Аналитическое счисление. Аналитический учет течения. Сущность аналитического счисления и вывод основных формул. Таблицы аналитического счисления и его точность.

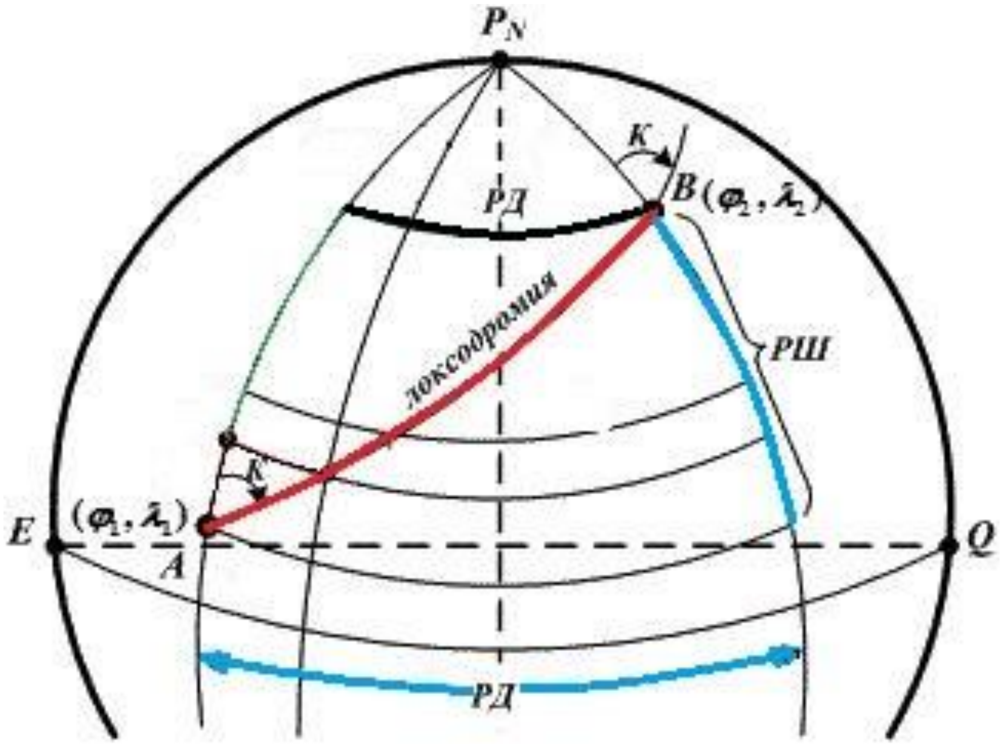
Аналитическое счисление – вычисление географических координат судна по его курсу и плаванию (по сделанным судном разностям широт и долгот) по формулам вручную или с помощью счетно-решающих устройств.

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.

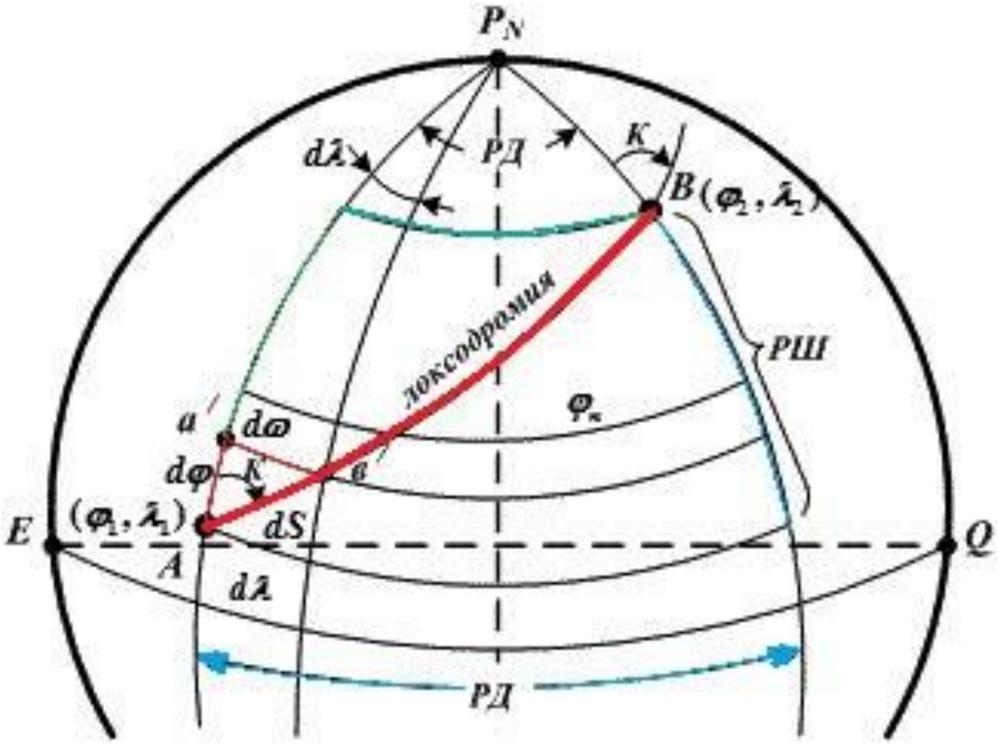
1. Вывод формул аналитического счисления



Судно из точки А (ϕ1 λ1), следуя постоянным курсом (К) по локсодромии, пришло в точку В (ϕ2 λ2).

Если будут известны сделанные судном разность широт (РШ) и разность долгот (РД) то координаты точки В (ϕ2 λ2) легко получить из соотношений:

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



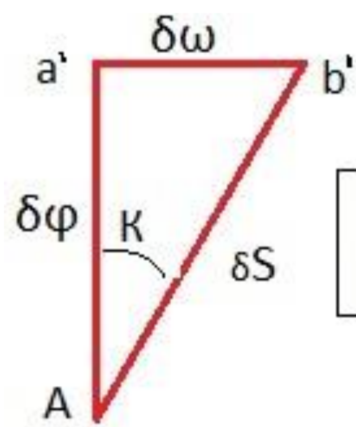
Считая Землю за сферу (шар) из элементарно малого треугольника Аа′в′:

Аа′ = δφ – разность широт (мили)

b′a′ = δω -расстояние между меридианами по параллели от а′ до b′ -отшествие (мили)

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

Если Δ Аа′в′ принять за плоский, можно написать дифференциальные уравнения:



$$\delta\varphi = \delta S * \cos K$$
$$\delta\omega = \delta S * \sin K$$

В результате интегрирования значений δφ и δω при К = const, получим:

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

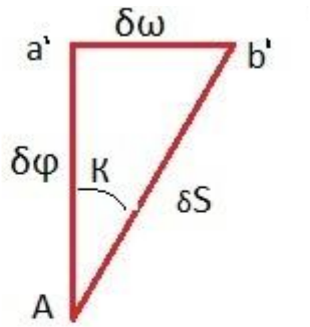
$$\int_0^{\omega} d\omega = \sin K \int_0^S dS \quad \Longrightarrow \quad \omega = S \cdot \sin K$$

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

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

Умножим числитель δω и знаменатель (cos φ) на δφ, тогда

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



так как из Δ Aa′в′ $d\omega / d\varphi = tgK$ т
о

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

Решение этого уравнения приводит к известному интегралу:

$$\lambda_2 - \lambda_1 = tgK \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{d\varphi}{\cos\varphi}$$ а $$\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{d\varphi}{\cos\varphi} = РМЧ$$ тогд
а

$$РД = РМЧ \cdot tgK \qquad (1)$$

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

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

где ϕn – промежуточное значение широты в интервале между ϕ1 и ϕ2.
Тогда для разности долгот – РД можно написать

$$РД = tgK \cdot \frac{РШ}{\cos\varphi_n} \qquad (2)$$

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

$$РМЧ \cdot tgK = tgK \cdot \frac{РШ}{\cos\varphi_n} \Rightarrow \cos\varphi_n = \frac{РШ}{РМЧ}$$

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

$$ОТШ = РШ \cdot tgK$$ окончательно получим:

$$РД = \frac{ОТШ}{\cos\varphi_n} = ОТШ \frac{РМЧ}{РШ} \qquad (3)$$

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

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

$$\varphi_{ч} = arc\cos\frac{РШ}{РМЧ}$$

На практике, при ведении аналитического учета на коротких расстояниях, можно допустить, что в интервале от ϕ1 до ϕ2 значение cos ϕ изменяется линейно, тогда

$$\varphi_{ч} \approx \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} = \varphi_{м}$$

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

$$РД = \frac{ОТШ}{\cos\varphi_{м}}$$

т.о. разность долгот (РД) равна отшествию (ОТШ), деленному на косинус средней широты фср.

По формулам

$$\left.\begin{aligned}\varphi_2-\varphi_1&=S\cdot\cos K\\ РШ&=S\cdot\cos K\end{aligned}\right\}\qquad \omega=S\cdot\sin K$$

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

В этих таблицах по плаванию S (от 0 до 100 миль) и курсу (через 1°) можно получить готовые значения разности широт (РШ) и отшествия (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.

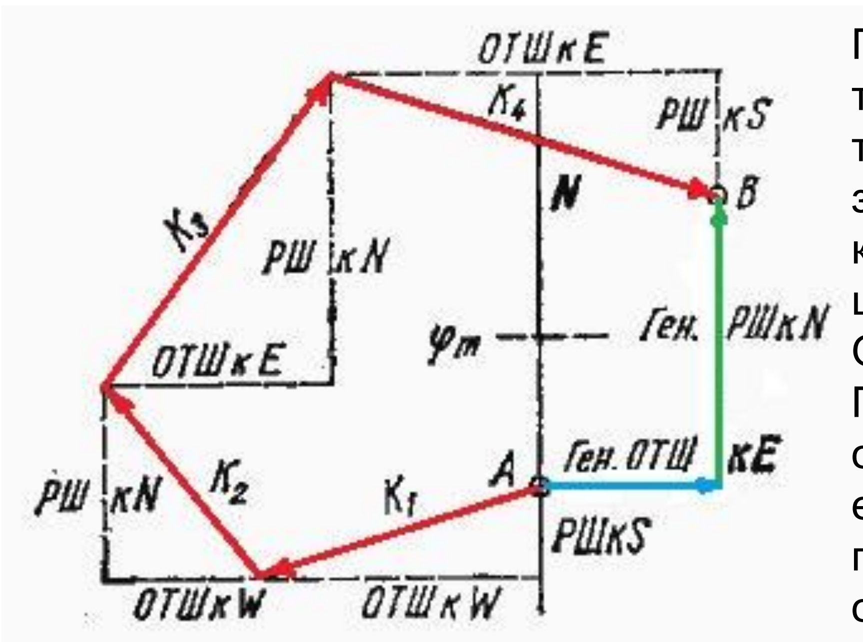
В «МТ-75» помещена также специальная таблица 25а «Разность долгот» составленная по формуле:

$$РД=\frac{ОТШ}{\cos\varphi_м}$$

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:

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

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

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 ПУα. Это же касается и использования таблицы 24 МТ — 75.

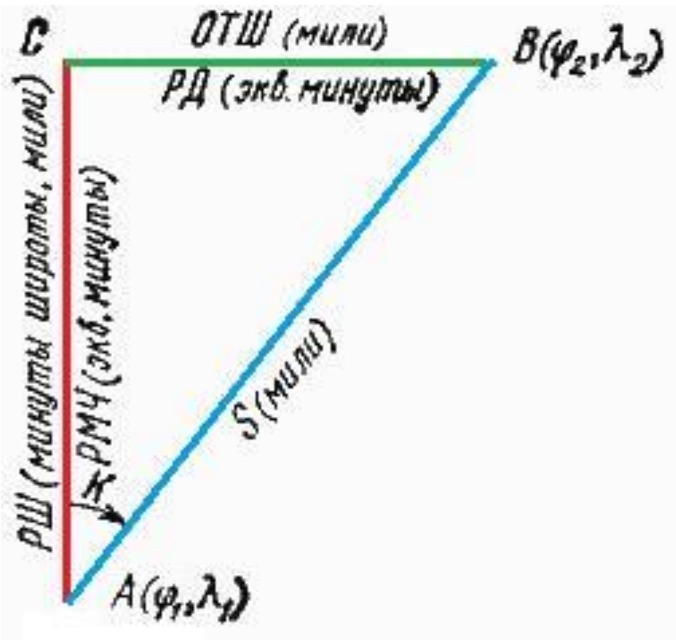
Если же в районе плавания действует постоянное течение, то его учитывают как еще один дополнительный курс.
При этом за курс принимается направление течения, а за плавание — снос течением S_T за время его действия t, т.е.

$$S_T = V_T\ t.$$

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 АВС



S = РШ sec К

S = ОТШ cosec К

tg К = 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

Среднюю квадратическую погрешность аналитического счисления можно вычислить по формуле

$$M_c = \sqrt{m_{рш}^2 + m_{отш}^2}$$

где $m_{рш}$ - скп в разности широт,
$m_{отш}$ - скп в отшествии.
Обе эти погрешности зависят от погрешностей в курсе (пути) - mк и в пройденном расстоянии - ms

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

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

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

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

Расчеты по этой формуле показывают, что для ω = 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-b МТ-75. Для вычисления $\Delta\phi$ 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 $\Delta\phi_{\text{табл}}$ и $\Delta\lambda_{\text{табл}}$ – из табл. 24. 25-а МТ-75
коэффициенты f и g, приведенные в табл. 25-b МТ-75, увеличены в 100 раз.

Аргументами для входа в табл. 25-b служат:
для получеия коэффициента f— средняя широта ϕm,
для получения коэффициента g — средняя широта ϕm и разность широт $\Delta\phi$.

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»