Точность графического счисления при совместном учете течения и дрейфа.
Коэффициент счисления.
Дискретность обсервации.

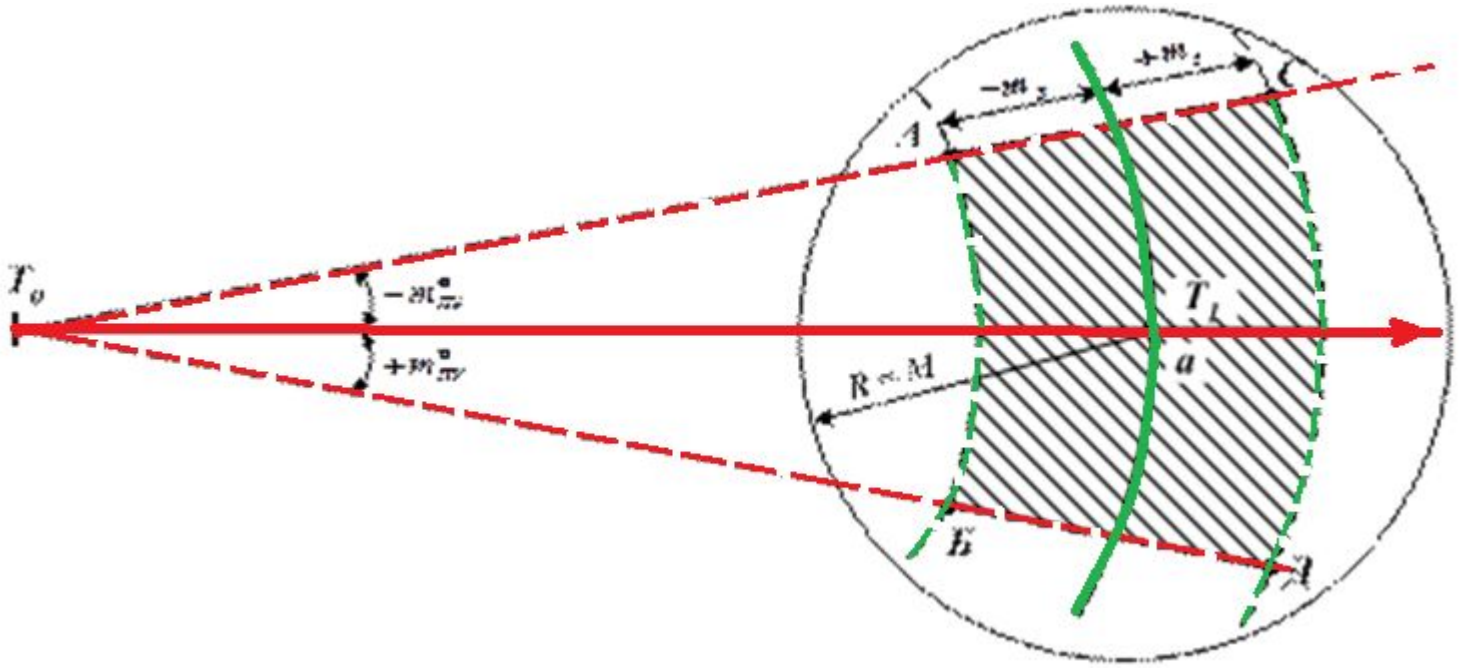
1. Точность графического счисления

Возможные погрешности в значениях элементов счисления, углах сноса и дрейфа, поправках компаса и лага, а также погрешности графических построений на карте, постепенно накапливаясь, приводят к тому, что действительное место судна не совпадает с нанесенным на карту. Все погрешности можно разбить на две группы: допущенные при определении пути судна и при расчете пройденного расстояния (погрешностями графических построений пренебрегаем ввиду их малости).

Штурман должен уметь произвести оценку точности графического счисления

Погрешности можно разбить на две группы:
- погрешности, допущенные при определении пути судна,
- погрешности, допущенные при расчете пройденного расстояния.

Погрешности первой группы вызовут смещение на величину b погрешности второй группы — на величину a. Величины a и b вызваны средними квадратичными погрешностями (СКП) путевого угла ($m_{ПУ}$), поправки лага ($m_{\Delta л\%)}$ и пройденного расстояния (m_s).



Учтя все погрешности, влияющие на путевой угол и все погрешности, влияющие на пройденное судном расстояние, можно получить СКП путевого угла ($m_{ПУ}$) и СКП пройденного судном расстояния (m_S).

Под воздействием этих погрешностей ($m_{ПУ}$ и m_S) счислимое место судна на какой-то момент времени Т1 будет располагаться не в конкретной точке (т. а), а в пределах некоторой площади (заштриховано), но где именно – заранее не известно.

Это объясняется тем, что величина и знак абсолютного изменения путевого угла (ΔПУ) и пройденного расстояния (ΔS) проявляются как случайные величины.

Среднестатистические погрешности основных элементов счисления показаны в таблице 4.4 **МТ-2000**.

Величины a и b вызваны средними квадратичными погрешностями (СКП) путевого угла ($m_{ПУ}$), поправки лага ($m_{\Delta л\%}$) и пройденного расстояния (m_s). Расчитываютс

$$b = \frac{m^0_{ПУ} S}{57{,}3^0}, \qquad a = \frac{S m_{\Delta л\%}}{100}. \qquad (1)$$

Площадь возможного нахождения места судна можно охарактеризовать, эллипсом, который можно описать вокруг фигуры АБСД и окружностью с радиусом Мс.

В практике судовождения для оценки точности места судна, как правило, используется окружность, которая характеризуется радиальной средней квадратичной погрешностью счисления (РСКП).

РСКП счислимого места судна (Мс) — это радиус окружности, в пределах которой находится счислимое место судна с определённой вероятностью.

В соответствии с Резолюцией А.529(13) «Стандарты точности судовождения» должна использоваться 95% вероятность.

Резолюцией А.953(23) "Глобальные радионавигационные системы« отменены старые стандарты

Таким образом, для расчёта РСКП счислимого места судна (Мс) можно использовать формулу, представленную ниже в общем виде:

$$M_c = \sqrt{b^2 + a^2}. \qquad (2)$$

При плавании несколькими курсами Мс в конечной точке можно рассчитать по формуле:

$$M_c = \sqrt{M_1^2 + M_2^2 + \ldots + M_i^2}, \qquad (3)$$

где М1, М2 ,…,Мi - СКП счислимого места на каждом курсе.

Подставив формулы (1) в формулу (2) получим расчётные формулы для вычисления Мс

1. Без учёта ветра

$$M_c = \sqrt{\left(\frac{m_к^\circ S}{57{,}3^\circ}\right)^2 + \left(\frac{S m_{Дл\%}}{100}\right)^2}, \qquad (4)$$

где $m_К$ - СКП истинного курса (по данным гирокомпаса $m_к$=0,6÷1,8°);
$m_{Дл\%}$ - СКП поправки лага (см. ТТД лага);
S - расстояние, пройденное по счислению (по лагу или снятое с карты).

Для того, чтобы получить Мс с вероятностью P=95% необходимо значение Мс, полученное по формуле (3), увеличить в два раза, т. е.

$$M_{c\,P=95\%} = 2M_{c\,P=68\%}$$

2. С учётом ветра с вероятностью 95%

$$M_c = 2\sqrt{\left(\frac{m^{\circ}_{ПУ_\alpha} S}{57{,}3^{\circ}}\right)^2 + \left(\frac{S m_{\Delta л\%}}{100}\right)^2}, \qquad (5)$$

где $m_{ПУ_\alpha} = \sqrt{m_к^2 + m_\alpha^2}$ (m_α - СКП угла дрейфа; m_α=0,5÷1,5°).

3. С учётом течения с вероятностью 95%

Течение учитывается отдельным курсом.

$$b_T = \frac{m^{\circ}_{K_T} S_T}{57{,}3^{\circ}}, \; a_T = m_{v_T} t.$$

Тогда формула для расчёта Мс с учётом течения с вероятностью 95% будет иметь в

$$M_c = 2\sqrt{\left(\frac{m^{\circ}_{к} S}{57{,}3^{\circ}}\right)^2 + \left(\frac{S m_{\Delta л\%}}{100}\right)^2 + \left(\frac{m^{\circ}_{K_T} S_T}{57{,}3^{\circ}}\right)^2 + \left(m_{v_T} t\right)^2}, \qquad (6)$$

где $m^{\circ}_{Кт}$ - СКП направления течения = 30-60 °

$m_{Vт}$ - СКП скорости течения = 0,2-0,7 уз.°

t- время плавания на течении по счислению.

4. С учётом ветра и течения с вероятностью 95%

$$M_c = 2\sqrt{\left(\frac{m^{\circ}_{ПУ_\alpha} S}{57{,}3^{\circ}}\right)^2 + \left(\frac{S m_{\Delta л\%}}{100}\right)^2 + \left(\frac{m^{\circ}_{K_T} S_T}{57{,}3^{\circ}}\right)^2 + \left(m_{v_T} t\right)^2}, \quad (7)$$

Если счисление велось от обсервованной точки, то средняя квадратическая погрешность счислимого места (Mc) определяется как квадратичное суммирование средней квадратической погрешности исходной обсервации (Mo) и средней квадратической погрешности счисления в конечной точке после обсервации

$$M_c = \sqrt{M_0^2 + M_{сч\ к}^2}$$

Данная формула находит практическое применение в том, что на ее основании делают вывод о возможности дальнейшего плавания по счислению.

Как видно из рисунка, величина радиуса R = M будет увеличиваться постоянно с увеличением пройденного судном расстояния (S).

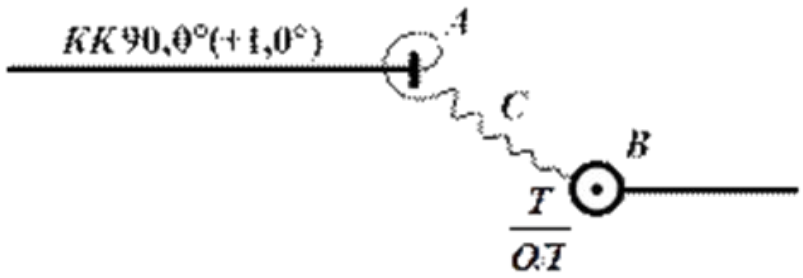
2. Коэффициент счисления

Недостатком предыдущего способа является то, что выполняемые расчеты базируются на субъективных оценках случайных ошибок в элементах, характеризующих движение судна.

В настоящее время широко используется статистический способ оценки точности счисления, основанный на выводах теории случайных функций. Он позволяет более объективно учесть влияние внешних факторов (действие ветра и течения) и неточность в работе приборов.

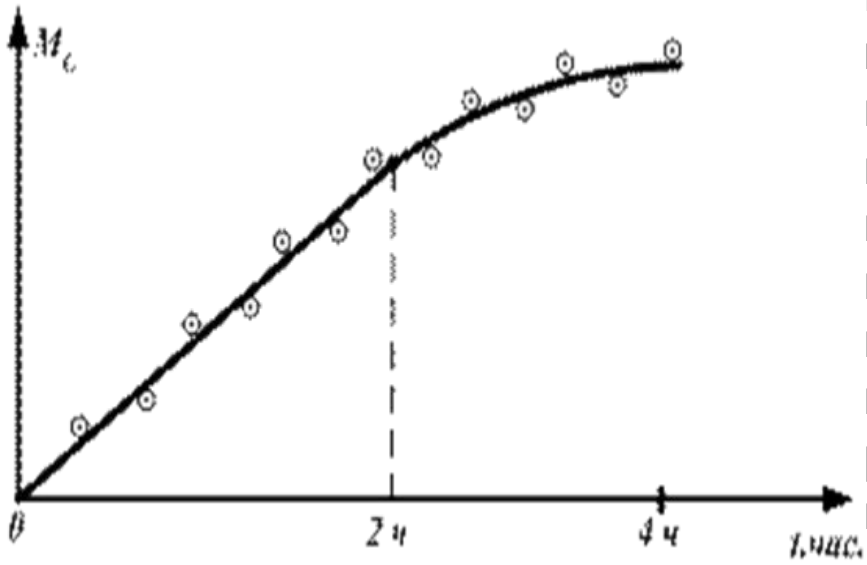
В соответствии с выводами этой теории ошибка счисления за первые 2 — 3 ч плавания подчинена линейному закону, т.е. увеличивается прямо пропорционально продолжительности плавания. В дальнейшем она растет пропорционально квадратному корню

Величина МС зависит от пройденного судном расстояния, то есть от времени плавания по счислению. Осталось выяснить «скорость» увеличения МС, то есть знать величину – **коэффициента точности счисления** (КС).



Если в процессе плавания в данном районе (по данному маршруту) регулярно определялось место судна, и были получены величины невязок (разность в милях между счислимым и обсервованным местами на один и тот же момент времени)

И если по значениям этих невязок (не < 13 невязок) построить график погрешностей счисления в зависимости от времени, то осреднение всех полученных на графике точек позволит получить «картину» изменения СКП счисления (МС) по времени плавания по счислению (t).



Вид экспериментально полученной кривой зависимости величины МС(t) от времени плавания по счислению t показывает, что в пределах 2-х часового интервала скорость изменения погрешности счислимого места подчиняется линейному закону, то есть погрешность счисления нарастает равномерно, после чего кривая приближается к параболе, а зависимость становится квадратической.

Таким образом, погрешность счисления можно рассчитать на любой момент времени (Т1), опираясь на две основные величины:

1. **продолжительность плавания по счислению** (t), то есть время плавания судна от исходной (начальной) точки (Т0) до настоящего счислимого места (Т1) – ;
2. **коэффициент точности счисления** (КС), который характеризует скорость нарастания погрешности счисления по времени плавания по счислению.

при $t < 2$ ч $M_c = 0{,}7 K_c t$,

при $t > 2$ ч $M_c = K_c \sqrt{t}$.

Величина КС – коэффициент точности счисления.

Коэффициент точности счисления рассчитывается по специальной методике для каждого района (моря) плавания судна анализом полученных (не < 13) обсерваций.
Общая формула расчета при t > 2ч:

$$K_C = 1{,}13 \cdot \frac{\sum_{1}^{n} C_i \sqrt{t_i}}{\sum_{1}^{n} t_i}$$

Расчет значения КС рассмотрим на примере:
Судно, выполняя плавание в Черном море, с момента выхода из порта до возвращения в него имело 13 определений места.

№№ п/п	Величина каждой невязки счисления Ci (мили)	Время плавания по счислению междуобсервациями (часы)	$\sqrt{t_i}$	$C_i * \sqrt{t_i}$
1	1,7	6,2	2,50	4,23
2	1,4	8,0	2,84	3,96
3	1,4	4,4	2,10	2,94
4	0,3	3,1	1,76	0,53
5	2,0	3,0	1,73	3,47
6	0,8	8,2	2,87	2,29
7	0,8	3,5	1,88	1,60
8	2,5	2,5	1,58	3,96
9	2,1	6,1	2,47	5,19
10	0,9	6,4	2,54	2,28
11	2,0	4,0	2,00	4,00
12	1,5	7,1	2,66	4,00
13	2,2	8,1	2,85	6,26
		Σ ti = 70,6		44,61

По формуле рассчитываем:

$$K_C = 1{,}13 - \frac{44{,}61}{70{,}60} \approx 0{,}7$$

КС по невязкам в счислении рассчитывается для отдельных маршрутов плавания или для района плавания с учетом гидрометеоусловий для каждого проекта (типа) судна и его штурманского вооружения.

Полученные величины КС каждым судном осредняются для данного района и данного проекта.

2. Метод расчета КС по погрешностям в элементах счисления более сложен и в практике применяется редко.

Из опыта плавания:

Для транспортных судов	Кс
1. Автоматическое счисление с:	
* абсолютным лагом	0,4
* относительным лагом	0,6
2. Ручное графическое счисление:	
* закрытые моря со слабыми течениями	0,9 - 1,2
* моря с сильными переменными течениями	1,5 – 1,8
* моря с сильными постоянными течениями	2,0 – 2,4
* океаны при нормальной погоде	1,8 – 2,4
* океаны при штормовой погоде	3,0 – 4,0

3. Дискретность обсервации.

Расчет частоты обсервации производится с целью определения промежутка времени между двумя последующими обсервациями в различных условиях плавания.

Расчет производится по формуле:

$$t = \frac{60}{K_c} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot M_{доп}\right)^2 - (2M_o)^2}$$

где: Кс – коэффициент точности счисления

Мдоп – предельно допустимая радиальная погрешность места, мили;

Мо – радиальная СКП последней обсервации, мили;

t-время плавания по счислению.

$$M_{доп} = D_{кр} - 0.1 \cdot D_{ц}$$

где: Dкр – кратчайшее расстояние от линии пути до опасности, мили;

Dц – диаметр циркуляции (в милях)

При плавании по фарватеру вблизи опасностей или заданной полосе движения.

$$t = \frac{60}{K_c} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot Мд\right)^2 - (2M_o)^2}$$

$$M_{доп} = 0{,}5B_{Ф} - 0.1 \cdot D_{ц}$$

Где Вф – ширина фарватера или безопасной заданной полосы движения судна

Таблицы МТ-2000 : 4.1, 4.2, 4.4, 4.9а, 4.9б, 4.10 , 4.21…

4. Выводы

1.Любой измеренный навигационный параметр есть величина случайная и лишь с какой-тостепенью достоверности соответствующая его истинному значению.

2.Все погрешности измерений делятся на 3 вида:

- случайные;
- систематические;
- грубые (промахи).

3.Основной характеристикой оценки точности измерения навигационного параметра является СКП –средняя квадратическая погрешность.

4.Точность счислимого места принято оценивать радиальной или круговой СКП (МСЧ).

5.Вероятность нахождения счислимого места судна в круге, радиусом R = M составляет 0,63÷0,68 (63÷68%).

6.Коэффициент точности счисления (КС) характеризует скорость нарастания погрешности счисления по времени плавания по счислению

7.Погрешность счислимого (текущего) места судна складывается квадратически из погрешности исходной точки и погрешности счисления за время плавания от исходной точки до счислимого (текущего) места.

8.Учет погрешности счислимого (текущего) места судна – одна из важнейших гарантий его безопасного плавания.