ПРИЛОЖЕНИЕ 1

НЕКОТОРЫЕ СПРАВОЧНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО МАТЕМАТИКЕ И ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРОВ В КОРАБЛЕВОЖДЕНИИ

I. Некоторые справочные сведения по математике

Алгебра

Степени и радикалы

$$a^m \cdot a^n = a^{m+n}$$

$$a^m : a^n = a^{m-n}$$

$$(a \cdot b)^m = a^m \cdot b^m$$

$$(a : b)^m = a^m : b^m$$

$$(a^m)^n = a^{mn}$$

$$1 : a^m = a^{-m}$$

$$a^{-m} : b^{-n} = b^n : a^m$$

$$a^0 = 1$$

$$(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$$

$$(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3$$

$$(a + b)^m = a^m\left(1 + \frac{b}{a}\right)^m$$

$$\sqrt[m]{a} = a^{\frac{1}{m}}$$

$$\sqrt[m]{ab} = a^{\frac{1}{m}} \cdot b^{\frac{1}{m}}$$

$$\sqrt[m]{a} \cdot \sqrt[n]{a} = \sqrt[mn]{a^{m+n}} = a^{\frac{m+n}{mn}}$$

$$\sqrt[n]{\frac{1}{a^m}} = a^{-\frac{m}{n}}$$

Размещения, перестановки, сочетания

Число сочетаний из n элементов по k в группе равно

$$A_n^k = n(n-1)(n-2)\ \dots\ (n-k+1)$$

Число перестановок из n элементов равно:

$$P_n = n(n-1)(n-2)\dots 3 \cdot 2 \cdot 1 = n!$$

Число сочетаний из n элементов по k в группе равно

$$C_n^k = \frac{A_n^k}{P_n} = \frac{n(n-1)(n-2)\ \dots\ (n-k+1)}{1 \cdot 2 \cdot 3\ \dots\ k}$$

Прогрессии и ряды

Арифметическая прогрессия

$$S_a = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n$$

Сумма членов прогрессии

$$S_a = \frac{(a_1 + a_n)\, n}{2}$$

Геометрическая прогрессия

$$S_z = a_1 + a_1 q + a_1 q^2 + a_1 q^3 + a_1 q^4 + \ldots + a_1 q^{n-1}$$

Сумма членов прогрессии

$$S_z = \frac{a_1 (q^n - 1)}{q - 1}$$

При $q < 1$ геометрическая прогрессия называется убывающей. Предел суммы бесконечного числа членов убывающей геометрической прогрессии равен:

$$S_z = \frac{a_1}{1 - q}$$

Формулы для вычисления суммы ограниченного числа членов некоторых числовых и биномиальных рядов:

$$1 + 2 + 3 + 4 + \ldots + (n-1) + n = \frac{n(n+1)}{2}$$

$$1 + 3 + 5 + 7 + \ldots + (2n-3) + (2n-1) = n^2$$

$$2 + 4 + 6 + 8 + \ldots + (2n-2) + 2n = n(n+1)$$

$$1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + \ldots + (n-1)^2 + n^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$$

$$1^3 + 2^3 + 3^3 + 4^3 + \ldots + (n-1)^3 + n^3 = \frac{n^2 (n+1)^2}{4}$$

$$\frac{1}{1+x} = 1 - x + x^2 - x^3 + x^4 + \ldots + x^{2n} - x^{2n+1} + \ldots$$

$$\frac{1}{1-x} = 1 + x + x^2 + x^3 + x^4 + \ldots + x^{2n} + x^{2n+1} + \ldots$$

$$\frac{1}{(1+x)^2} = 1 - 2x + 3x^2 - 4x^3 + 5x^4 - \ldots - 2nx^{2n-1} + (2n+1)\, x^{2n} - \ldots$$

$$\frac{1}{(1-x)^2} = 1 + 2x + 3x^2 + 4x^3 + 5x^4 + \ldots + 2nx^{2n-1} + (2n+1)\, x^{2n} + \ldots$$

$$\sqrt{1+x} = 1 + \frac{1}{2}x - \frac{1}{8}x^2 + \frac{1}{16}x^3 - \frac{5}{128}x^4 + \frac{7}{256}x^5 - \ldots$$

$$\sqrt{1-x} = 1 - \frac{1}{2}x - \frac{1}{8}x^2 - \frac{1}{16}x^3 - \frac{5}{128}x^4 - \frac{7}{256}x^5 - \ldots$$

Разложение тригонометрических функций в ряд (аргумент x задается в радианах)

$$\sin x = x - \frac{x^3}{6} + \frac{x^5}{120} - \frac{x^7}{5040} + \ldots$$

или

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \ldots$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \frac{x^8}{8!} - \ldots$$

$$\operatorname{tg} x = x + \frac{x^3}{3} + \frac{2x^5}{15} + \frac{17x^7}{315} + \ldots$$

$$\operatorname{ctg} x = \frac{1}{x} - \frac{x}{3} - \frac{x^3}{45} - \frac{2x^5}{945} - \ldots$$

$$\sec x = 1 + \frac{x^2}{2} + \frac{5x^4}{24} + \frac{61x^6}{720} + \ldots$$

$$\operatorname{cosec} x = \frac{1}{x} + \frac{x}{6} + \frac{7x^3}{360} + \frac{31x^5}{15\,120} + \ldots$$

Разложение Бинома Ньютона

$$(1+x)^m = 1 + mx + \frac{m(m-1)}{2!}x^2 + \frac{m(m-1)(m-2)}{3!}x^3 + \ldots + \frac{m(m-1)(m-2)\ldots(m-n+1)}{n!}x^n + \ldots + \frac{m(m-1)}{2!}x^{m-2} + mx^{m-1} + x^m$$

$$(a \pm b)^m = a^m \pm ma^{m-1} \cdot b + \frac{m(m-1)}{2!}a^{m-2} \cdot b^2 \pm \frac{m(m-1)(m-2)}{3!}a^{m-3} \cdot b^3 + \ldots + \frac{m(m-1)(m-2)\ldots(m-n+1)}{n!}a^{m-n} \cdot b^n \pm \ldots \pm \frac{m(m-1)}{2!}a^2 b^{m-2} \mp \mp mab^{m-1} \pm b^m$$

Формулы для отыскания корней квадратного и кубического уравнений

В общем виде квадратное уравнение имеет вид

$$ax^2 + bx + c = 0$$

Его корни отыскиваются по формуле

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

В общем виде кубическое уравнение имеет вид

$$ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$$

или

$$x^3 + Ax^2 + Bx + C = 0,$$

где $A = \frac{b}{a}$; $B = \frac{c}{a}$ и $C = \frac{d}{a}$.

Используя подстановку $x = y - \frac{A}{3}$, кубическое уравнение приводится к неполному виду $y^3 + py + q = 0$,

где $p = -\frac{A^2}{3} + B$, а $q = \frac{2A^3}{27} - \frac{AB}{3} + C$.

$$y_1 = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{p}{3}\right)^3}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{p}{3}\right)^3}}.$$

Два остальных корня являются комплексными числами и здесь не приводятся.

Логарифмирование и потенцирование

Логарифмом положительного числа A при положительном основании a называется показатель степени, в которую нужно возвести основание a, чтобы получить данное число A, т. е. $x = \lg_a A$, если $a^x = A$. Основанием логарифмов может быть любое число, но широко применяют только натуральные с основанием e

$$e = 2{,}718281\ \ldots = \lim_{\alpha \to \infty} (1+\alpha)^{\frac{1}{\alpha}} = \lim_{n \to \infty}\left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$$

и десятичные с основанием 10

$$y=\ln A,\ \text{если}\ e^y=A,$$
$$y=\lg A,\ \text{если}\ 10^y=A.$$

Натуральные и десятичные логарифмы связаны между собой так называемым модулем:

$$\lg A=\mu\ln A,$$

где $\mu=\lg e=\lg 2{,}718281\ldots=0{,}43429\ldots$,

отсюда $\ln 10=\frac{1}{\mu}=2{,}30258\ldots$

$$\lg(A_1A_2A_3\ldots A_n)=\lg A_1+\lg A_2+\lg A_3+\ldots+\lg A_n$$
$$\lg\frac{A}{B}=\lg A-\lg B$$
$$\lg A^n=n\lg A$$
$$\lg\sqrt[n]{A}=\frac{1}{n}\lg A.$$

Если $\lg x=\lg A+\lg B-3\lg C$, то $x=\frac{A\cdot B}{C^3}$;

если $\lg x=\frac{2}{3}\lg A$, то $x=\sqrt[3]{A^2}$;

если $\lg x=0$, то $x=1$.

Тригонометрия плоская и сферическая

$$\sin^2\alpha+\cos^2\alpha=1$$
$$\operatorname{tg}\alpha=\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}$$
$$\operatorname{ctg}\alpha=\frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}$$
$$\sec\alpha=\frac{1}{\cos\alpha}$$
$$\operatorname{cosec}\alpha=\frac{1}{\sin\alpha}$$
$$\sec^2\alpha-\operatorname{tg}^2\alpha=1$$
$$\operatorname{cosec}^2\alpha-\operatorname{ctg}^2\alpha=1$$
$$\sin 2\alpha=2\sin\alpha\cos\alpha$$
$$\cos 2\alpha=\cos^2\alpha-\sin^2\alpha=1-2\sin^2\alpha=2\cos^2\alpha-1$$
$$\operatorname{tg}2\alpha=\frac{2\operatorname{tg}\alpha}{1-\operatorname{tg}^2\alpha}=\frac{2}{\operatorname{ctg}\alpha-\operatorname{tg}\alpha}$$
$$\operatorname{ctg}2\alpha=\frac{1-\operatorname{tg}^2\alpha}{2\operatorname{tg}\alpha}=\frac{1}{2}(\operatorname{ctg}\alpha-\operatorname{tg}\alpha)=\frac{\operatorname{ctg}^2\alpha-1}{2\operatorname{ctg}\alpha}$$
$$\sec 2\alpha=\frac{1+\operatorname{tg}^2\alpha}{1-\operatorname{tg}^2\alpha}$$
$$\operatorname{cosec}2\alpha=\frac{1+\operatorname{tg}^2\alpha}{2\operatorname{tg}\alpha}=\frac{1}{2}(\operatorname{ctg}\alpha+\operatorname{tg}\alpha)$$
$$\sin 3\alpha=3\sin\alpha-4\sin^3\alpha$$
$$\cos 3\alpha=4\cos^3\alpha-3\cos\alpha$$

$$\sin\frac{\alpha}{2}=\pm\sqrt{\frac{1-\cos\alpha}{2}};\quad \cos\frac{\alpha}{2}=\pm\sqrt{\frac{1+\cos\alpha}{2}}$$
$$\sin(\alpha+\beta)\sin(\alpha-\beta)=\sin^2\alpha-\sin^2\beta=\cos^2\beta-\cos^2\alpha$$
$$\cos(\alpha+\beta)\cos(\alpha-\beta)=\cos^2\alpha-\sin^2\beta=\cos^2\beta-\sin^2\alpha$$
$$\sin(\alpha+\beta)\cos(\alpha-\beta)=\frac{1}{2}(\sin 2\alpha+\sin 2\beta)$$
$$\sin(\alpha-\beta)\cos(\alpha+\beta)=\frac{1}{2}(\sin 2\alpha-\sin 2\beta)$$
$$\sin(\alpha+\beta)=\sin\alpha\cos\beta+\cos\alpha\sin\beta$$
$$\sin(\alpha-\beta)=\sin\alpha\cos\beta-\cos\alpha\sin\beta$$
$$\cos(\alpha+\beta)=\cos\alpha\cos\beta-\sin\alpha\sin\beta$$
$$\cos(\alpha-\beta)=\cos\alpha\cos\beta+\sin\alpha\sin\beta$$
$$\sin\alpha+\sin\beta=2\sin\frac{1}{2}(\alpha+\beta)\cos\frac{1}{2}(\alpha-\beta)$$
$$\sin\alpha-\sin\beta=2\cos\frac{1}{2}(\alpha+\beta)\sin\frac{1}{2}(\alpha-\beta)$$
$$\cos\alpha+\cos\beta=2\cos\frac{1}{2}(\alpha+\beta)\cos\frac{1}{2}(\alpha-\beta)$$
$$\cos\alpha-\cos\beta=-2\sin\frac{1}{2}(\alpha+\beta)\sin\frac{1}{2}(\alpha-\beta)$$
$$\sin\alpha+\cos\beta=2\sin\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\alpha-\beta}{2}\right)\cos\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\alpha+\beta}{2}\right)$$
$$\sin\alpha-\cos\beta=-2\cos\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\alpha-\beta}{2}\right)\sin\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\alpha+\beta}{2}\right)$$
$$\sin\alpha+\cos\alpha=\sqrt{2}\cos\left(\frac{\pi}{4}-\alpha\right)$$
$$\sin\alpha-\cos\alpha=-\sqrt{2}\cos\left(\frac{\pi}{4}+\alpha\right)$$

Если в сферическом треугольнике стороны обозначить через a, b и c, а противолежащие им углы через A, B и C соответственно, то будут справедливы следующие равенства:

$$\cos a=\cos b\cos c+\sin b\sin c\cos A$$
$$\cos b=\cos c\cos a+\sin c\sin a\cos B$$
$$\cos c=\cos a\cos b+\sin a\sin b\cos C$$
$$\cos A=-\cos B\cos C+\sin B\sin C\cos a$$
$$\cos B=-\cos C\cos A+\sin C\sin A\cos b$$
$$\cos C=-\cos A\cos B+\sin A\sin B\cos c$$
$$\sin a\sin B=\sin A\sin b$$
$$\sin b\sin C=\sin B\sin c$$
$$\sin c\sin A=\sin C\sin a$$

Последние три формулы можно представить в виде пропорции:

$$\frac{\sin a}{\sin A}=\frac{\sin b}{\sin B}=\frac{\sin c}{\sin C}$$

Полезны также формулы котангенсов или четырех рядом лежащих элементов:

$$\operatorname{ctg} A \sin B = \operatorname{ctg} a \sin c - \cos c \cos B$$
$$\operatorname{ctg} A \sin C = \operatorname{ctg} a \sin b - \cos b \cos C$$
$$\operatorname{ctg} B \sin A = \operatorname{ctg} b \sin c - \cos c \cos A$$
$$\operatorname{ctg} B \sin C = \operatorname{ctg} b \sin a - \cos a \cos C$$
$$\operatorname{ctg} C \sin B = \operatorname{ctg} c \sin a - \cos a \cos B$$
$$\operatorname{ctg} C \sin A = \operatorname{ctg} c \sin b - \cos b \cos A$$

Для прямоугольных сферических треугольников справедливы равенства:

$$\cos a = \cos b \cos c$$
$$\sin b = \sin a \sin B$$
$$\sin c = \sin a \sin C$$
$$\cos a = \operatorname{ctg} B \operatorname{ctg} C$$
$$\cos B = \cos b \sin C$$
$$\cos C = \cos c \sin B,$$

где a — «гипотенуза», b и c — «катеты» сферического прямоугольного треугольника, а A, B и C — углы, противолежащие им.

Для элементарных сферических треугольников приведенные выше шесть формул упрощаются, так как sin элементарно малого угла заменяется самим углом, а cos элементарно малого угла заменяется единицей.

Существует два типа элементарных сферических треугольников. К первому типу относятся сферические треугольники с элементарно малыми сторонами. Их можно рассматривать как плоские треугольники и для решения задач применять формулы плоской тригонометрии. В элементарных сферических треугольниках второго типа один угол и противолежащая ему сторона являются элементарно малыми. Такие треугольники можно разбить на два прямоугольных сферических треугольника, один из которых будет первого типа, а другой — второго типа.

Аналитическая геометрия

Уравнения некоторых кривых. Окружность радиуса R, с координатами центра a и b, описывается уравнением вида:

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = R^2.$$

Эллипс, с полуосями a и b, с центром эллипса в начале координат и направлением осей координат, совпадающим с осями эллипса, описывается уравнением вида:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1.$$

Гипербола, когда координатные оси являются осями симметрии гиперболы, описывается уравнением вида:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1.$$

Координаты фокусов гиперболы в этом случае лежат на оси X и находятся на расстоянии C и $-C$ от начала координат, при этом

$$C = \sqrt{a^2 + b^2}.$$

Парабола, если начало координат совпадает с вершиной параболы, а ее ось совпадает с осью X, описывается уравнением вида:

$$y^2 = 2px,$$

где p — абсцисса фокуса параболы.

Приближенные расчеты

$$(1 \pm \alpha)(1 \pm \beta) = 1 \pm \alpha \pm \beta$$
$$(1 \pm \alpha)(1 \pm \beta)(1 \pm \gamma) = 1 \pm \alpha \pm \beta \pm \gamma$$

$$\frac{1}{1 \pm \alpha} = 1 \mp \alpha \qquad \sqrt[n]{1 \pm \alpha} = 1 \pm \frac{1}{n}\alpha$$
$$\frac{1 \pm \alpha}{1 \pm \beta} = 1 \pm \alpha \mp \beta \qquad \frac{1}{\sqrt[n]{1 \pm \alpha}} = 1 \mp \frac{1}{n}\alpha$$
$$(1 \pm \alpha)^n = 1 \pm n\alpha \qquad \sqrt{A^2 \pm \alpha} = A \pm \frac{\alpha}{2A}$$
$$\frac{1}{(1 \pm \alpha)^n} = 1 \mp n\alpha \qquad \sqrt[3]{A^3 \pm \alpha} = A \pm \frac{\alpha}{3A^2}$$
$$\sqrt[n]{A^n \pm \alpha} = A \pm \frac{\alpha}{nA^{n-1}}$$

Формулы справедливы при: $\alpha \ll 1$, $\beta \ll 1$, $\gamma \ll 1$, $\alpha \ll A$.

Дифференцирование функций

$$y = a; \quad dy = 0.$$
$$y = a + x; \quad dy = dx.$$
$$y = ax; \quad dy = adx.$$
$$y = x + z + t; \quad dy = dx + dz + dt.$$
$$y = xz; \quad dy = zdx + xdz.$$
$$y = \frac{x}{z}; \quad dy = \frac{zdx - xdz}{z^2}.$$
$$y = xzt; \quad dy = \left(\frac{dx}{x} + \frac{dz}{z} + \frac{dt}{t}\right) xzt = ztdx + xtdz + xzdt.$$
$$y = f(z); \quad z = F(t); \quad t = \varphi(x); \quad \frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dz} \cdot \frac{dz}{dt} \cdot \frac{dt}{dx}.$$
$$y = x^m; \quad dy = mx^{m-1}dx.$$
$$y = \frac{a}{x}; \quad dy = -\frac{a}{x^2}dx.$$
$$y = \sqrt{x}; \quad dy = \frac{dx}{2\sqrt{x}}.$$
$$y = \frac{1}{\sqrt{x}}; \quad dy = -\frac{dx}{2\sqrt{x^3}}.$$
$$y = \frac{1}{x^m}; \quad dy = -\frac{mdx}{x^{m+1}}.$$
$$y = e^x; \quad dy = e^x dx.$$
$$y = a^x; \quad dy = a^x \ln a dx.$$
$$y = \ln x; \quad dy = \frac{dx}{x}.$$

$$y = \lg x; \quad dy = \frac{\lg e}{x} dx.$$

$$y = \sin x; \quad dy = \cos x dx.$$

$$y = \cos x; \quad dy = -\sin x dx.$$

$$y = \operatorname{tg} x; \quad dy = \frac{dx}{\cos^2 x}.$$

$$y = \operatorname{ctg} x; \quad dy = -\frac{dx}{\sin^2 x}.$$

$$y = \sec x; \quad dy = \operatorname{tg} x \sec x dx.$$

$$y = \operatorname{cosec} x; \quad dy = -\operatorname{ctg} x \operatorname{cosec} x dx.$$

$$y = \arcsin x; \quad dy = \frac{dx}{\sqrt{1 - x^2}}.$$

$$y = \arccos x; \quad dy = -\frac{dx}{\sqrt{1 - x^2}}.$$

$$y = \operatorname{arctg} x; \quad dy = \frac{dx}{1 + x^2}.$$

$$y = \operatorname{arcctg} x; \quad dy = -\frac{dx}{1 + x^2}.$$

$$y = \operatorname{arcsec} x; \quad dy = \frac{dx}{x\sqrt{x^2 + 1}}.$$

$$y = \operatorname{arccosec} x; \quad dy = -\frac{dx}{x\sqrt{x^2 - 1}}.$$

$$y = f(x, z, t); \quad dy = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial z} dz + \frac{\partial f}{\partial t} dt.$$

II. Основы применения программируемых микрокалькуляторов при решении задач кораблевождения

Большую помощь в эффективном решении задач кораблевождения оказывает применение малой вычислительной техники — программируемых микрокалькуляторов (ПМК). С 1988 г. на корабли ВМФ поставляется штурманский вычислительный комплект (ШВК) «Электроника

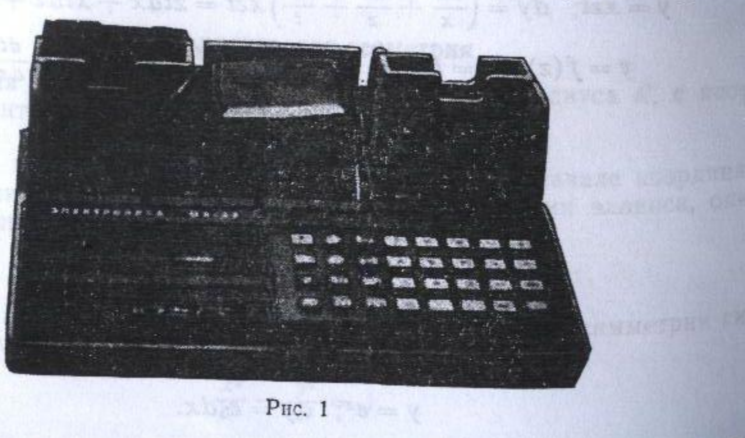

Рис. 1

МК-52-Астро», в состав которого входят ПМК «Электроника» МК-52 и блок расширения памяти БРП-2 «Электроника-Астро» (рис. 1). Отечественные микрокалькуляторы типа «Электроника» Б3-34, МК-52,

МК-54, МК-56, МК-61 имеют единый язык программирования и близкую символику записи команд на пульте управления, поэтому все программы вычислений на ПМК, помещенные в данной книге, могут быть реализованы на любом из перечисленных микрокалькуляторов. Наиболее удобны для штурманских вычислений МК-52 и МК-61, имеющие команды перевода градусной (часовой) меры углов в градусы (часы) и их десятичные доли, и команды обратного перевода, а также ряд дополнительных команд, облегчающих штурманские расчеты.

Программы навигационных вычислений на ПМК, кроме данной книги, можно найти в пособиях: «Методика обработки навигационных измерений с оценкой точности», № 9257, ГУНиО МО, 1985 (с приложением «Сборник программ (СП-1-84)»), «Астронавигационный альманах на 1986—1990 гг.», № 9009, ГУНиО МО, 1987, «Микрокалькулятор в кораблевождении», М., Воениздат, 1989. Соответствие между символами записи команд в тексте указанных пособий и на пультах ПМК приведено в табл. 1.

Таблица 1

Команда	Символ команды		
	Пособия № 9035.1, 9257, 9009	Б3-34	МК-52, МК-54, МК-56, МК-61
Запись в память	П; хП	П	х→П
Вызов из памяти	ИП; Пх	ИП	П→х
Разделение вводимых чисел	↑	↑	В↑
Обмен содержимым регистров х и у	ху; ⇄	ху	↔
Операция деления	:	÷	÷
Вычисление арксинуса	F arcsin	F arcsin	$\sin^{-1}$
Вычисление арккосинуса	F arccos	F arccos	$\cos^{-1}$
Вычисление арктангенса	F arctg	F arctg	tg^{-1}
Кольцевое перемещение информации в стековой памяти	○	○	○

Микрокалькулятор МК-52, в отличие от других ПМК, обладает двумя важными для штурмана особенностями:

— имеет полупостоянное запоминающее устройство (ППЗУ), позволяющее разместить в нем пять программ (по 98 шагов каждая) и хранить их при выключенном питании сроком до полугода; в рабочую программную память эти программы вызываются по мере необходимости;

— позволяет подключить дополнительно блок расширения памяти БРП-2 «Электроника-Астро», предназначенный для постоянного хранения программ, записанных на заводе-изготовителе; в нем же могут храниться массивы исходных данных для решения навигационных или астронавигационных задач; объем одновременно считываемой из БРП-2 программы может быть до 98 шагов.

Блок расширения памяти БРП-2 «Электроника-Астро» содержит программы, приведенные в табл. 2.

Кроме того, в БРП-2 содержится таблица экваториальных координат 35 навигационных звезд, обеспечивающая их расчет до 2000 г.

с точностью до 0,1′, а в руководстве по эксплуатации БРП-2 имеются исходные данные еще для 80 звезд. Координаты Солнца до 2000 г. также вычисляются с точностью до 0,1′.

Таблица 2

Программа	Время счета, мин	Количество шагов
Вычисление $t_{гр}^{\Upsilon}$, $\delta^{\odot}$, $\alpha^{\odot}$, $t_{гр}^{\odot}$, $R^{\odot}$	4	546
Вычисление $t_{гр}^{\Upsilon}$, δ^{*}, α^{*}, $t_{гр}^{*}$	5	217
Вычисление δ, $t_{гр}$ Луны и планет по исходным данным из АНА 86—90 гг.	5,5	182
Вычисление высоты и азимута светила	1	73
Вычисление элементов высотной линии положения $n = h - h_с$ и $ИП_с$	6—7	640
Уточнение места корабля по одной высотной линии положения	1,5	91
Вычисление координат обсервованного места корабля, с оценкой его точности, по двум и более линиям положения (обобщенный метод наименьших квадратов)	3,5—4,5	259
Вычисление широты места по высоте Полярной звезды	6	49
Опознавание наблюдаемого светила	3,5	119
Вычисление судового времени восхода и захода Солнца, наступления сумерек	6	133
Исправление измеренных высот светил	1,3	98
Вычисление экваториальных координат светил с использованием МАЕ	2	91
Вычисление координат счислимого места по пути и плаванию	2	126
Вычисление локсодромического расстояния и пути для перехода из одной точки в другую	2	154
Вычисление ортодромического расстояния и пеленга (начального курса)	2	245
Вычисление геодезической линии при расстоянии более 100 км	3	98
Решение прямой геодезической задачи при расстоянии до 1000 км	3	154
Решение обратной геодезической задачи при расстоянии до 1000 км	3,5	273

Примечание. Программы, имеющие объем более 98 шагов, вводятся в программную память и реализуются по частям.

Другие навигационные и астронавигационные программы даны в данной книге и в упомянутых выше пособиях.

Ввод программы в рабочую программную память ПМК. Программы для ПМК могут быть записаны в построчной или табличной форме.

В *построчной форме* (см., напр., программы в гл. 1, 5, 7, 9, 12, 13) команды располагаются слева направо по 10 команд в строке и в конце записи указывается в скобках общее количество шагов в программе — оно служит для контроля ввода команды по показанию счетчика поступивших команд на табло ПМК. Адрес любой команды в случае необходимости легко устанавливается по номеру строки (сверху вниз) и месту команды в строке.

В *табличной форме* (см. напр., программы в гл. 22—26 и в табл. 3 настоящего приложения) указываются номер (адрес) каждого шага начиная с исходного 00, содержание команды на каждом шаге, код команды на табло ПМК; иногда дается значение каждой команды для реализации алгоритма решения задачи.

Для *ввода программы* вначале дают команду перехода ПМК в режим записи программы В/О F ПРГ, нажимая на пульте ПМК соответствующие этим символам клавиши; после этого на табло высветится 00 — запрос начального шага программы.

Затем вводят команды последовательно нажимая клавиши, соответствующие символам, записанным в каждом шаге программы. На табло при этом высвечиваются: номер очередного запрашиваемого шага и коды трех последних введенных команд. Исправление ошибочно введенной команды выполняется путем сдвига программы на шаг влево клавишей $\overleftarrow{\text{ШГ}}$ или на шаг вправо клавишей $\overrightarrow{\text{ШГ}}$ и вводом правильной команды.

По окончании ввода программы дают команду перехода ПМК в режим автоматического вычисления: F АВТ.

Необходимо неукоснительно придерживаться правила: *введенная программа должна быть немедленно проверена.*

Эта проверка осуществляется наиболее надежно просмотром всей программы по кодам команд: дают команду В/О F ПРГ и нажимая клавишу $\overrightarrow{\text{ШГ}}$ последовательно проверяют соответствие высвечиваемых кодов команд тем, которые записаны в таблице программы. Убедившись в правильности ввода программы, включают режим автоматических вычислений командами F АВТ.

Контроль ввода программы по количеству введенных шагов, высвечиваемых на табло при вводе, может указать лишь на пропуск какого-либо шага, но не на неверный ввод.

Следующей обязательной операцией является проверка правильности работы ПМК путем решения тестовой задачи. Тестовыми задачами могут служить примеры, помещенные в данной книге.

Выполнение вычислений на ПМК. Каждая программа сопровождается инструкцией, выполнение которой гарантирует получение правильного результата при соблюдении следующих общих требований:

— тщательно продумайте организацию ввода исходных данных: они должны быть представлены в той же последовательности, в какой будут вводиться в ПМК согласно инструкции или таблице прохождения информации (эти таблицы даны в разд. VII настоящей книги); однородные данные (например, серия отсчетов секстана и т. п.) должны вводиться в непрерывной последовательности;

— очищайте регистры операционной памяти ПМК до ввода данных, вводя последовательно *ноль* командами x→П0, x→П1, x→П2, ..., x→Пе;

— до начала вычислений проверьте правильность ввода исходных данных обратным их вызовом из регистров памяти в соответствии с таблицей прохождения информации или адресами их записи в программе. Помните, что *ошибки в результатах вычислений на ПМК в подавляющем большинстве случаев вызываются плохой подготовкой или неверным вводом исходных данных.*

Не пытайтесь экономить время вычислений путем сокращения контрольных операций: вы больше потеряете времени на поиски причин ошибочного решения или создадите аварийную ситуацию, опираясь на результаты вычислений, ошибочность которых не смогли установить. Исправный ПМК не ошибается; ошибки вносятся неверными действиями оператора на пульте.

При вводе данных обязательно обратите внимание на *системы счета вводимых координат и не забудьте ввести их знаки*, оговоренные в инструкциях: в разных программах эти системы счета могут быть различными. Например, в некоторых иностранных пособиях западным долготам приписывают знак *плюс*, азимут считают от точки юга и т. п. На это же надо обращать внимание при записи результатов вычислений.

После ввода данных проверьте положение переключателей:

Д — П (данные — программа), который должен быть в положении П;

Р — ГРД — Г (радианы — грады — градусы), который при решении навигационных задач чаще всего ставится в положение Г, что оговаривается в инструкции к программе; измерения в градах в штурманской практике не употребляются;

С — З — СЧ (стирание — запись — считывание), который ставится в положение СЧ.

Счет с начального шага начинается по команде В/О С/П. Результаты вычислений после останова счета находятся на табло и по адресам, указанным в инструкции и в таблице прохождения информации по данной программе. Обратите внимание на то, что в адресуемом регистре памяти и на табло полученная величина может быть в разной размерности, что оговаривается в инструкции.

Работа с ППЗУ МК-52. Вызов программ при работе с БРП-2 «Электроника-Астро» детально описан в руководстве по его эксплуатации и частично в Астронавигационном альманахе на 1986—1990 гг. Хранение других программ при выключенном питании ПМК осуществляется с помощью ППЗУ.

Адресное поле памяти ППЗУ удобно представить в виде таблицы из 64 строк (номера 00—63) по 16 четырехбитовых ячеек в каждой строке (один бит — элементарная единица информации; двоичный разряд, принимающий значения 0 и 1):

Номер строки	Адреса ячеек памяти ППЗУ										
00	0000	0001	0002	0003	0004	0005	0006	0007	 0013	0014	0015
01	0016	0017	0018	0019	0020	0021	0022	0023	 0029	0030	0031
02	0032	0033	0034	0035	0036	0037	0038	0039	 0045	0046	0047
..	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
63	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	 1021	1022	1023

Емкость одного адресуемого регистра памяти ПМК равна 56 битам. Поэтому для хранения в ППЗУ содержимого *одного регистра памяти* требуется занять 56 : 4 = 14 ячеек памяти ППЗУ.

При работе ППЗУ ввод в него или считывание информации осуществляется «пачками», содержащими 14 ячеек памяти ППЗУ. Например, при вводе содержимого регистра памяти 0 по начальному адресу ППЗУ 0000 содержимое регистра займет ячейки от 0000 до 0013 включительно; содержимое следующего регистра памяти 1 займет ячейки 0014—0027 и т. д. Если же начать ввод данных из регистровой памяти с 50-й строки, начинающейся с адреса 0800, то регистр 0 разместится в ячейках 0800—0813 и т. д.

Все 15 регистров памяти МК-52 (от адреса П → х0 до адреса П → хе) требуют для размещения 15×14 = 210 ячеек памяти ППЗУ. Но по конструкции ПМК в адресе обращения к ППЗУ, для указания длины занимаемого по этому адресу участка памяти ППЗУ, выделено только двузначное число от 00 до 98, каждая единица которого принята равной длине двух ячеек (8 битам); это двузначное число обозначается НН. Следовательно, по заданному одному адресу можно записать максимально 98×2 = 196 ячеек памяти ППЗУ или, иначе говоря, содержимое только первых 14 регистров памяти ПМК. По этой причине не следует заносить по адресу х → Пе данные для последующего их размещения в ППЗУ.

Содержимое регистров памяти ПМК переписывается в память ППЗУ и считывается оттуда в строгом порядке: обязательно начиная с регистра П → х0; в ходе записи в ППЗУ содержимое регистров памяти ПМК стирается.

Адрес обращения к ППЗУ символически представляется семизначным числом, набираемым на табло с помощью клавиатуры пульта ПМК. В буквенной записи адрес обращения можно представить в виде ЦААААНН.

В этой записи буквы означают:

Ц — место любого числа от 1 до 9; это число выбирает сам штурман, оно может обозначать номер задачи, номер программы и т. п.;

АААА — адрес начальной ячейки памяти ППЗУ, с которой начнется запись данных из памяти ПМК или же программы из программной памяти ПМК;

НН — длину записываемой информации (занимаемой в памяти ППЗУ зоны) в шагах, по 8 бит каждый.

Емкость одной ячейки программной памяти ПМК равна 8 битам. Однократно из ППЗУ может быть считана программа длиной не более 98 шагов. Поэтому программы, содержащие более 98 шагов, могут быть занесены в ППЗУ только по нескольким адресам и считываются для реализации по частям.

Полная емкость памяти ППЗУ равна 512 шагам программ, но необходимо учитывать особенности стирания из ППЗУ старых данных или старых программ: эта очистка происходит полными строками по 16 ячеек памяти (по 8 шагов программы). Например, если какая-то программа начиналась с ячейки 0013 и оканчивалась ячейкой 0195, то при ее стирании очистятся все ячейки от 0000 до 0207 включительно. По этой причине каждую новую запись в ППЗУ лучше начинать с начальной ячейки строки (0000, 0016, 0032, ... 0192, 0208, ... 0352, ... и т. п.), а не с любой свободной ячейки.

Адрес начальной ячейки строки находится по формуле $A_0 = AAAA = 16C$, где номер строки С имеет значение от 0 до 63 включительно.

Адрес конечной ячейки, занимаемой вводимой программой или вводимыми данными из регистров памяти ПМК, находится по формуле $A_к = AAAA = A_0 + 2 \times НН - 1$.

Например, если какая-то программа № 1 из 98 шагов вводится начиная с ячейки 0000, то ее адрес в полной записи будет 1000098 и последняя занятая программой ячейка ППЗУ имеет адрес $A_к = 0 + 2 \times 98 - 1 = 0195$ на строке С = 12. Если далее необходимо ввести программу № 2 из 77 шагов, то ее запись лучше начать со строки С = 13 по начальному адресу $A_0 = 16 \times 13 = 208$; конечной ячейкой будет $A_к = 208 + 2 \times 77 - 1 = 0361$; полная запись адреса для ввода или вывода программы № 2 имеет вид 2020877.

При записи в ППЗУ данных из регистровой памяти ПМК учитывается, что каждый регистр памяти занимает 7 шагов (14 ячеек) в ППЗУ. Если, например, требуется записать в ППЗУ данные из девяти регистров памяти ПМК, то это потребует $9 \times 7 = 63$ шага (126 ячеек). Удобно размещать данные в конце поля памяти ППЗУ, например, начиная со строки С=50. Тогда $A_0 = 16 \times 50 = 0800$ и $A_к = 800 + 2 \times 63 - 1 = 0925$, полный адрес получается —1080063 (здесь перед адресом поставлен знак *минус*, который служит символом принадлежности этого адреса к вводу или выводу данных, в отличие от адресов программ). Во всех случаях составления адреса программы или данных число НН должно быть кратным 7.

Операцию размещения программ и данных в ППЗУ можно автоматизировать с помощью приведенной в табл. 3 программы для расчета A_0 и $A_к$ по известному начальному адресу предыдущей записанной программы $A_{оп}$ и ее числу шагов $НН_п$ (или записанных в ППЗУ данных) и по заданному числу шагов новой вводимой программы НН (или числу считываемых регистров памяти ПМК, умноженному на 7).

Таблица 3

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
	В/О F ПРГ				
00	П→x3	63	24	x→Пd	4Г
01	x→Пb	4L	25	K {x}	35
02	7	07	26	Fx≠0	57
03	:	13	27	36	36
04	x→Пc	4C	28	П→xd	6Г
05	K {x}	35	29	K [x]	34
06	Fx≠0	57	30	1	01
07	15	15	31	+	10
08	П→xc	6C	32	1	01
09	K [x]	34	33	6	06
10	1	01	34	×	12
11	+	10	35	x→Пa	4—
12	7	07	36	П→xb	6L
13	×	12	37	2	02
14	x→Пb	4L	38	×	12
15	П→x2	62	39	П→xa	6—
16	2	02	40	+	10
17	×	12	41	1	01
18	П→x1	61	42	—	11
19	+	10	43	x→Пd	4Г
20	x→Пa	4—	44	П→xa	6—
21	1	01	45	С/П	50
22	6	06		F АВТ	
23	:	13			

Исходные данные и результаты размещаются в регистровой памяти ПМК по адресам:

$A_{оп}$ ..... x→П1 П→xa .... A_0
$НН_п$ ..... x→П2 П→xb .... НН
НН ..... x→П3 П→xd .... $A_к$

Например, если ранее в ППЗУ была записана программа по адресу 2020877 и необходимо записать новую информацию из 98 шагов с ближайшей новой строки, то число 208 вводят по адресу x→П1, число 77 по адресу x→П2, число 98 по адресу x→П3. Командой В/О С/П начинают счет и после останова получают:

на табло и по адресу П→xa .... начальный адрес ввода $A_0 = 368$;

по адресу П→xd .... адрес конечной ячейки $A_к = 563$. Полный адрес новой программы или введенных данных будет Ц036898.

Рекомендуется записывать и иметь при ПМК все адреса занесенных в ППЗУ программ и данных, что избавит от случайного их стирания и искажения. Необходимо также оградить подготовленный для работы в море ПМК от любителей «тыкать пальцем» в его клавиатуру.

Операции ввода программы в ППЗУ, ввода данных в ППЗУ, вызова программы и данных из ППЗУ, режима навигационных вычислений показаны в необходимой последовательности на рис. 2.

Например, *ввод программы в ППЗУ* включает последовательное выполнение операций: переключатель С — З — СЧ поставить в режим С, переключатель Д — П поставить в режим П, набрать на табло адрес программы, ввести адрес командой А↑, очистить все ячейки в строках с этим адресом командой ↑↓; переключатель С — З — СЧ поставить в режим З, проверить положение переключателя Д — П в режиме П, включить режим программирования командами В/О F ПРГ, ввести в программную память ПМК необходимую программу и выполнить контроль ее ввода (правила его указаны выше), включить режим автоматических вычислений командами F АВТ, записать программу в ППЗУ командами А↑ ↑↓. *Для вызова программы из ППЗУ* набрать на табло ее адрес, переключатель С — З — СЧ поставить в режим СЧ, переключатель Д — П поставить в режим П, командами А↑ ↑↓ записать программу из ППЗУ в программную память ПМК.

Последовательное положение переключателей при вводе данных в ППЗУ и в режиме навигационных вычислений с ППЗУ показаны в правой и нижней частях рис. 2.

Если ПМК длительное время не был в работе, то рекомендуется после записи программы или данных из ППЗУ проверить их правильность пошаговым просмотром программы и всех регистров памяти ПМК.

При работе ПМК в режиме стирания С одновременно с очисткой заданного адресом участка ППЗУ происходит стирание информации либо в программной памяти (включен режим П), либо в регистровой памяти (включен режим Д). Если требуется сохранить данные, ранее имевшиеся в регистровой памяти, то стирание надо выполнить включив режим П; если же требуется сохранить имеющуюся в программной памяти программу, то стирание надо производить при включенном режиме Д.

Основные правила подготовки исходных данных и оценки результатов вычислений на ПМК. Точность результатов вычислений на ПМК зависит от качества подготовки исходных данных, их точности и правильного ввода.

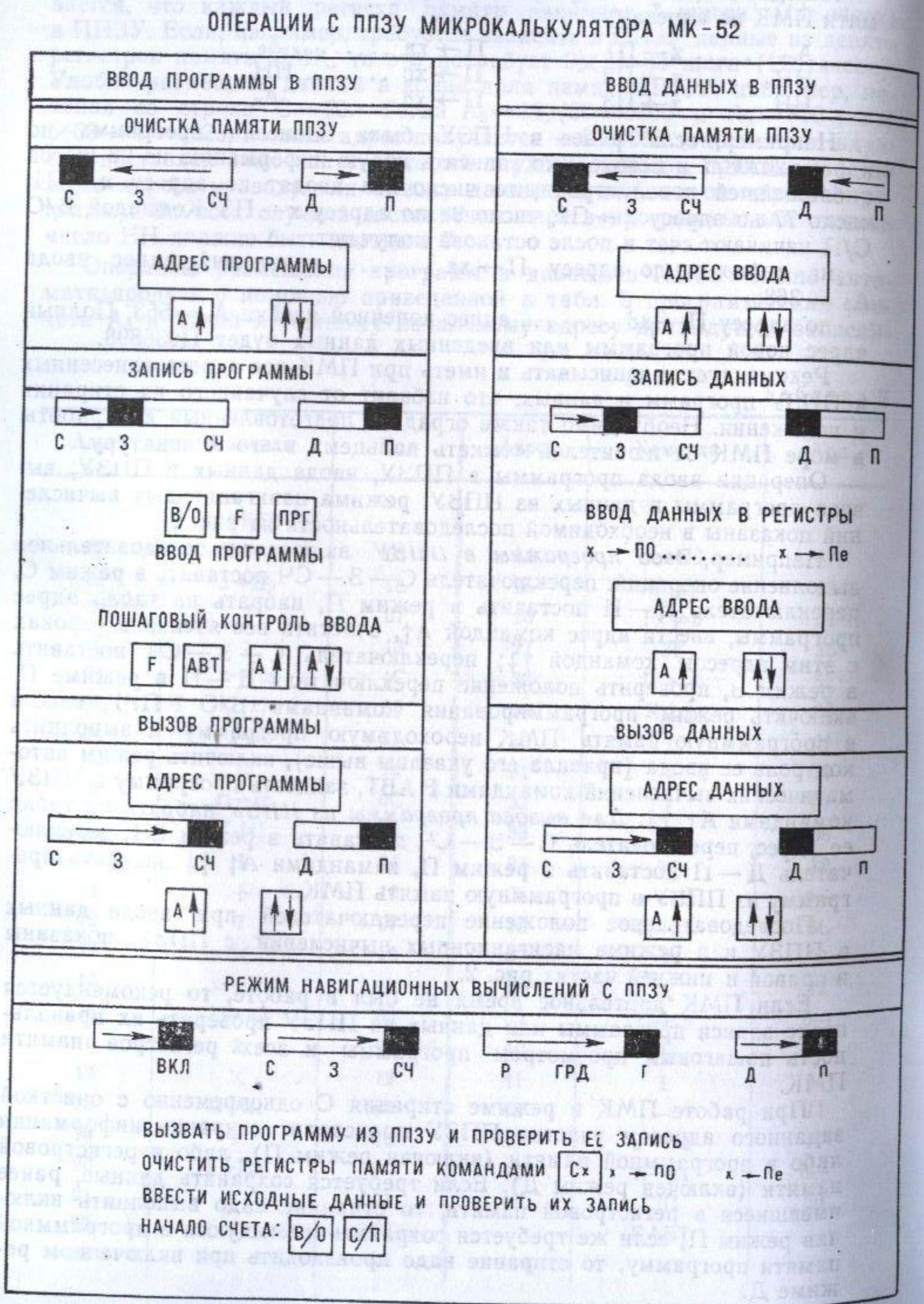

Рис. 2

При решении задач кораблевождения исходными данными являются в той или иной степени приближенные величины (известные с ограниченной точностью). Они являются результатами измерений средствами навигации, выбора из навигационных пособий, измерений на картах и т. п.; характеристика их точности дается в соответствующих главах книги. Поэтому результат вычислений на сколь угодно совершенной ЭВМ также является приближенным; всегда следует помнить, что *точность результата вычислений не может быть выше точности исходных данных.*

В результате вычислений с приближенными числами будет не более верных значащих цифр, чем их было в более грубом исходном числе (значащими называются все цифры числа, кроме нулей, расположенных левее первой отличной от нуля его цифры, и нулей справа, стоящих вместо неизвестных цифр). Например, при умножении числа 2,3212 на число 0,34 математически получается число 0,789208, но верны в нем только первые две цифры после запятой (как в грубейшем сомножителе) и результат надо записать как 0,79; при извлечении квадратного корня из числа 0,13 получается 0,360555127, но верным результатом будет только 0,36; при возведении в квадрат числа 0,38 получается 0,1444, но верным в этом числе является только 0,14. Если в расчеты были введены счислимые широта и долгота, измеренные по путевой карте масштаба 1 : 200 000, и координаты светила из МАЕ или АНА-86-90 (известные с точностью до 0,1′), то вычисленные высота и азимут не могут быть точнее 0,1—0,2′ при пользовании любой ЭВМ.

При задании исходных данных до 0,1′=0,0017° в вычислениях на ПМК достаточно удерживать четвертый знак после запятой, а в результате производить округление до третьего знака после запятой, так как все более мелкие доли градуса недостоверны. Их удержание создает опасную иллюзию о точности результата и является вредным.

ПМК как вычислительное средство обладает рядом вычислительных погрешностей, обусловленных ограниченным числом разрядов в мантиссах вводимых чисел и регистрах стековой памяти, ограниченной точностью вычисления элементарных функций по жестко зашитым в ПЗУ программам (например, в МК-52 функция $\sqrt{x}$ вычисляется с относительной погрешностью $1 \cdot 10^{-4}$). Эти погрешности должны учитываться при составлении программ: следует избегать многократного повторения операций $\sqrt{x}$ и x^y, вычисления разности близких по величине чисел и деления на их разность и др. Вообще *следует стремиться к наименьшему числу операций в формулах, составляющих алгоритм решения задачи.*

В общем виде средняя квадратическая погрешность $m_{сл}$ результата навигационных вычислений на ПМК может быть представлена следующей формулой

$$m_{сл} = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2},$$

где m_1 — СКП, обусловленная погрешностями вводимых исходных данных;

m_2 — СКП, обусловленная методом решения (погрешностями модели решаемой задачи, приближенностью формул алгоритма);

m_3 — СКП, обусловленная вычислительными погрешностями ПМК.

При решении астронавигационных задач, например, с использованием данных из МАЕ или АНА-86-90 при расчетах высоты $m_1 \approx 0{,}05'$, Величина m_2 в навигационных задачах может быть следствием пренебрежения погрешностями замены эллипсоида шаром, замены ортодромических направлений локсодромическими, замены изолиний навигационных параметров линиями положения и др. Для уменьшения влияния этих причин может применяться итерационный метод (первый результат принимается в качестве первого приближения и вводится взамен исходных счислимых данных), косвенные методы решения задачи определения места корабля могут заменяться прямыми и т. п. Величина m_2 может быть сведена к несущественному минимуму путем точной подготовки исходных данных и правильного составления алгоритма решения.

Вычислительная погрешность ПМК составляет при решении навигационных и астронавигационных задач величину $m_3 \approx 0{,}05'$, поскольку натуральные величины sin, cos, tg, arcsin, arccos, arctg на МК-52 вычисляются с шестью верными цифрами.

Так как погрешности вычислений следуют нормальному закону, то для оценки предельной погрешности решения задач кораблевождения на ПМК величину $m_{сл}$ надо утроить: расстояния, высоты светил, курсы, пеленги при корректном вводе исходных данных получаются с погрешностью до 0,2′ в средних условиях.

При расчетах на ПМК, как и вообще при работе штурмана с высоко автоматизированными средствами навигации, иногда возникает опасность отрыва его от реальной морской обстановки и среды, в которой движется корабль; штурман начинает «управлять» не движением корабля в реальной среде, а «зелеными глазами» цифровых индикаторов и дисплеев, что ведет к промахам и аварийным ситуациям. Меры по предотвращению промахов в работе оператора с ПМК были указаны выше при описании процесса вычислений.

Меры выявления промахов в результатах вычислений, в том числе при работе с ПМК, должны быть сведены в систему и применяться неукоснительно: пока **контроль не произведен — вычисления не закончены.** Этот контроль может осуществляться по специальным контрольным формулам, применением дублирующих вычислительных средств (хотя бы и меньшей точности — например, номограмм), сравнением вычисленных навигационных параметров с наблюдаемыми, по дополнительной независимой навигационной информации, выполнением вычислений по другой системе формул с новым вводом исходных данных, повторением или параллельным выполнением решения другим оператором независимо от первого.

Не конкурируя со специализированными навигационными ЭВМ, универсальными ЭВМ и персональными компьютерами по объему обрабатываемой информации, уровню программ и быстродействию, ПМК позволяет решать задачи кораблевождения на более высоком научном уровне, освобождает от рутинного вычислительного труда на ходовом мостике корабля, существенно повышает точность и надежность обработки навигационной информации. В итоге освобождается время для творческого анализа обстоятельств плавания и принятия обоснованных решений по управлению кораблем с предвидением наступающих событий и изменений в обстановке плавания.

Достоинствами ПМК является его доступность на кораблях любых классов, возможность работы с ним в любом удобном месте, универсальность питания, небольшие габариты и простота работы на пульте, прямое указание команд на клавиатуре пульта и простота языка программирования. Сочетание точности результата с высокой надежностью при приемлемых в большинстве случаев штурманской практики затра-

тах времени — основное достоинство решения задач кораблевождения на ПМК. Имеющиеся у штурмана личные возможности оптимизировать стандартные программы с учетом опыта плавания, формулировать и лично программировать новые навигационные задачи, вырабатывать в себе алгоритмический эвристический стиль мышления для творческого решения навигационных задач — полезные в штурманской службе стороны работы с ПМК, дающие необходимые навыки для работы с ЭВМ более высокого уровня. При наличии на корабле специализированных навигационных ЭВМ программируемые микрокалькуляторы могут рассматриваться как дублирующее и резервное автономное вычислительное средство.