

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.

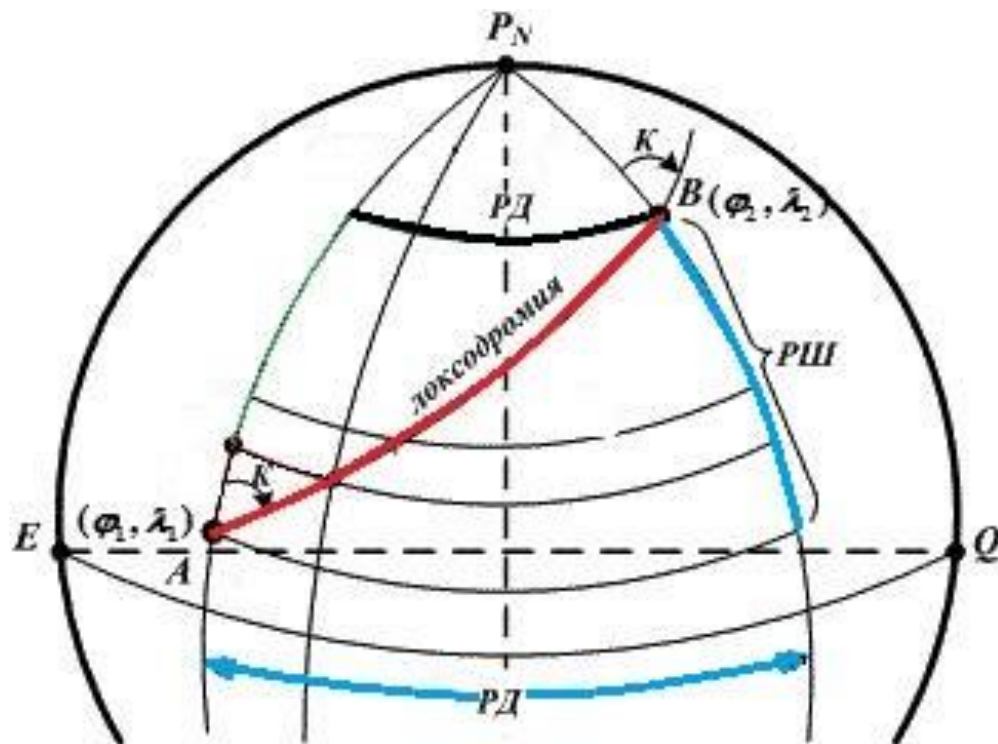
Аналитическое, или письменное, счисление применяется: при океанских переходах, когда отсутствуют крупномасштабные карты; при решении астрономических задач по определению места судна по Солнцу; во всех случаях, когда по какой-либо причине ведение графического счисления затруднено.

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.

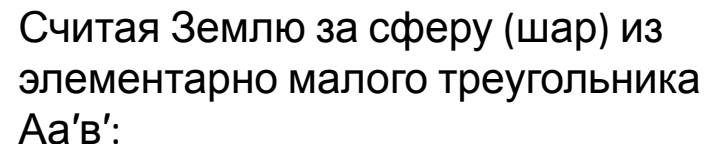
1. Вывод формул аналитического счисления



Судно из точки A ($\varphi_1 \lambda_1$), следуя постоянным курсом (K) по локсодромии, пришло в точку B ($\varphi_2 \lambda_2$).

Если будут известны сделанные судном разность широт ($PШ$) и разность долгот ($PД$) то координаты точки B ($\varphi_2 \lambda_2$) легко получить из соотношений:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_2 &= \varphi_1 + PШ \\ \lambda_2 &= \lambda_1 + PД \end{aligned} \right\}$$



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

Ab' = δS -плавание судна по
локсодромии между точкой А и
точкой b' (мили)

A right-angled triangle is shown with vertices labeled a' (top-left), b' (top-right), and A (bottom-left). The vertical side $a'A$ is labeled $\delta\varphi$. The horizontal side $a'b'$ is labeled $\delta\omega$. The hypotenuse $A b'$ is labeled δS . The angle at vertex a' between the vertical side and the hypotenuse is labeled K .

$$\delta\varphi = \delta S^* \cos K$$

$$\delta\omega = \delta S^* \sin K$$

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

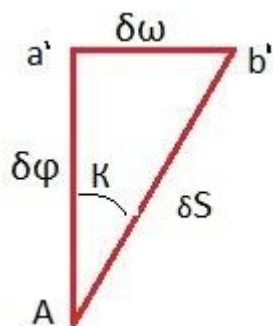
$$\left. \begin{aligned} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} d\varphi &= \cos K \int_0^S dS & \longrightarrow & \left. \begin{aligned} \varphi_2 - \varphi_1 &= S \cdot \cos K \\ PIII &= S \cdot \cos K \end{aligned} \right\} \\ \int_0^{\omega} d\omega &= \sin K \int_0^S dS & \longrightarrow & \omega = S \cdot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

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

$$d\lambda = d\omega / \cos \varphi$$

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

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



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

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

Решение этого уравнения приводит к известному интегралу:

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

$$P\lambda = PМЧ \cdot \operatorname{tg} K \quad (1)$$

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 :

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

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

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

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

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

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

$$\varphi_n = \arccos \frac{P_{III}}{P_{IV}}$$

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

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

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 $\phi_{\text{ср}}$.

По формулам

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

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.

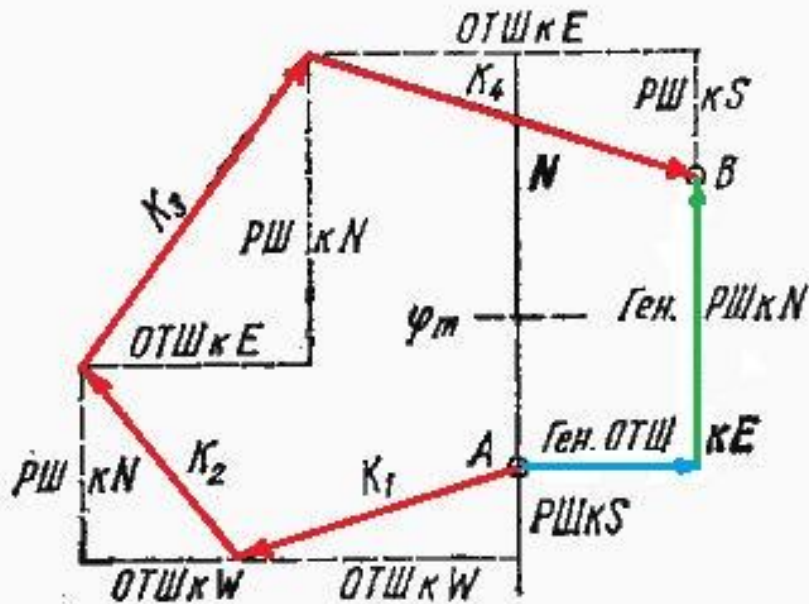
В «МТ-75» помещена также специальная таблица 25а «Разность долгот» составленная по формуле:

$$PД = \frac{ОТШ}{\cos \varphi_{\text{м}}}$$

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:

$$\text{Ген РШ} = \sum_{i=1}^n \text{РШ}_i;$$

$$\text{Ген ОТШ} = \sum_{i=1}^n \text{ОТШ}_i; \quad \varphi_2 = \varphi_1 + \text{Ген РШ};$$

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

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

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.

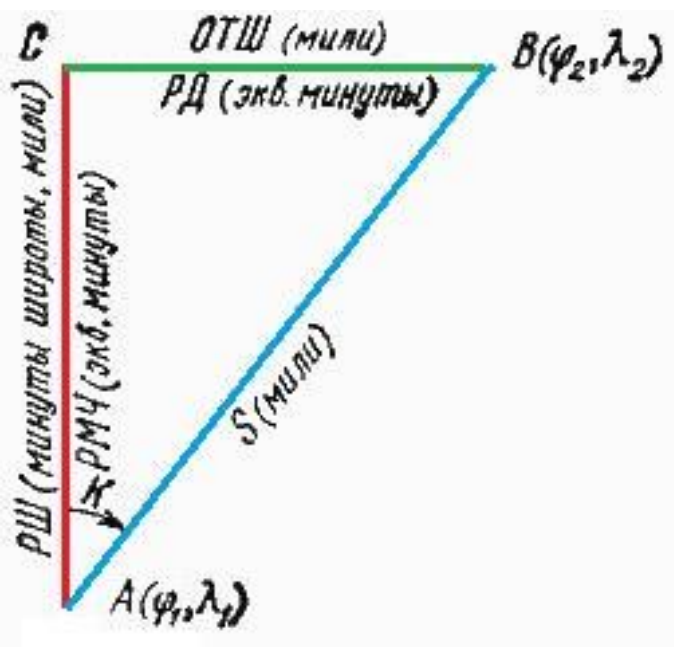
При этом за курс принимается направление течения, а за плавание — снос течением S_T за время его действия t , т.е.

$$S_T = V_T t.$$

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



$$S = PШ \sec K$$

$$S = ОТШ \operatorname{cosec} K$$

$$\operatorname{tg} K = \frac{РД}{РМЧ}$$

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

$$M_c = \sqrt{m_{\text{рш}}^2 + m_{\text{отш}}^2}$$

где $m_{\text{рш}}$ - скп в разности широт,

$m_{\text{отш}}$ - скп в отшествии.

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

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

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

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

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

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»