МТ-2000» «Разность широт и отстояние».

В этих таблицах по плаванию S (от 0 до 100 миль) и курсу (через 1°) можно получить готовые значения разности широт (РШ) и отстояния (ОТШ), величины которых даны в таблице до сотых долей мили и поэтому могут быть использованы для плаваний (S) в 10 и 100 раз больших (или меньших) переносом запятой см. табл. 17.8.

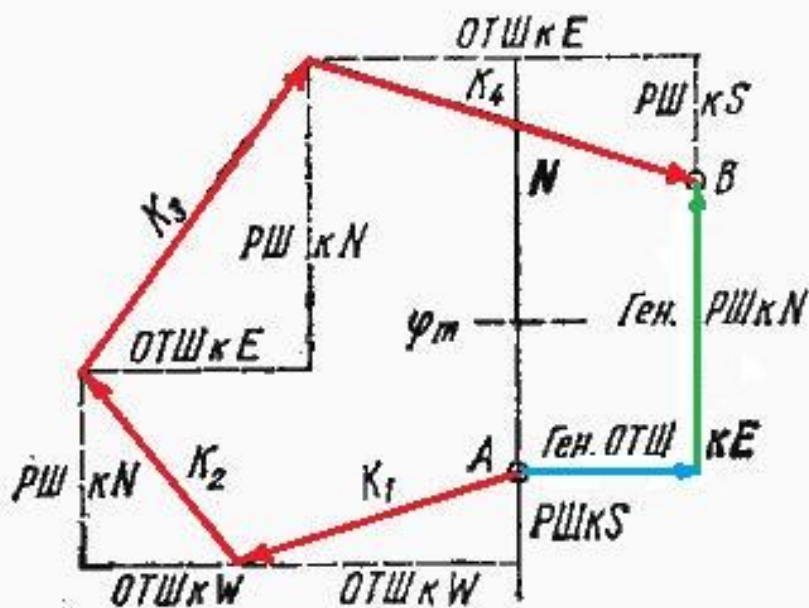
В «МТ-75» помещена также специальная таблица 25а «Разность долгот» составленная по формуле:

$$РД = \frac{ОТШ}{\cos \varphi_m}$$

Аналогичная таблица 2.20 – «МТ-2000»

2. Составное счисление

Составным счислением, будет называться счисление, когда судно совершает плавание несколькими курсами, но штурману не нужно знать координаты всех промежуточных точек, а необходимо лишь вычислить координаты точки пришествия.



Последовательность действий в этом случае такова: рассчитав по формулам или выбрав из таблиц для каждого курса РШ и ОТШ со своими знаками, находят их алгебраические суммы, которые называются генеральной разностью широт (Ген РШ) и генеральным отшествием (Ген ОТШ).

При этом необходимо иметь в виду, что знак отшествия определяется следующим образом: если составляющая движения судна по параллели направлена к востоку, то знак отшествия «+», и наоборот «-».

Расчеты ведутся по формулам:

$$\text{Ген РШ} \cdot \sum_1^n \text{РШ}_i;$$

$$\text{Ген ОТШ} \cdot \sum_1^n \text{ОТШ}_i; \quad \psi_2 = \psi_1 \cdot \text{Ген РШ};$$

Если при плавании учитывается дрейф судна от ветра, то в формулы

$$\mathbf{PШ=S*\cos K. \text{ и } \mathbf{ОТШ=S*\sin K}$$

вместо ИК надо подставлять ПУ α . Это же касается и использования таблицы 24 МТ — 75.

Если же в районе плавания действует постоянное течение, то его учитывают как еще один дополнительный курс.

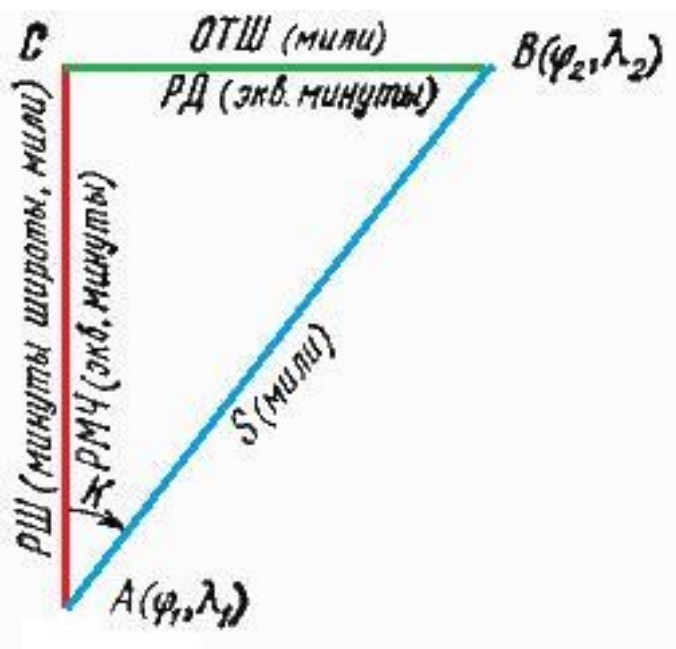
При этом за курс принимается направление течения, а за плавание — снос течением S_T за время его действия t , т.е.

$$\mathbf{S_T = V_T t.}$$

Формулы аналитического счисления позволяют не только находить координаты конечного пункта, но и решать различные другие задачи.

Так, зная координаты начального и конечного пунктов, можно вычислить расстояние между ними и курс для перехода в конечный пункт.

Формулы легко можно вывести из треугольника ABC



$$S = PШ \sec K$$

$$K$$

$$S = ОТШ \operatorname{cosec} K$$

$$\operatorname{tg} K =$$

$$PД / PМЧ$$

3. Точность аналитического счисления

Аналитическое вычисление координат по формулам или таблицам исключает погрешности графических построений на карте, но не исключает погрешностей в поправках компаса и лага, а также погрешностей, вызванных неточным учётом дрейфа от ветра и сноса течением.

Поэтому, все, что было сказано о точности графического счисления, полностью относится и к аналитическому счислению, за исключением графических погрешностей при прокладке. Сами формулы аналитического счисления точны в том случае, если Землю принимать за сферу

$$M_c = \sqrt{m_{рш}^2 + m_{отш}^2}$$

где $m_{рш}$ - скп в разности широт,

$m_{отш}$ - скп в отшествии.

Обе эти погрешности зависят от погрешностей в курсе (пути) - m_K и в пройденном расстоянии - m_S

$$m_{рш} = \sqrt{(m_S \cos K)^2 + (m_K S \sin K)^2}$$

$$m_{отш} = \sqrt{(m_S \sin K)^2 + (m_K S \cos K)^2}$$

Кроме того, на точность аналитического счисления могут оказывать влияние погрешность от замены промежуточной широты φ_n средней φ_m и погрешность от пренебрежения учетом сфероидичности Земли.

Погрешность долготы, обусловленная заменой промежуточной широты средней арифметической широтой, выражается формулой

$$\Delta = \omega \operatorname{tg} \varphi_m \operatorname{sec} \varphi_n \sin (\varphi_n - \varphi_m).$$

Расчеты по этой формуле показывают, что для $\omega = 100$ миль и разности широт 8° на широтах до 50° погрешность долготы не превышает $1'$.

При плавании в высоких широтах замена промежуточной широты средней допускается при $S < 100$ миль.

Для учета сфероидичности Земли при аналитическом счислении следует воспользоваться табл. 25-в МТ-75. Для вычисления $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ с учетом сфероидичности Земли, служат формулы

$$\left. \begin{aligned} \Delta\varphi &= \Delta\varphi_{\text{табл}} + \frac{\Delta\varphi_{\text{табл}}}{100} f; \\ \Delta\lambda &= \Delta\lambda_{\text{табл}} + \frac{\Delta\lambda_{\text{табл}}}{100} g, \end{aligned} \right\}$$

где $\Delta\varphi_{\text{табл}}$ и $\Delta\lambda_{\text{табл}}$ – из табл. 24. 25-а МТ-75
коэффициенты f и g , приведенные в табл. 25-в МТ-75, увеличены в 100 раз.

Аргументами для входа в табл. 25-в служат:

для получения коэффициента f — средняя широта φ_m ,

для получения коэффициента g — средняя широта φ_m и разность широт $\Delta\varphi$.

Практика мореплавания обязывает вахтенного штурмана использовать любую возможность для определения места судна и на основе выполненного анализа счисления и обсервации докладывать капитану о необходимости изменения курса и переноса счисления в обсервованную точку. Вопрос о коррекции счисления должен приниматься на основе штурманского правила:

«Считай себя ближе к опасности»