



ПОВЫШЕНИЕ  
КВАЛИФИКАЦИИ

В. И. ЕРМАНОВ

# Промысловое судовождение: расчеты

ББК 39.471

Е72

УДК 639.2.06:629.12.014.9 (075.3)

Редактор Г.А. Гусева

Рецензенты: Г.А. Колчин ("Гипрорыбфлот"), канд. физ.-мат. наук С.В. Пашенцев (МВИМУ)

Ермаков В. И.

Е72 Промысловое судоходство: расчеты. — М.: Агропромиздат, 1989. — 143 с.: ил. (Учебные пособия для повышения квалификации специалистов)

ISBN 5-10-001001-0.

Обобщен опыт использования отечественных программируемых микрокалькуляторов и микро-ЭВМ в промысловом судоходстве. Приведены систематизированные сведения по вопросам повышения точности обсерваций и счисления пути судна, совершенствованию инструментов и методов мореходной астрономии.

Для повышения квалификации судоводителей промысловых судов.

Е  $\frac{3903030100-334}{035 (01) - 89}$  271-89

ББК 39.471

ISBN 5-10-001001-0

© ВО "Агропромиздат", 1989

## ВВЕДЕНИЕ

Цель учебного пособия — дать слушателям системы повышения квалификации (судоводители, специалисты служб мореплавания, работники инспекций по безопасности мореплавания, преподаватели мореходных училищ) сведения по повышению эффективности использования способов судовождения в условиях промысла. Учебное пособие содержит 4 главы.

В главе 1 обобщен положительный опыт использования микрокалькуляторов в судовых условиях и в учебном процессе, в главе 2 — опыт использования микро-ЭВМ в ВИПК Минрыбхоза СССР.

В главе 3 приведены систематизированные сведения по вопросам, связанным с повышением точности обсерваций и счисления пути судна в свете современных требований к промысловому судовождению. Должное внимание уделено облегчению оценки точности обсерваций, экономии времени судоводителя. Приведены вспомогательные таблицы для расчета радиальной погрешности, а также градиента изолинии (линии положения) сферической гиперболы и т. д. В этой же главе изложен метод оценки точности с использованием непараметрической статистики.

В главе 4 большое внимание уделено использованию программируемых микрокалькуляторов для решения задач мореходной астрономии без непосредственного обращения к МАЕ. В этой же главе приведена информация по совершенствованию инструментов и способов мореходной астрономии.

В целом, по мнению автора, информация, приведенная в учебном пособии, будет формировать, как этого требует практика, творческий подход к решению задач промыслового судовождения.

Так как учебное пособие по такой комплексной дисциплине создается впервые, то оно, естественно, будет иметь некоторые недостатки. Поэтому автор примет все замечания, направленные на улучшение содержания книги, с благодарностью.

# 1. ПРОГРАММИРУЕМЫЕ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРЫ И МИКРОКОМПЬЮТЕРЫ

## 1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Микрокалькуляторы (МК) классифицируют по следующим критериям: функциональному назначению, потребляемой мощности, методам ввода и вывода информации.

По функциональному назначению различают простейшие, инженерные и программируемые МК. Наибольший интерес представляют программируемые МК. Наиболее совершенные МК имеют разнообразные средства для хранения программ и данных, в том числе магнитные мини-карты, библиотечные сменные кассеты на больших интегральных схемах (БИС), постоянно запоминающие устройства (ППЗУ), а в качестве устройств вывода используются знакопечатающие устройства и дисплеи. Существуют также специализированные МК, предназначенные для решения задач, например, геодезии, навигации, картографии, преобразования языков. Однако с учетом ближайшей перспективы внедрения программируемых микрокалькуляторов на промышленных судах в дальнейшем основное внимание уделено микрокалькуляторам "Электроника МК-56" и "Электроника МК-52".

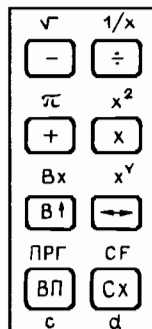
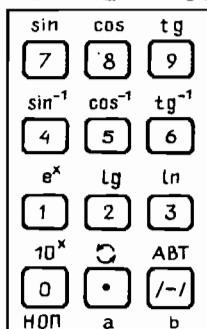
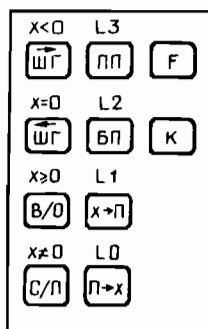
*Настольный микрокалькулятор "Электроника МК-56" (рис. 1)* используют для решения научно-технических, статистических, инженерных и других задач, так как он позволяет автоматизировать процесс решения задач. Вводимые числа и результаты вычислений отображаются на 12-разрядном люминесцентном индикаторе (восемь разрядов мантиссы, два разряда порядка, два разряда знаков мантиссы и порядка). Микрокалькулятор работает в режимах "Автоматическая работа" и "Программирование".

Время готовности микрокалькулятора после включения не более 30 с. Повторное включение — через интервал не менее 10 с. Допускается круглосуточная работа. Микрокалькулятором управляют с помощью 30 клавиш, имеющих двойную и тройную символику (за исключением префиксных F и K).

В микрокалькуляторе есть элементы, находящиеся под напряжением 22 В переменного и 35 В постоянного тока, поэтому вскрывать и ремонтировать микрокалькулятор разрешается только лицам, имеющим право на ремонт микрокалькулятора.

Подготовка микрокалькулятора к работе заключается в подводе

# ЭЛЕКТРОНИКА М-56



## 1. Микрокалькулятор "Электроника МК-56"

питания 220 В переменного тока и установке переключателя в положение, отмеченное точкой. После включения микрокалькулятора в старшем цифровом разряде появляется изображение **0.**, что свидетельствует о готовности микрокалькулятора к работе. По способу организации вычислений он относится к микрокалькуляторам с обратной бесскобочной логикой: клавиша арифметической операции нажимается после ввода двух чисел.

*Персональный микрокомпьютер "Электроника МК-85"* используется как в режиме обычного микрокалькулятора, так и в режиме "Вычисление по программам". В отличие от микрокалькулятора "Электроника МК-52" в нем используется одна из версий языка БЕЙСИК.

## 1.2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРА В РЕЖИМЕ "АВТОМАТИЧЕСКАЯ РАБОТА"

**Назначение функциональных клавиш.** В режим "Автоматическая работа" микрокалькулятор вводится сразу после включения питания или при последовательном нажатии клавиш F ABT, если до этого микрокалькулятор находился в режиме "Программирование".

В непрограммируемом варианте используют следующие клавиши:

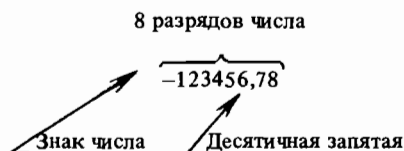
- |            |  |
|------------|--|
| F          | — префиксная клавиша;  |
| 0 ÷ 9      | — цифровые клавиши;  |
|            | — клавиша отделения целой части числа от дробной;                                |
| В↑         | — клавиша разделения вводимых чисел и передвижения информации в регистрах стека; |
| +, −, ÷, × | — клавиши арифметических действий;   |
|            | — клавиша операции обмена содержимым между регистрами x и y;                     |

Сх	– клавиша сброса содержимого регистра х (индикатора);
/-/	– клавиша операции смены знака мантиссы или порядка числа;
ВП	– подготовительная клавиша для ввода порядка числа;
х → П	– клавиша записи числа в регистры памяти;
П → х	– клавиша вызова из регистра памяти.

**Режим вычислений.** Вычисления на микрокалькуляторе производят в режиме "Автоматическая работа". Этот режим автоматически устанавливается после включения питания микрокалькулятора или после нажатия клавиш F АВТ, если до этого микрокалькулятор находился в режиме "Программирование".

**Отображение числа на индикаторе.** Числа на индикаторе в диапазоне  $1 < |x| < 99999999$  отображаются с естественным расположением запятой, а в диапазонах  $1 \cdot 10^{-99} \leq |x| < 1$  и  $99999999 \leq |x| \leq 9,99999999 \cdot 10^{99}$  – в форме с плавающей запятой.

Например, число  $-123456,78$  изображается на индикаторе в естественной форме и имеет следующий вид:



Так как любое число можно представить в виде  $m \cdot 10^n$ , где  $m$  – мантисса, а  $n$  – порядок числа, то число  $-0,0123456$  можно представить в виде  $-1,23456 \cdot 10^{-2}$ .

На индикаторе это число будет изображено в форме с плавающей запятой.



**Ввод чисел.** Микрокалькулятор оперирует с положительными и отрицательными десятичными числами.

Число вводят нажатием цифровых клавиш в порядке следования цифр. Если число дробное, то вначале вводят целую часть, затем после нажатия клавиши  $\square$  вводят дробную часть. Например, для ввода числа 148,12 нажимают клавиши 1 4 8 . 4 2 .

При вводе отрицательного числа после набора последней цифры нажимают клавишу изменения знака  $/-/$ . В качестве примера возьмем число 148,12, находящееся на индикаторе. После нажатия клавиши  $/-/$  на индикаторе получится  $-148,12$ .

Если нужно изменить знак индицируемого числа, то нажимают клавишу  $/-/$ . Например, индицируется число  $-148,12$ . Нажимают клавишу  $/-/$ . На индикаторе будет изображено 148,12.

Если при вводе числа была допущена ошибка, нажимают клавишу очистки регистра  $x$   $Sx$  и набирают число заново.

Для ввода числа с порядком вначале вводят мантиссу числа, затем нажимают клавишу ВП и вводят порядок числа. Если порядок отрицательный, то после его ввода нажимают клавишу  $/-/$ .

Например, ввод числа  $123,45 \cdot 10^{-7}$  происходит следующим образом:

Нажимаемые клавиши	Индикация
1 2 3 . 4 5	123.45
$/-/$	-123.45
ВП	-123.45 00
0. 7	-123.45 07
$/-/$	-123.45 07

Если в наборе числа порядка допущена ошибка, то ввод числа порядка и его знака производят повторно. При этом каждую новую цифру вводят в младший разряд порядка, а предыдущую информацию сдвигают на одну позицию влево с потерей старшего разряда порядка.

Например, на индикаторе изображено число  $-123,45 \cdot 10^{-7}$ . Необходимо, чтобы его порядок был равен 4. Операцию изменения порядка выполняют следующим образом:

Нажимаемые клавиши	Индикация
0 4	-123.45 -04
$/-/$	-123.45 04

Если клавишу ВП нажимают при нулевом значении мантиссы, то в этом случае мантисса принимает значение 1 и микрокалькулятор подготавливается к приему значения порядка.

Нажатие клавиши  $V \uparrow$  автоматически нормализует число, находящееся на индикаторе, и передает копию числа, находящегося в регистре  $x$ , в регистр  $y$ .

Например, на индикаторе имеем число  $-0,123$ .

После нажатия клавиши  $V \uparrow$  на индикаторе будет изображено  $1.23 -01$ .

В микрокалькуляторе предусмотрена блокировка ввода. Если уже введено восемь цифр мантиссы, то ввод дополнительных (лишних) цифр игнорируется, поэтому никаких изменений на индикаторе не происходит. При выполнении некорректных операций высвечивается сигнал ЕГГОГ.

К некорректным операциям относятся:

деление на "0";

возведение числа  $x$  в степень  $y$ , если  $x = 0$ , а  $y \neq 0$ ;

извлечение квадратного корня, если  $x \leq 0$ ;

нахождение обратной величины  $1/x$ , если  $x = 0$ ;

вычисление  $\operatorname{tg} x$ , если  $x = \pi/2 + n\pi$ ;

вычисление десятичного логарифма, если  $x \leq 0$ ;

вычисление натурального логарифма, если  $x \leq 0$ ;

вычисление обратных тригонометрических функций  $\arcsin x$ ,  $\arccos x$ , если абсолютная величина  $|x| > 1$ .

После появления сигнала ЕГГОГ можно производить ввод чисел и осуществлять вычисления. Сигнал ЕГГОГ не создает препятствий для дальнейших (корректных) вычислений.

**Выполнение одноместных операций.** Ввод аргумента при вычислении прямых тригонометрических функций и вычисление аргумента для обратных тригонометрических функций могут быть в радианах, градусах либо в градусах в зависимости от положения переключателя Р/ГРД/Г (радиан/град/градус; 1 град равен 0,9 градуса).

Для вычисления тригонометрических и обратных тригонометрических функций необходимо: установить переключатель Р/ГРД/Г в положение, соответствующее задаваемому либо вычисляемому аргументу; набрать число (аргумент) на клавиатуре; нажать клавишу F; нажать клавишу вычисляемой функции.

**Пример.** Дано  $\alpha = 20^\circ$ . Требуется вычислить синус угла.

**Решение.** Переключатель ставим в положение Г (градусы). Набираем на индикаторе число 20 и нажимаем последовательно клавиши F 7. Через несколько секунд на индикаторе появится число 3.4202014 -01.

**Пример.** По результату предыдущего примера требуется найти значение угла в градусах.

**Решение.** Нажимаем клавиши F 4, на индикаторе высветится значение угла в градусах ( $20^\circ$ ).

**Занесение чисел в регистры памяти и извлечение из них** Микрокалькулятор имеет 14 регистров памяти для хранения чисел и их копий. Запись числа в регистры памяти с индикатора производится следующим образом:

набирают число (если оно не является результатом предыдущей операции);

нажимают клавиши  $x \rightarrow \Pi$  и символ адресуемого регистра (числовые 0—9, буквенные a—d).

При этом копия числа с индикатора будет перенесена в соответствующий регистр памяти, а само число останется на индикаторе.

Извлечение числа из любого регистра памяти на индикатор производится путем нажатия клавиш  $\Pi \rightarrow x$  и символа регистра. С целью контроля (в начальный период работы с микрокалькулятором) рекомендуется после выполнения операции "Запись числа в регистр памяти" произвести операцию извлечения числа из того же регистра памяти. Дело в том, что иногда вместо клавиши  $x \rightarrow \Pi$  (при записи числа в регистр памяти) ошибочно нажимают клавишу  $\Pi \rightarrow x$ . В этом случае ошибку можно обнаружить путем сличения ошибочно вызванного числа (нажата клавиша  $\Pi \rightarrow x$ ) с числом, вводимым в регистр памяти. Однако, как показывает опыт учебной работы, первый способ более надежен.

**Пример.** Требуется занести число 123 в 7-й регистр памяти.



**Решение.** Последовательно нажимаем клавиши 1, 2, 3 — на индикаторе высветится число 123. Затем нажимаем клавиши  $x \rightarrow П 4$ . Число 123 будет записано в 4-й регистр памяти. Для контроля следует нажать клавиши  $П \rightarrow x 4$ . Если число, извлеченное из 4-го регистра памяти, будет отличаться от исходного, то необходимо исправить ошибку одним из двух способов:

нажать клавишу  $\leftrightarrow$ , т. е. вызвать заданное число из регистра  $y$ , так как после нажатия клавиши  $П \rightarrow x 4$  число, находившееся в регистре  $x$ , переместится в регистр  $y$ .

Набрать число заново, после чего нажать клавиши  $x \rightarrow П 4$ .

**Выполнение двухместных операций.** Операция называется двухместной, если в ней используются два числа. Арифметическую операцию выполняют следующим образом:

набирают первое число;

нажимают клавишу  $B \uparrow$  (число, находящееся на индикаторе, т. е. в регистре  $x$ , переводят в регистр  $y$ );

набирают второе число;

нажимают клавишу соответствующей арифметической операции; с индикатора (регистр  $x$ ) снимают результат.

**Пример.** Дано:  $N_1 = 2, N_2 = 4$ . Необходимо найти сумму двух чисел.

**Решение.**

Нажимаемые клавиши	Индикация (результат)
4	4
$B \uparrow$	4
2	2
+	6

Если хотя бы одно из чисел вводится путем вызова из регистра памяти или получается как результат одностепенной или предыдущей арифметической операции, то клавишу  $B \uparrow$  нажимать не надо.

Число  $x$  возводят в степень  $y$ , т. е. находят число  $N = x^y$  следующим образом:

на индикатор вводят показатель степени  $y$ ;

нажимают клавишу  $B \uparrow$  (число переводится в регистр  $y$ );

на индикатор вводят число  $x$ ;

нажимают клавиши  $F x^y$ .

**Пример.** Дано:  $y = 2, x = 5$ . Требуется найти  $5^2$ .

**Решение.**

Нажимаемые клавиши	Индикация
2	2
$B \uparrow$	2
5	5
$F x^y$	25

Если при выполнении сложной арифметической операции возникает необходимость запомнить промежуточные результаты, то надо занести их в соответствующие регистры памяти.

**Использование стековой памяти.** Стековая память микрокалькулятора содержит 4 регистра: X, Y, Z, T, из которых X и Y являются операционными. Регистры Z и T служат для расширения функциональных возможностей микрокалькулятора при реализации арифметических операций. Эти четыре регистра объединены таким образом, что числа вводятся в них последовательно, начиная с регистра X, а выводятся в обратном порядке. Поэтому то число, которое вводится последним, выводится (считывается) первым. Такая организация памяти называется *стековой*, а сама комбинация регистров памяти — *стеком*.

Ввод числа (непосредственно путем нажатия цифровых клавиш или вызовом из соответствующего регистра памяти) всегда производится в регистр X.

После ввода очередного числа информация в стеках перемещается на один регистр "вверх". Если нажимается только клавиша  $V\uparrow$ , то число, находившееся в регистре X, сохранится, а его копия перейдет в регистр Y. Схематически перемещение чисел в стеках будет выглядеть так:

*Нажимаемые клавиши*

Цифровые  
 $V\uparrow$

*Схема перемещения*

$X \rightarrow Y \rightarrow Z \rightarrow T \rightarrow$  исчезает  
 $X \rightarrow X \rightarrow Y \rightarrow Z \rightarrow T \rightarrow$  исчезает

После выполнения арифметических операций числа перемещаются на один регистр "вниз". Схематически это выглядит так:

$T \rightarrow T \rightarrow Z \rightarrow Y \rightarrow | * | \rightarrow X \rightarrow X_1$ .

Здесь знак \* означает результат арифметической операции, произведенной с содержимым регистров X и Y.

При нажатии клавиш F  $\odot$  происходит кольцевое перемещение чисел:  $X \rightarrow T \rightarrow Z \rightarrow Y \rightarrow X$ .

Умелое использование возможностей стековой памяти позволяет в ряде случаев добиться лаконизма при составлении программ, а также реализовать различные "рационализаторские" приемы. Так, если промежуточный результат вместо записи в адресуемые регистры памяти сохранить в стековой памяти, то это позволит сэкономить одно действие (одну команду) при решении задачи. Другой пример. При расчете координат центра масс судна для каждой статьи нагрузки необходимо использовать три числа. Для этой цели вполне подойдет стековая память. При этом регистр T (он должен быть "пустым", т. е. содержать число нуль) используется для блокировки от неправильного ввода чисел. Действительно, если в регистре T окажется число, отличное от нуля, то это означает "сбой" при вводе исходных данных (см. программу "Расчет координат центра массы"). Этот перечень примеров можно продолжить, но приведенных вполне достаточно для иллюстрации возможностей стека.

### 1.3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРА В РЕЖИМЕ "ВЫЧИСЛЕНИЕ ПО ПРОГРАММАМ"

**Общие положения.** В режиме "Вычисление по программам" используются дополнительно следующие клавиши, реализующие соответствующие команды:

F ПРГ	— перевод в режим программирования;
F АВТ	— перевод в режим автоматических вычислений (вывод из режима программирования);
$F(x < 0, x = 0, x \geq 0, x \neq 0)$	— ввод операций условных переходов;
БП	— ввод операции безусловного перехода;
ПП	— ввод подпрограмм (и потактовое прохождение программы);
$\rightarrow$	— смещение программы на один шаг "вперед";
$\leftarrow$	— смещение программы на один шаг "назад";
В/О	— установка программы по нулевому адресу и ввод операции возврата из подпрограммы;
С/П	— ввод операции "останов" и пуск вычислений по программе;
$F(L_0, L_1, L_2, L_3)$	— ввод операций для организации циклов;
К НОП	— ввод команды "нет операции" (исключение ошибочной команды);
К	— реализация косвенной адресации (совместно с клавишами $x \rightarrow П$ и $П \rightarrow x$ и номерами адресуемых регистров).

Программа представляет собой последовательность кодов операций (команд), которые микрокалькулятор выполняет автоматически в процессе вычисления, в предположении, что исходные данные введены в соответствующие регистры и проведена необходимая подготовительная работа. Коды команд представляют собой двузначные символы, которые записаны в постоянную память микрокалькулятора при его изготовлении. Для практического использования перечень кодов приводится в руководстве по эксплуатации микрокалькулятора.

**Программирование задачи.** В качестве иллюстрации рассмотрим простейшую задачу, которая, однако, имеет практическое значение при решении астрономических задач. Речь идет о переводе угла, выраженного градусами и минутами, в градусы и доли градуса. Отметим, что в микрокалькуляторе "Электроника МК-52" эта задача решается автоматически. Однако для понимания сущности составления программы и ее использования эта задача не теряет своей значимости вследствие ее простоты. Формула в этом случае имеет вид

$$\alpha^{\circ} = \alpha_1^{\circ} + \frac{1}{60} \alpha_2', \quad (1)$$

где  $\alpha_1^{\circ}$  — число градусов;  $\alpha_2'$  — число минут с десятичными.

Прежде всего проведем анализ этой формулы и выявим константы и переменные. Из формулы видно, что в исходных данных содержится одна константа — число 60 и две переменные, одна из которых выражена в градусах, а другая в минутах.

После этого определяем регистры, в которых будут находиться исходные данные перед началом решения задачи, а также регистр, в котором будет храниться результат (в любом случае он прежде всего попадает в регистр x). С этой целью составим табл. 1.

*Таблица 1. Размещение исходных данных и результата*

Параметр	Обозначение (величина)	Символ регистра
Константа	60	0
Часть угла в градусах	$\alpha_1^o$	y
в минутах	$\alpha_2'$	x
Угол в градусах	$\alpha^o$	x

Из табл. 1 видно, что так как константа 60 занесена (записана) в адресуемый регистр 0 (нуль), то это позволит многократно использовать константу: копия числа будет переходить в индикатор, а само число останется в регистре x; часть угла, выраженная в градусах, будет находиться в регистре y, а часть угла, выраженная в минутах, — в регистре x. Полагаем, что результат должен оставаться в регистре x. Если бы возникла необходимость занести полученный результат в регистр 1, то вместо x было бы написано число 1. Теперь, используя формулу (1) и табл. 1, составим программу, т. е. команды для микрокалькулятора, которые он должен выполнить вместо пользователя автоматически. Программа записывается с адреса 00:

*Программа 1. Перевод углов в градусы*

Адрес	00	01	02	03
Клавиши	П → x 0	÷	+	С/П
Код	60	13	10	50

Обратим внимание на команду С/П, т. е. "останов", записанную по адресу 03. Эта команда является обязательной для любой программы (иногда части программы) и означает физический конец программы (или ее части). Выполнив ее, микрокалькулятор прекращает вычисления. После завершения работы по составлению программы необходимо написать инструкцию, т. е. подробный перечень последовательных действий (с необходимыми комментариями), необходимых для получения результата.

## Инструкция работы с программой

### Операции

### Нажимаемые клавиши

- |  |  |
|--|--|
| 1. Включите микрокалькулятор, переключатель установите в положение "Г"   |  |
| 2. Перейдите в режим "Программирование"  | Г ПРГ  |
| 3. Занесите программу 1  |  |
| 4. Перейдите в режим "Автоматическая работа"   | F АВТ  |
| 5. Занесите исходные данные в регистры:<br><div style="margin-left: 20px;"> число 60 в регистр 0<br/> <math>\alpha_1^0</math> в регистр Y<br/> <math>\alpha_2'</math> в регистр X </div> | 60 x → П 0<br>$\alpha_1^0$ В↑ $\alpha_2'$<br>В/О С/П |
| 6. По трем параметрам, занесенным в регистры в качестве исходных данных, определите угол, выраженный в градусах  |  |

В действительности рассматриваемая задача является вспомогательной (см. программу 2), и для ее решения инструкцию не составляют. Однако в качестве иллюстрации этапов вычисления по программам она удобна.

**Ввод и редактирование программы.** Этот этап работы выполняется в соответствии с Инструкцией по использованию программы. После включения микрокалькулятора необходимо убедиться в том, что переключатель Г/Р/ГРД находится в нужном положении.

После выполнения п. 2 Инструкции на индикаторе высветится начальный адрес (в данном случае 00), с которого будет записываться программа: адрес предшествует команде.

При выполнении п. 3 Инструкции на индикаторе последовательно будут появляться коды 60, 13, 10, 50, которые будут соответствовать адресам 00, 01, 02, 03. После появления кода 50 код 60 исчезнет, т. е. максимальное количество одновременно индицируемых кодов равно трем. Таким образом, индикатор после ввода программы будет выглядеть так:

50 10 13 04

Если при вводе программы будет допущена ошибка и замечена сразу (по сравнению кодов в таблице и на индикаторе), то нажимают клавишу ШГ (перемещают программу "назад" на один шаг), а затем нужную клавишу, а если ошибка допущена в адрес перехода (смотри программу 2 "Расчет числимой высоты и азимута", а в ней команду по адресу 21), то клавишу ШГ нажимают дважды, а затем заново записывают обе команды (в данном примере F x < 0 и 24). Если ошибка находится далеко от текущего адреса, то поступают следующим образом:

переводят микрокалькулятор в режим "Автоматическая работа" нажатием клавиш F АВТ;

устанавливают счетчик адресов на номер ошибочной команды нажатием клавиш БП N, где N — адрес ошибочной команды;

переводят микрокалькулятор в режим "Программирование" нажатием клавиш F ПРГ;

исправляют ошибку.

При этом если имеется лишняя команда, то устраняют ее нажатием клавиш К НОП, а если пропущена команда, то набирают часть программы заново, начиная с пропущенной команды.

Вернувшись к нашему примеру, предположим, что при наборе последней команды вместо клавиши "+" была нажата клавиша "-". Тогда при сличении кодов вместо числа 10 будет обнаружено число 11. Для исправления ошибки надо нажать клавишу ПГ, а затем нажать клавишу "+". Можно для отработки навыка поступить следующим образом: нажать клавиши F АВТ; нажать клавиши БП 02; нажать клавиши ПРГ; нажать клавишу "+".

В результате выполнения указанных действий ошибка будет устранена.

**Отладка программы.** Отладка программы заключается в том, чтобы решить аналогичную задачу с известным ответом. Выполнение этого этапа позволяет установить, правильно ли составлена и занесена программа, исправлен ли микрокалькулятор. Отметим, что выбор контрольного примера требует вдумчивости и сноровки, особенно если задача сложная. При выборе контрольного примера необходимо стремиться к тому, чтобы "переналадка" после его решения была минимальной или вовсе была исключена. Это обстоятельство имеет большое значение, если программа достаточно сложна. В качестве удачного примера можно рассмотреть, как решен этот вопрос в программе "Расчет координат центра масс" (в обоих вариантах). Здесь первый цикл вычислений совмещен с отладкой, т. е. использованы исходные данные для судна порожнем, ответы для которых уже известны. Однако в другой задаче следует искать иной подход. Теперь вновь вернемся к исходной задаче.

Для проверки можно решить следующую задачу. Мы знаем, что  $20^{\circ}30' = 20,5^{\circ}$ . Поэтому, задавшись углом  $\alpha = 20^{\circ}30'$  и выполнив пп. 5, 6 Инструкции, т. е., нажав последовательно клавиши 20 В↑ 30 В/О С/П, получим  $20,5^{\circ}$ . Это будет свидетельствовать о правильности решения контрольного примера. В противном случае следует найти и исправить ошибку.

**Решение задачи.** Этот этап мало отличается от предыдущего по составу операций. Разница заключается в том, что ответ нам неизвестен и мы считываем его с индикатора. При этом отметим, что константа 60 заново не вводится.

**Пример.** Дано  $\varphi_c = 38^{\circ}38,0'N$ ;  $\delta = 16^{\circ}19,9'S$ ;  $t_M = 3^{\circ}11,8'W$ .

Требуется выразить исходные данные в градусной мере и изменить знак  $\delta$ .  
**Решение.**

Нажимаемые клавиши	Индикация
38 В† 38 В/О С/П	38.633333
16 В† 19,9 В/О С/П /-/	- 16.331667
3 В† 11,8 В/О С/П	3.1966667

Теперь рассмотрим составление более сложной программы, в которой используется команда условного перехода, т. е. когда последовательность выполнения команд нарушается микрокалькулятором из-за того, что заложенное в программу, в виде определенной команды, условие не выполняется. В этом случае микрокалькулятор переходит на выполнение программы с того адреса, который записан за командой перехода.

**Программа для расчета счислимой высоты и азимута светила.** Для расчета азимута и высоты возьмем следующие формулы:

$$\operatorname{tg} A_c = \frac{\sin t_M}{\operatorname{tg} \delta \cos \varphi_c - \cos t_M \sin \varphi_c}; \quad (2)$$

$$\cos h_c = \sin t_M \cos \delta \frac{1}{\sin A_c}, \quad (3)$$

где  $A_c$  — счислимый азимут светила в полукруговом счете;  $h_c$  — счислимая высота светила;  $\varphi_c$  — счислимая широта наблюдателя;  $\delta$  — склонение светила;  $t_M$  — практический часовой угол светила.

Анализируя формулы (2) и (3), находим, что азимут получается в полукруговом счете, а счислимая высота светила вычисляется через азимут. При этом синус азимута определяется через функцию тангенса, а здесь содержится неопределенность, которая нуждается в пояснении. Дело в том, что при  $A_c$  больше  $90^\circ$  тангенс азимута имеет знак минус. Следовательно, решая задачу без какой-либо коррекции, мы получим вместо азимута его дополнение до  $180^\circ$  со знаком минус. Последующее вычисление синуса азимута, где в качестве аргумента будет использоваться полученный угол, приведет к ошибочному результату. Поясним изложенное на примере.

**Пример.**

Нажимаемые клавиши	Индикация
1. Включаем микрокалькулятор, переключатель ставим в положение Г	
2. Набираем число 120	120
3. F tg	-1.7320508
4. F tg <sup>-1</sup>	-59.99999°
5. F sin	-8.6602544 -01

Таким образом, после выполнения операции нахождения синуса угла мы получили ошибочный ответ, который приведет к ошибочному результату при вычислении счислимой высоты. Если же использовать аргумент  $A_c = 120^\circ$ , то

$$\sin A_c = 0,86602544.$$

Следовательно, для исправления указанной ошибки надо ввести в программу следующее условие: если азимут получится отрицательным, то к нему надо прибавить  $180^\circ$ . Забегая вперед, укажем, что в программе 2 это условие реализовано по адресам 20–25.

20	21	222	23	24
$\Gamma x < 0$	24	$\Pi \rightarrow x c$	+	$x \rightarrow \Pi 5$
5	24	$6\sqsubset$	10	45

На языке микрокалькулятора это означает: если полученный угол (после выполнения команды по адресу 19) будет меньше нуля (т. е. иметь отрицательное значение), то условие выполняется. Следовательно, микрокалькулятор пропускает адрес перехода (команду, записанную по адресу 21) и начинает выполнять программу с адреса 22: извлекает содержимое из регистра с ( $180^\circ$ ), складывает его с полученным значением угла (т. е. вычисляет азимут) и заносит его копию в регистр 5, а оставшееся на индикаторе число (азимут) используется дальше по назначению. Если же после выполнения команды по адресу 19 значение угла будет больше нуля (положительное значение), то микрокалькулятор после проверки условия (условие не выполняется) перейдет на использование команды по адресу 24, т. е. сразу занесет азимут в регистр 5. Приведенный пример должен помочь тем, кто желает самостоятельно составить программу для решения задачи с использованием тригонометрических функций и их комбинаций.

Теперь перейдем к написанию программы. Для этой цели предварительно выделим для констант и переменных, а также полученных результатов соответствующие регистры памяти (табл. 2).

Таблица 2. Размещение исходных данных и результатов

Параметр	Обозначение	Символ регистра
Константа 60	—	0
Константа 180	—	c
Счислимая широта	$\varphi_c$	1
Склонение светила	$\delta$	2
Местный часовой угол светила	$t_M$	3
Счислимый азимут светила	$A_c$	5
Счислимая высота светила	$h_c$	6

Затем на основе исходных формул и табл. 2 составляем программу с учетом необходимости использования условного перехода и целесообразности наличия программы для перевода углов в градусную меру. Для того чтобы безошибочно составить программу, рекомендуется использовать "развертку" стековых регистров так, как это показано ниже.



### Схема движения информации в стеке

T	0	0	0	0	0	0	0
Z	0	0	0	0	0	0	0
Y	0	0	0	0	0	$N_1^*$	$N_1$
X	$\varphi_c$	$\sin \varphi_c$	$\delta$	$\operatorname{tg} \delta$	$N_1^*$	$t_M$	$\cos t_M$
Нажи- маемые клавиши	$\Pi \rightarrow x 1$	F sin	$\Pi \rightarrow x 2$	F tg	x	$\Pi \rightarrow x 3$	F cos
T	0	0	0	0	0	0	0
Z	$N_1$	$N_1$	0	0	0	0	0
Y	$\cos t_M$	$\cos t_M$	$N_1$	0	$N_1 - N_2$	$N_1 - N_2$	0
X	$\varphi_c$	$\sin \varphi_c$	$N_2^{**}$	$N_1 - N_2$	$t_M$	$\sin t_M$	$\operatorname{ctg} A_c$
Нажи- маемые клавиши	$\Pi \rightarrow x 1$	F sin	X	—	$\Pi \rightarrow x 3$	F sin	$\div$

\*  $N_1 = \cos \varphi_c \operatorname{tg} \delta$ ; \*\*  $N_2 = \sin \varphi_c \cos t_M$ .

Из фрагмента схемы наглядно видно, как перемещается и трансформируется информация в регистрах стековой памяти в ходе реализации программы. Поскольку при составлении программы, как правило, появляются "опечатки", то рекомендуется использовать для записи мягкий карандаш.

После завершения написания "развертки" на основе данных последней строки (нажимаемых клавиш) оформляют программу, т. е. "стыкуют" адреса и записывают коды.

Для оперативного контроля при записи программы полезно запомнить формулу наиболее употребительных кодов. Так, формула кода записи числа в какой-либо числовой регистр памяти имеет вид

$$N_K \bar{=} 4N_R,$$

где  $N_K$  — номер кода; 4 — цифра, означающая запись в регистр памяти;  $N_R$  — номер числового регистра.

Следовательно, код записи числа в 5-й регистр памяти соответствует числу 45. Код извлечения числа из числового регистра памяти соответствует формуле

$$N_K = 6N_R,$$

где  $N_K$  — номер кода; 6 — цифра, означающая извлечение числа из регистра памяти;  $N_R$  — номер числового регистра.

Арифметические коды запоминаются легко:

$$"+ " = 10; \quad " \times " = 12;$$

$$"- " = -11; \quad " \div " = 13.$$

Коды записи и извлечения из буквенных регистров памяти соответственно имеют вид

$$x \rightarrow \Pi \left| \begin{array}{c} a \\ b \\ c \\ d \end{array} \right| = 4 \left| \begin{array}{c} - \\ L \\ \square \\ \Gamma \end{array} \right| ; \Pi \rightarrow x \left| \begin{array}{c} a \\ b \\ c \\ d \end{array} \right| = 6 \left| \begin{array}{c} - \\ L \\ \square \\ \Gamma \end{array} \right|$$

В левой колонке приведены символы регистров, а в правой второй — символ кода. Так, например, код записи в регистр *a* будет 4—, а код извлечения из регистра *a* — будет 6—. Полезно иметь под рукой коды тригонометрических функций:

$$\begin{aligned} F \sin &= 1 \square; F \sin^{-1} = 19; \\ F \cos &= 1 \Gamma; F \cos^{-1} = 1-; \\ F \operatorname{tg} &= 1 E; F \operatorname{tg}^{-1} = 1 L. \end{aligned}$$

И, наконец, следует запомнить, что код команды С/П — это число 50. Рекомендуется составить таблицу кодов наиболее часто используемых команд.

В заключение напомним, что программа решения какой-либо задачи представляет собой оптимальный набор операций и команд для автоматического выполнения при условии, что исходные данные введены в соответствии с указанными регистрами.

Ниже приведена программа для расчета счислимой высоты и азимута.

*Программа 2. Расчет счислимой высоты и азимута*

Адрес	00	01	02	03	04	05	06	07	08
Клавиши	$\Pi \rightarrow x 0$	$\div$	+	С/П	$\Pi \rightarrow x 1$	$F \cos$	$\Pi \rightarrow x 2$	$F \operatorname{tg}$	$x$
Код	60	13	10	50	61	1Г	62	1E	12
Адрес	09	10	11	12	13	14	15	16	17
Клавиши	$\Pi \rightarrow x 3$	$F \cos$	$\Pi \rightarrow x 1$	$F \sin$	$\times$	—	$\Pi \rightarrow x 3$	$F \sin$	$\div$
Код	63	1Г	61	1□	12	11	63	1□	13
Адрес	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Клавиши	$F 1/x$	$F \operatorname{tg}^{-1}$	$F x < 0$	24	$\Pi \rightarrow x c$	+	$x \rightarrow \Pi 5$	$\Pi \rightarrow x 3$	F7
Код	23	1L	5□	24	6□	10	45	63	1□
Адрес	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Клавиши	$\Pi \rightarrow x 2$	F 8	X	$\Pi \rightarrow x 5$	F 7	$\div$	F 5	$x \rightarrow \Pi 6$	С/П
Код	62	1Г	12	65	1□	13	1—	46	50

Здесь содержатся две программы: первая (адреса 00—03) служит для перевода углов в градусную меру, а вторая (адреса 04—35) — для расчета счислимой высоты и азимута. При этом для вычисления азимута используются команды с адреса 04 по адрес 24, когда азимут записывается в регистр 5. Для вычисления счислимой высоты используется оставшаяся часть программы с адреса 25.

# Инструкция работы с программой

## Операции

## Нажимаемые клавиши

1. Включите микрокалькулятор, переключатель установите в положение "Г" (градусы)
2. Перейдите в режим "Программирование" F ПРГ
3. Занесите в программу 2
4. Перейдите в режим "Автоматическая работа" F АВТ
5. Занесите исходные данные для решения контрольного примера в регистры:  
 число 60 в регистр 0  
 число 180 в регистр C  
 $\varphi_c$  в регистр 1  
 $\delta$  в регистр 2  
 $t_M$  в регистр 3
6. Вычислите счислимую высоту и азимут светила
7. Сличите полученные данные с контрольными значениями и, если они совпадут, переходите к решению задачи, начиная с третьей позиции п. 5

$60 \times \rightarrow \text{П } 0$   
 $180 \times \rightarrow \text{П } C$   
 $\varphi^\circ, B \uparrow \varphi', B/0 \text{ C/П } x \rightarrow \text{П } 1$   
 $\delta^\circ, B \uparrow \delta', B/0 \text{ C/П } x \rightarrow \text{П } 2$   
 $t_M^\circ, B \uparrow t_M', B/0 \text{ C/П } x \rightarrow \text{П } 3$   
 БП 04 C/П

Для перевода дробной части высоты в дуговые минуты необходимо вычесть целое количество градусов, а оставшуюся часть умножить на 60; число 60 вызывается из регистра 0.

Широта считается всегда положительной. Склонение считается положительным, если одноименно с широтой  $\varphi_c$ , и отрицательным, если разноименно с  $\varphi_c$ .

Пример. Дано:  $\varphi_c = 38^\circ 38,0' \text{ N}$ ;  $\delta = 16^\circ 19,9' \text{ N}$ ;  $t_M = 3^\circ 11,8' \text{ W}$ . Требуется вычислить  $h_c$  и  $A_c$ .

Решение. Предположим, что выполнены пп. 1–4 Инструкции работы с программой для расчета счислимой высоты и азимута. Поэтому переходим к выполнению п. 5 – занесению исходных данных в соответствующие регистры памяти:

60		$x \rightarrow \text{П } 0$			
180		$x \rightarrow \text{П } C$			
38	B $\uparrow$	38	B/0	C/П	(38,633333) $x \rightarrow \text{П } 1$
16	B $\uparrow$	19,9	B/0	C/П	(16,331667) $x \rightarrow \text{П } 2$
3	B $\uparrow$	11,8	B/0	C/П	(3,196667) $x \rightarrow \text{П } 4$

После ввода исходных данных нажимаем клавиши БП 04 C/П и ждем завершения цикла вычислений (примерно 25 с). На индикаторе высвечивается значение счислимой высоты:

$h_c = 67,52286^\circ$ . Для определения десятых долей градуса и перевода в дуговые минуты поступаем следующим образом: вычитаем целое число градусов, нажимая клавиши  $\boxed{67} \boxed{-}$ . На индикаторе получим:  $5,2286^\circ \cdot 10^{-1}$ ;

нажимаем клавиши  $\text{П} \rightarrow x \rightarrow 0$ , на индикаторе высвечивается число 60. Нажимаем клавишу операции умножения, на индикаторе высвечивается число 31,3716, следовательно,  $h_c = 67^\circ 31,4'$ .

Для вызова азимута из регистра 5 на индикатор нажимаем клавиши  $\text{П} \rightarrow x \rightarrow 5$ , тогда на индикаторе высветится число 171,95377. Следовательно,  $A_c = 172^\circ$ . Так как первая буква азимута полукругового счета одноименна с широтой, а вторая – с наименованием практического часового угла, то окончательно получим  $A_c = 172^\circ 0 \text{ NW}$ .

Теперь рассмотрим программу, в которой вместо обсервованной

высоты вычисляется перенос высотной линии положения. Так как эта программа незначительно отличается от предыдущей, то ограничимся лишь описанием различий в программах.

Размещение исходных данных и конечных результатов показано в табл. 3.

Таблица 3. Размещение исходных данных и конечных результатов

Параметр	Обозначение	Символ регистра
Константа 60	—	0
Константа 180	—	c
Счислимая широта	$\varphi_c$	1
Склонение светила	$\delta$	2
Местный часовой угол светила	$t_m$	3
Обсервованная высота светила	$h_0$	4
Счислимая высота светила	$h_c$	6
Счислимый азимут светила	$A_c$	5

Программа вычислений переноса высотной линии положения будет отличаться наличием дополнительных адресов:

Программа 3. Вычисление переноса высотной линии положения

Адрес	25	36	37	38	38	40
Клавиши	$\Pi \rightarrow x$ 4	$\leftrightarrow$	$\sim$	$\Pi \rightarrow x$ 0	x	C/П
Код	64	14	11	60	12	50

Видно, что программа увеличивается на 5 адресов, но обретает иное качество — удобство пользования, которое уменьшает вероятность возникновения ошибки при расчете переноса высотной линии положения.

В Инструкции по использованию этой (модифицированной) программы в п. 5 добавится одна строка:

“ $h_0$  — в регистр 4;  $h_0^\circ \text{ В} \uparrow h_0' \text{ В/0 C/П } x \rightarrow \Pi 4$ ”.

После завершения цикла вычислений на индикаторе высветится перенос высотной линии положения, выраженный в дугowych минутах.

Если для предыдущего примера примем  $h_0 = 67^\circ 33,4'$ , то после выполнения п. 6 Инструкции получим

$$h_0 - h_c = +2,0'.$$

**Расчет средней квадратической погрешности измерений.** Рассмотрим программу, в которой использованы команды косвенной записи и индикации, а также организации циклов.

Исходные формулы:

$$l_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} l_i \quad (4); \quad m = \left( \frac{\sum_{i=1}^{i=n} v_i^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}}; \quad (5)$$

$$m_0 = \frac{m}{\sqrt{n}}; \quad (6)$$

$$v_i = l_i - l_0, \quad (7)$$

где  $l_i$  – измеренные величины;  $l_0$  – среднее арифметическое измеренных величин;  $m$  – средняя квадратическая погрешность одиночного измерения;  $m_0$  – средняя квадратическая погрешность арифметического среднего;  $i = 1, 2, \dots, n$ , где  $n$  – количество измерений в серии;  $v_i$  – отклонение от арифметического среднего.

Размещение исходных данных дано в табл. 4, программа расчета средней квадратической погрешности приведена ниже.

Таблица 4. Размещение исходных данных и результатов

Параметр	Обозначение	Символ регистра
Измерение величины	$l_i$	d, c .. a, 9, 8 .. 5
Количество измерений	$n$	1, 2
Константа 14	–	0
Средняя квадратическая погрешность одиночного измерения	$m$	1
арифметического среднего	$m_0$	X
Арифметическое среднее	$l_0$	3

Программа 4. Расчет средней квадратической погрешности

Адрес	00	01	02	03	04	05	06	07	08
Клавиши	K x → П 0	C/П	П → x 3	K П → x 0	+	x → П 3	FL 1	03	П → x 2
Код	L 0	50	63	Г 0	10	43	5 L	03	62

Адрес	09	10	11	12	13	14	15	16	17
Клавиши	x → П 1	÷	x → П 3	1	4	x → П 0	П → x 3	K П → x 0	–
Код	41	13	43	01	04	40	63	Г 0	11

Адрес	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Клавиши	F x <sup>2</sup>	П → x 4	+	x → П 4	FL 1	15	П → x 2	1	–
Код	22	64	10	44	5	15	62	01	11

Адрес	27	28	29	30	31	32	33
Клавиши	÷	F √	x → П 1	П → x 2	F √	÷	C/П
Код	13	21	41	62	21	13	50

#### Инструкция работы с программой

##### Операция

##### Нажимаемые клавиши

1. Включите микрокалькулятор
2. Переведите его в режим "Программирование"
3. Введите программу в память микрокалькулятора (см. программу 4)

F ПРГ

4. Переведите микрокалькулятор в режим "Автоматическая работа"	F ABT
5. Введите число 14 в регистр 0	14 x → П 0
6. Введите последовательно измеренные величины в соответствующие регистры памяти	(I <sub>i</sub> ) B/0 C/П
7. Занесите число $n$ в регистры 1 и 2	$n x \rightarrow П 1, x \rightarrow П 2$
8. Повторно введите число 14 в регистр 0	14 x → П 0
9. Решите задачу	БП 02 C/П
10. Извлеките из регистра 1 значение $m$	П → x 1
11. Извлеките из регистра 3 значение $l_0$	П → x 3

Следует иметь в виду, что предложенная программа пригодна для  $n \leq 9$ .

При повторном решении задачи необходимо произвести очистку регистров 3 и 4 и выполнить действия, изложенные в пп. 5–11 Инструкции.

#### Пример.

С помощью РЛС измерили 8 раз расстояние до объекта. При этом получили следующие значения в милях:

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8
$D_i$	5,7	6,0	6,6	5,8	5,7	6,4	6,5	6,7

Требуется оценить точность измерений с помощью средней квадратической погрешности.

#### Решение.

Сначала выполняем пп. 1–4 Инструкции, а затем вводим исходные данные и константы.

	Нажимаемые клавиши	Индикация
5.	14 x → П 0	14
6.	5.7 B/0 C/П	5.7
	6 B/0 C/П	6.
	6.6 B/0 C/П	6.6
	(таким же способом вводим все 8 измеренных величин)	
7.	14 x → П 0	14.
8.	8 x → П 1 x → П 2	8.
9.	БП 02 C/П	1.485 ... -01 ( $m_0$ )
10.	П → x 1	4.20 ... -01 ( $m$ )
11.	П → x 3	6.175 ( $l_0$ )
	Ответ: $m = \pm 0,42$ мили; $m_0 = \pm 0,15$ мили;	
	$D_0 = l_0 = 6,2$ мили.	

**Краткие пояснения к структуре программы.** В данной программе использованы команды косвенной записи и индикации.

По адресам 00–01 записаны команды косвенной записи измеренных величин в регистры памяти, начиная с регистра  $d$  (вот почему в регистр 1 записано число 14).

По адресам 02–07 записаны команды по расчету суммы измеренных величин. Здесь использована команда организации циклов (адреса 06 и 07). Она реализуется следующим образом. Предварительно в

регистр 1 записывается число наблюдений. При каждом нажатии комбинации клавиш (микрокалькулятор эту команду выполняет автоматически) происходит обращение к регистру 1 и из находящегося там числа вычитается 1. Если содержимое регистра X не равно нулю, то микрокалькулятор выполняет команду, записанную по адресу перехода (03) непосредственно за командой цикла, если же содержимое регистра X будет равно нулю, то микрокалькулятор будет выполнять команду, которая записана в программе после адреса перехода, т. е. извлечет из регистра 2 число, равное количеству измерений  $n$ , и занесет его в регистр 1. Далее, по адресам 09–11 записаны команды расчета арифметического среднего  $\bar{l}_0$  и занесения полученного числа в регистр 3, где до этого находилась сумма измеренных величин. После этого (адреса 12–14) производится запись числа 14 в регистр 0.

По адресам 15–23 записаны команды организации цикла для расчета суммы квадратов отклонений и записи полученной суммы в регистр 4.

По адресам 24–29 записаны команды расчета средней квадратической погрешности одиночного измерения  $m$  и занесения ее в регистр 1 (где хранилось до этого число  $n$ ), а по адресам 30–33 (с учетом результата, полученного по команде, занесенной по адресу 29) записаны команды расчета средней квадратической погрешности арифметического среднего. Как видно из изложенного, измеренные величины  $l_i$  после их ввода остаются в тех же регистрах памяти d, c, ..., b и могут быть использованы при необходимости для повторного решения.

Если во время ввода измеренных величин произойдет ошибка, т. е. будет введено в какой-либо регистр памяти другое число, то для исправления ошибки необходимо:

набрать нужное число;

занести его в соответствующий регистр памяти обычным способом, т. е. путем нажатия клавиш  $x \rightarrow \Pi N$ , где N – индекс или номер регистра, определяемый по аргументу  $i$ , т. е. порядковому номеру измеренной величины, как указано ниже.

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N	d	c	b	a	9	8	7	6	5

**Пример.** При вводе в память микрокалькулятора 5-й измеренной величины была допущена ошибка: вместо числа 8,7, было занесено число 9,7. Необходимо устранить ошибку.

**Решение.**

1. По аргументу  $i = 5$  находим номер регистра памяти микрокалькулятора:  $N = 9$ .

2. Набираем на индикаторе число 8,7 и заносим в регистр 9 нажатием клавиш  $x \rightarrow \Pi 9$ . Эта коррекция может осуществляться как в процессе ввода чисел, так и после ввода всей серии, т. е. если ошибка будет обнаружена при проверке правильности ввода измеренных величин.

**Расчет плеч статической остойчивости.** Плечо статической остойчи-

ности является мерой статической остойчивости. Это обстоятельство использовано Регистром СССР (а также классификационными организациями других стран) при нормировании статической остойчивости. На практике необходимость расчета плеча статической остойчивости возникает в критических ситуациях, когда нагрузка судна необычна, т. е. когда критическая аппликата центра масс становится недействительной. В связи с тем что в повседневной работе судоводителю такую задачу решать не приходится, очень важно иметь программу, с помощью которой можно быстро решить ее.

В приведенной программе представляет интерес способ автоматического расчета угла крена без использования команды организации циклов. Это достигается тем, что к предыдущему значению угла крена прибавляется приращение угла  $\delta\theta$ , а полученное значение угла снова записывается в регистр 2 и одновременно используется для расчета  $l_\theta$ .

Исходная формула:

$$l_\theta = l_k - z_g \sin \theta, \quad (8)$$

где  $l_\theta$  — плечо статической остойчивости, м;  $l_k$  — плечо остойчивости формы относительно основной, м;  $z_g$  — аппликата центра масс судна, м;  $\theta$  — угол крена, градусы.

Исходную формулу представим в следующем виде:

$$l_\theta = l_k - z_g \sin (\theta_{n-1} + \delta\theta), \quad (9)$$

где  $\theta_{n-1}$  — предыдущее значение угла крена, градусы;  $\delta\theta$  — приращение угла крена, градусы.

Размещение исходных данных, промежуточных вычислений и конечного результата приведено в табл. 5.

Таблица 5. Размещение исходных данных и результата

Параметр	Обозначение	Символ регистра
Плечо остойчивости формы	$l_k$	X
Аппликата центра массы судна	$z_g$	0
Приращение угла крена	$\delta\theta$	1
Текущее значение угла крена	$\theta$	2
Плечо статической остойчивости	$l_\theta$	X

Программа вычислений приведена ниже.

*Программа 5. Расчет плеч статической остойчивости*

Адрес	00	01	02	03	04	05	06	07	08
Клавиши	П → x 0	П → x 1	П → x 2	+	x → П 2	F sin	x	—	C/П
Код	60	61	62	10	42	1□	12	11	50



# Инструкция работы с программой

## Операции

## Нажимаемые клавиши

1. Включите микрокалькулятор
2. Перейдите в режим "Программирование" F ПРГ
3. Занесите программу 5
4. Перейдите в режим "Автоматическая работа" F АВТ
5. Занесите константы  $z_g$  и  $\delta\theta$  в регистры 0 и 1 соответственно  $z_g \times \rightarrow \Pi 0$   
 $\delta\theta \times \rightarrow \Pi 1$
6. Проведите очистку регистра 2 (с целью приобретения навыка по выполнению этой операции) Cx x  $\rightarrow \Pi 2$
7. Занесите  $l_k$  для  $\theta = 10^\circ$  в регистр x (на индикатор)
8. Проведите 1-й цикл вычислений В/О С/П
9. Снимите с индикатора значение  $l_\theta$  для  $\theta = 10^\circ$

Отметим особенности решения задачи.

1. Второй и последующий циклы вычислений выполняются так, как это указано в пп. 7–9 Инструкции.

2. При повторном нажатии клавиш В/О и С/П угол  $\theta$  увеличивается на  $10^\circ$ , поэтому при одном и том же значении  $l_k$  повторное вычисление  $l_\theta$  без коррекции угла  $\theta$  приведет к ошибочному результату.

3. Для расчета плеч статической остойчивости при других значениях водоизмещения, но неизменной аппликате центра масс судна необходимо выполнить Инструкцию, начиная с п. 6.

**Пример.** Дано: судно типа СРТМ 502-Э,  $\Delta = 1082,7$  т;  $z_g = 4,12$  м;  $\rho = 1,025$  т/м<sup>3</sup>;  $K_\nabla = 1,006$  (коэффициент выступающих частей);  $\theta = 0 \div 80^\circ$ . Требуется рассчитать плечи статической остойчивости  $l_\theta$ .

**Решение.**

1. Находим теоретическое объемное водоизмещение судна:

$$\nabla_0 = \frac{1082,7}{1,006 \cdot 1,025} = 1050 \text{ м}^3.$$

2. По аргументам  $\nabla_0$  и  $\theta$  находим плечи остойчивости формы  $l_k$  и заносим в табл. 6.

Таблица 6. Результаты расчета плеч статической остойчивости

Параметр	Числовое значение								
$\theta^\circ$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$l_k$ , м	0,0	0,84	1,67	2,43	3,15	3,71	4,07	4,26	4,30
$l_\theta$ , м	0,0	0,12	0,26	0,37	0,50	0,55	0,50	0,39	0,24

3. Выполнив действия, указанные в Инструкции, получим  $l_\theta$  (нижняя строка таблицы).

Программа для расчета координат центра масс (тяжести) судна. Исходные формулы имеют вид

$$x_g = \frac{\Delta_0 x_{g_0} + P_1 x_1 + \dots + P_n x_n}{\Delta_0 + P_1 + \dots + P_n} = \frac{M_{x_0} + \dots + M_{x_n}}{\Delta} = \frac{M_x}{\Delta}; \quad (10)$$



Адрес	14	15	16	17	18	19	20
Клавиши	$\Pi \rightarrow x 1$	$\Pi \rightarrow x a$	+	$x \rightarrow \Pi a$	C/П	$\Pi \rightarrow x 6$	$\Pi \rightarrow x a$
Код	61	6-	10	4-	50	66	6-

---

Адрес	21	22	23	24	25	26	27
Клавиши	$\div$	$x \rightarrow \Pi 8$	$\Pi \rightarrow x 7$	$\Pi \rightarrow x a$	$\div$	$x \rightarrow \Pi 9$	C/П
Код	13	48	67	6-	13	49	50

## Инструкция работы с программой

## Операции

Нажимаемые  
клавиши

1. Включите микрокалькулятор
2. Переведите микрокалькулятор в режим "Программирование" F ПРГ
3. Занесите в память микрокалькулятора программу 6
4. Переведите микрокалькулятор в режим "Автоматическая работа" F АВТ
5. Проведите очистку регистров 6, 7, а  
(с целью приобретения навыка выполнения этой операции в необходимых случаях)  $C_x$   $x \rightarrow \Pi 6$   
 $x \rightarrow \Pi 7$   $x \rightarrow \Pi a$
6. Проведите первый (контрольный) цикл вычислений
- 6.1. Введите исходные данные в соответствующие регистры памяти  $\Delta_0$   $x \rightarrow \Pi 1$   
 $x_{g_0}$   $x \rightarrow \Pi 2$   
 $z_{g_0}$   $x \rightarrow \Pi 3$   
В/0 C/П  
 $\Pi \rightarrow x 4$   
( $M_{x_0}$ )  
 $\Pi \rightarrow x 5$   
( $M_{z_0}$ )  
 $\Pi \rightarrow x 6$   
( $M_{x_0}$ )  
 $\Pi \rightarrow x 7$   
( $M_{z_0}$ )  
БП 19 C/П  
( $z_{g_0}$ )  
 $\Pi \rightarrow x 8$   
( $x_{g_0}$ )
- 6.2. Проведите цикл вычислений моментов
- 6.3. Проверьте содержимое 4-го регистра памяти и сличите со значением  $M_{x_0}$
- 6.4. Проверьте содержимое 5-го регистра памяти и сравните его со значением  $M_{z_0}$
- 6.5. Проверьте содержимое 6-го регистра памяти и сличите его со значением  $M_{x_0}$
- 6.6. Проверьте содержимое 7-го регистра памяти и сличите его со значением  $M_{z_0}$
- 6.7. Проведите цикл вычислений координат и сличите полученное значение с величиной  $z_{g_0}$
- 6.8. Извлеките содержимое 8-го регистра памяти и сличите его со значением  $x_{g_0}$
7. Проведите второй цикл вычислений
- 7.1. Введите исходные данные в соответствующие регистры памяти  $P_1$   $x \rightarrow \Pi 1$   
 $x_1$   $x \rightarrow \Pi 2$   
 $z_1$   $x \rightarrow \Pi 3$   
В/0 C/П  
 $\Pi \rightarrow x 4$  ( $M_{x_1}$ )  
 $\Pi \rightarrow x 5$  ( $M_{z_1}$ )
- 7.2. Вычислите моменты и сумму масс
- 7.3. Извлеките из соответствующих регистров памяти  $M_{x_1}$  и  $M_{z_1}$  для записи в таблицу расчетов (по форме, принятой в Информации об остойчивости судна)
8. Проведите, как указано в п. 7, операции для всех статей нагрузки, учитывая, что статья "Судно порожнем" уже введена

$P_i$  $x_i$  $z_i$  $x \rightarrow \Pi 1$  $x \rightarrow \Pi 2$  $x \rightarrow \Pi 3$ 

В/0 С/П

 $\Pi \rightarrow x 4 (M_{xi})$  $\Pi \rightarrow x 5 (M_{zi})$ 

БП 19 С/П

9. Проведите расчет  $x_g$  и  $z_g$ 

Следует помнить, что при снятии груза его масса  $P$  вводится со знаком минус, т. е. после ввода  $P$  в регистр X (на индикатор) нужно нажать клавишу /-/-; координаты  $(x, z)$  вводятся без изменений.

При пересчете координат центра масс судна после расходования части груза, а также в случае пополнения запасов нужно:

использовать результаты, полученные в предыдущем случае на грузки  $(\Delta, x_g, z_g)$ ;

снять те статьи на грузки (с их прежними данными), которые подвергнуты изменению;

ввести снова те же статьи на грузки с данными по состоянию на момент расчета;

вычислить координаты центра тяжести судна после коррекции на грузки.

Для того чтобы индицировать значение  $M_{xi}$ , необходимо увеличить программу на один шаг, т. е. по адресу 18 записать команду  $\Pi \rightarrow x 4$ . Однако в этом случае произойдет смещение всех команд (после адреса 18) на единицу. Следовательно, расчет координат необходимо выполнять по команде БП 20 С/П.

**Второй вариант программы.** Анализ хода решения данной задачи (в каждом цикле вычислений в первой части программы вводятся три величины) и возможностей стековой памяти микрокалькулятора (имеет четыре регистра) позволил установить возможность упрощения ввода исходных данных в каждом цикле путем использования трех регистров для хранения введенной информации, а четвертый регистр (Т) для блокировки от ошибочного ввода. Действительно, если ввод исходных данных  $(P_i, x_i, z_i)$  произведен правильно, то в регистре Т должен быть нуль. В связи с этим в программе предусмотрено условие (команды по адресам 5–7, 39): если в регистре Т (после ввода исходных данных) окажется число, отличное от нуля, то микрокалькулятор должен высветить сигнал (ЕГГОГ – ошибка!). Отметим, что сигнал формируется одной командой – К7. Далее в программе предусмотрен счетчик циклов (команды по адресам 25–28).

Распределение исходных данных и промежуточных результатов показано ниже.

Параметр	$P_i$	$x_i$	$z_i$	$M_{xi}$	$M_{zi}$	$M_x$	$M_z$	$x_g$	$z_g$	$\Delta$	К
Регистр	Z/1	Y/2	X/3	4	5	6	7	8	9	a	0

Исходные данные вводятся в стековые регистры (X, Y, Z), а хранятся (до очередного цикла вычислений) в регистрах 1, 2, 3 соответ-

венно. На индикаторе высвечивается, а в регистре 0 хранится текущее количество циклов вычислений К.

Как указано выше, в программе вычислений предусмотрена блокировка от ошибочного ввода данных. Сущность блокировки заключается в том, что в процессе вычислений автоматически проверяется содержимое стекового регистра Т на нуль. Если это условие не соблюдается, на индикаторе высвечивается сигнал ЕГГОГ (ошибка). Таким образом, при срабатывании блокировки надо нажать клавишу Сх и заново ввести исходные данные того же цикла вычислений. Отметим, что если до ввода данных в регистре Х (на индикаторе) будет какое-либо число, отличное от нуля, то после ввода данных ( $P_i, x_i, z_i$ ) оно окажется в регистре Т, и тогда в процессе вычислений сработает блокировка, хотя данные будут введены правильно (без лишних нажатий клавиши В↑). Следовательно, перед каждым очередным циклом вычислений необходимо производить очистку индикатора путем нажатия клавиши Сх (см. п. 12 Инструкции по применению программы).

Программой предусмотрено совмещение первого цикла вычислений с решением контрольного примера (см. п. 6—11 Инструкции). В Информации об остойчивости судна приводятся данные для состояния судна без груза, которые используются при определении массового водоизмещения и координат центра масс судна. Поэтому, используя эти данные, можно решить сразу две задачи.

Цикл вычислений в общем случае предусматривает два этапа и следующие операции:

очистка регистра Х путем нажатия Сх;

ввод данных путем последовательного набора на индикатор числовых значений  $P_i, x_i, z_i$  и нажатия клавиши В↑ после набора  $P_i$ , а затем после набора  $x_i$ ;

вычисление статических моментов массы нажатием клавиш В/О С/П (после завершения цикла вычислений на индикаторе высвечивается число циклов);

индцирование статических моментов  $M_{x_i}$  и  $M_{z_i}$  (для записи в таблицу) путем нажатия клавиш П → х 4 и П → х 5;

расчет координат центра масс судна путем нажатия клавиш БП 30 С/П после того, как будут произведены все циклы вычислений;

индикация статических моментов  $M_x$  и  $M_z$  путем нажатия клавиш П → х 6 и П → х 7 соответственно;

индикация координат центра массы судна и массового водоизмещения путем нажатия клавиш:

П → х 8 —  $x_g$ ;

П → х а —  $\Delta$ ;

П → х 9 —  $z_g$ .

Следует помнить, что:

после каждого цикла вычислений на индикаторе высвечивается число, соответствующее количеству циклов вычислений;

после завершения вычислений, выполненных по команде БП 30 С/П, на индикаторе высвечивается число, соответствующее значению  $z_g$ .

Если необходимо исключить какой-то цикл вычислений или снять какую-либо статью нагрузки, то необходимо набрать число, соответствующее  $P$ , со знаком минус и числа, соответствующие координатам  $x$  и  $z$ , со своими знаками и произвести вычисления, т. е. нажать клавиши:  $P \text{ /-/ } B \uparrow x \text{ } B \uparrow z \text{ } B/0 \text{ } C/P$ .

После проведения вычислений следует уменьшить текущее значение показания счетчика на 2 единицы (вычесть 2), а результат занести в нулевой регистр памяти.

Для отработки навыков использования предложенных программ рекомендуется использовать типовые варианты нагрузки судна, приведенные в информации об остойчивости судна.

*Программа 7. Расчет координат центра масс судна (второй вариант)*

Адрес	00	01	02	03	04	05	06	07
Клавиши	$x \rightarrow P \ 3$	$F \ \Phi$	$x \rightarrow P \ 2$		$x \rightarrow P \ 1$	$F \ \Phi$	$F \ x=0$	
Код	43	25	42	25	41	25	5E	39

---

Адрес	08	09	10	11	12	13	14	15
Клавиши	$F \ \Phi$	$P \rightarrow x \ 1$	$x$	$x \rightarrow P \ 5$	$P \rightarrow x \ 7$	$+$	$x \rightarrow P \ 7$	$F \ \Phi$
Код	25	61	12	45	67	10	47	25

---

Адрес	16	17	18	19	20	21	22	23
Клавиши	$x$	$x \rightarrow P \ 4$	$P \rightarrow x \ 6$	$+$	$x \rightarrow P \ 6$	$P \rightarrow x \ 1$	$P \rightarrow x \ a$	$+$
Код	12	44	66	10	46	61	6-	10

---

Адрес	24	25	26	27	28	29	30	31
Клавиши	$x \rightarrow P \ a$	1	$P \rightarrow x \ 0$	$+$	$x \rightarrow P \ 0$	С/П	$P \rightarrow x \ 6$	$P \rightarrow x \ a$
Код	4-	01	60	10	40	50	66	6-

---

Адрес	32	33	34	35	36	37	38	39
Клавиши	$\div$	$x \rightarrow P \ 8$	$P \rightarrow x \ 7$	$P \rightarrow x \ a$	$\div$	$x \rightarrow P \ 9$	С/П	К 7
Код	13	48	67	6-	13	49	50	34

Использование программы рассмотрим на конкретном примере в совмещенном варианте, т. е. инструкция по использованию программы совмещена с примером.

**Пример.** Дано: судно типа БМРТ пр. 394;  $\Delta_0 = 2390$  т;  $x_{g_0} = -2,75$  м;  $z_{g_0} = 6,35$  м;  $M_{x_0} = -6572,5$  т · м;  $M_{z_0} = 15176,5$  т · м; нагрузка судна характеризуется табличными данными (табл. 8).

Требуется рассчитать  $x_g$  и  $z_g$ .

Нажимаемые клавиши	Индикация	Действие
1.	0.	Включают МК
2. F ПРГ	00	Переводят МК в режим "Программирование"
3.	3 кода №№	Набирают программу 7, контролируя коды и адреса путем сличения

4.	F АВТ	0.	Переводят МК в режим "Автоматическая работа"
5.	Cx $x \rightarrow П$ 0 $x \rightarrow П$	0	Производят очистку регистров 0, 6, 7, а
6.	2390 В† 2,75 /-/ В† 6,35 В/0 С/П	1	Производят первый (контрольный) цикл вычислений
7.	П $\rightarrow x$ 6	-6572,5	Проводят проверку программы путем сличения вычисленных и контрольных данных соответственно
8.	П $\rightarrow x$ 7	15176,5	
9.	П $\rightarrow x$ а	2390,0	
10.	БП 30 С/П	6,35	
11.	П $\rightarrow x$ 8	-2,75	Проводят очистку регистра X
12.	Cx	0.	
13.	54,8 В† 25,3 В† 1,8 В/0 С/П	2.	
14.	П $\rightarrow x$ 4	1386,44	
15.	П $\rightarrow x$ 5	98,64	$M_{x_2}$ $M_{z_2}$
16.	Cx	0.	
			Проводят очистку регистра X

Аналогично проводят все последующие циклы вычислений по 18-й включительно.

После этого переходят к вычислению  $x_g$  и  $z_g$ .

Нажимаемые клавиши	Индикация	Примечание
БП 30 С/П	5,17	$z_g$
П $\rightarrow x$ 8	-1,43	$x_g$
П $\rightarrow x$ а	3662,4	$\Delta$

Таблица 8. Статьи нагрузки

№ п/п	Статья нагрузки	Параметр				
		P, т	x, м	z, м	$M_x$ , т·м	$M_z$ , т·м
1.	Судно порожнем	2390,0	-2,75	6,35	-6572,5	15176,5
2.	Цистерна ДТ-1 10-27шп ПрБ	54,8	25,3	1,8	1386,44	98,64
3.	Цистерна ДТ-2 10-27шп ЛБ	54,8	25,3	1,8	1386,44	98,64
4.	Цистерны ДТ-3 и ДТ-4 27-48шп ПрБ и ЛБ	176,8	14,5	1,8	2563,6	318,24
5.	Цистерна ДТ-5 27-48шп ДП	138,4	14,5	1,65	2006,8	228,36
6.	Цистерны ДТ-6 и ДТ-7 58-82шп ПрБ и ЛБ	61,4	-3,6	0,65	-221,04	39,91
7.	Цистерна ДТ-8 58-63шп ДП	14,4	1,2	0,57	17,28	8,21
8.	Цистерна ДТ-9 63-82шп ДП	41,9	-5,50	0,57	-230,45	24,30
9.	Цистерна ДТ-10 69-74шп ЛБ	12,9	-5,4	3,0	-69,66	38,7
10.	Цистерна ДТ-11 71-77шп ПрБ	9,4	-7,0	3,2	-65,8	30,1
11.	Котельное топливо	225,7	-16,97	2,07	-3830,1	467,2

№ п/п	Статья нагрузки	Параметр				
		$P, \text{т}$	$x, \text{м}$	$z, \text{м}$	$M_x, \text{т} \cdot \text{м}$	$M_z, \text{т} \cdot \text{м}$
12.	Пресная вода	226,1	-0,48	3,58	-108,5	809,4
13.	Котельная вода	59,4	5,94	3,40	352,8	201,96
14.	Смазочное масло	47,6	-7,27	2,97	-346,0	141,4
15.	Тара и соль	52,8	-4,6	5,3	-242,9	279,8
16.	Провизия	32,0	8,74	9,42	279,7	301,4
17.	Экипаж с багажом	13,8	7,5	8,6	103,5	118,7
18.	Промвооружение	50,2	-35,6	10,8	-1787,1	542,2
Итого судно в случае нагрузки		3662,4	-1,47	5,17	-5377,6	18896,7

Программы для расчета инерционно-тормозных характеристик судна. Общие сведения. В правиле 6 МППСС-72 записано, что каждое судно должно всегда следовать с безопасной скоростью с тем, чтобы оно могло предпринять надлежащее и эффективное действие для предупреждения столкновения и могло быть остановлено в пределах расстояния, требуемого при существующих обстоятельствах и условиях. В числе факторов, которые необходимо учитывать при выборе безопасной скорости, должны быть следующие: маневренные возможности судна, и в особенности расстояние, необходимое для полной остановки судна; поворотливость судна в преобладающих условиях.

Таким образом, знание инерционно-тормозных характеристик крайне необходимо судоводителю при всех обстоятельствах плавания (ветер, волнение, степень обрастания корпуса, состояние нагрузки и посадки судна), особенно при совместном плавании в условиях большой плотности судопотока. Если суда морского флота практически ежемесячно могут производить испытания на мерной линии, то суда рыбопромыслового флота, находящиеся в море длительное время, лишены этой возможности. Следовательно, наша задача состоит в том, чтобы дать судоводителю промыслового флота метод, который позволял бы ему самостоятельно определять инерционно-тормозные характеристики судна опытно-расчетным путем в открытом море при различной загрузке и степени обрастания корпуса.

Как известно, существуют методы определения маневренных элементов судна, основанные на "абсолютной" привязке судна относительно береговых ориентиров, однако, как уже указывалось выше, они непригодны для применения в открытом море. В основном судоводители пользуются данными маневренных элементов, полученных при заводских испытаниях серийных (головных) судов. Однако, как показывает сравнение их с результатами специальных наблюдений, в большинстве случаев они не более точны, чем результаты судовых наб-



людений, выполненных в ходе эксплуатации. В связи с этим необходимость определения инерционно-тормозных характеристик в условиях плавания очевидна.

В практике управления судном существует два способа торможения судна: активное и пассивное.

В первом случае торможение судна производится работой движителя на задний ход, а во втором — инерция судна гасится сопротивлением воды движению судна. Отметим, что активное торможение, в свою очередь, распадается на два этапа.

1. Предварительный — с момента подачи команды (машинным телеграфом) до момента времени, когда движитель станет работать на задний ход (для упрощения задачи будем полагать, что переходный процесс отсутствует). Этот этап по существу представляет собой период пассивного торможения.

2. Период активного торможения — от момента начала работы винта на задний ход до полной остановки судна.

С целью упрощения вопроса и сохранения основных закономерностей движения судна, имея в виду цель — предложить судоводителю наиболее простой и удобный математический аппарат для использования непосредственно в судовых условиях, предположим, что погода штилевая, судно не имеет ни крена, ни дифферента; движение судна в период торможения — прямолинейное; сила упора винта (фиксированного шага) при заданном режиме движения судна на заднем ходу остается практически постоянной.

П а с с и в н о е т о р м о ж е н и е. Исходные уравнения:

$$v = v_0 e^{-\frac{K}{m_1} S}; \quad (12)$$

$$t = \frac{m}{K v_0} \left( e^{\frac{K}{m_1} S} - 1 \right). \quad (13)$$

Приводим их к следующему виду:

$$\frac{v}{v_0} = e^{-\frac{K}{m_1} S}; \quad (14)$$

$$v_0 t = \frac{m_1}{K} \left( e^{\frac{K}{m_1} S} - 1 \right), \quad (15)$$

где  $v_0$  — начальная скорость судна, м/с;  $v$  — мгновенная скорость судна;  $e$  — основание натуральных логарифмов;  $S$  — тормозной путь судна, м;  $K$  — гидродинамический коэффициент,  $\text{Н} \cdot \text{м}^{-1}$ ;  $t$  — время торможения, с;  $m_1$  — масса судна с учетом присоединенной массы воды, кг ( $m_1 \approx 1,1 \Delta \cdot 10^3$ ).

Для учебных целей величину  $K$  рекомендуется определять по формуле

$$K = \Delta^{2/3} g,$$

где  $\Delta$  – масса (водоизмещение) судна, т;  $g = 9,81$  – ускорение свободного падения,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$ .

Так, для  $\Delta = 3200$  т получим  $K = 217,153 \cdot 9,81 = 2130,3 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}$ .

Для решения уравнений (14) и (15) составим программу.

Распределим исходные данные по соответствующим регистрам памяти, как показано ниже.

Параметры Регистры	1,94 0	$K$ 1	$m_1$ 2	$\delta S$ 3	$S$ 4	$K/m_1$ 5	$v/v_0$ 6	$v_0 t$ X
<b>Программа 8. Расчет тормозных характеристик при пассивном торможении</b>								
Адрес	00	01	02	03	04	05	06	
Клавиша	П → x 1	П → x 2	÷	x → П 5	П → x 3	П → x 4	+	
Код	61	62	13	45	63	64	10	
Адрес	07	08	09	10	11	12	13	
Клавиша	x → П 4	x	/-/	Fc <sup>x</sup>	x → П 6	П → x 0	П → x 5	
Код	44	12	0L	16	46	60	65	
Адрес	14	15	16	17	18	19	20	
Клавиши	÷	П → x 6	F 1/X	1	–	x	C/П	
Код	13	66	23	01	11	12	50	

### Инструкция работы с программой

Операции	Нажимаемые клавиши
1. Включите МК	
2. Перейдите в режим "Программирование"	F ПРГ
3. Занесите программу 8	
4. Перейдите в режим "Автоматическая работа"	F АВТ
5. Занесите исходные данные в соответствующие регистры памяти:	
$K$ – в регистр 1	$K$ x → П 1
$m_1$ – в регистр 2	$m_1$ x → П 2
$\delta S$ – регистр 3	$\delta S$ x → П 3
1,94 – в регистр 0	1,94 x → П 0
6. Проведите очистку регистра 4 (если до этого МК был в работе)	Cx x → П 4
7. Проведите первый цикл вычислений	V/0 C/П
8. Занесите с индикатора в таблицу полученное значение $v_0 t$	
9. Извлеките из регистра 6 на индикатор полученное значение $v/t_0$	П → x 6
10. Занесите полученное значение $v/v_0$ в таблицу	
11. Проведите второй и последующие циклы вычислений	V/0 C/П

**Пример.** Дано:  $m = 3200$  т;  $m_1 = 352 \cdot 10^4$  кг;  $K = 2130,3 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}$ ;  $S = 0 - 3500$  м.

Требуется рассчитать  $v/v_0$  и  $v_0 t$ .

Решение. 1) Принимаем  $\delta S = 500$  м. 2) Выполняем операции, указанные в пп. 1–4 Инструкции, регламентирующей работы с этой программой. 3) Заносим исходные данные в соответствующие регистры памяти и проводим очистку регистра 4.

Нажимаемые клавиши	Индикация
2130.3 x → П 1	2130,3
352 ВП 0 4 x → П 2	3520000
500 x → П 3	500
1,94 x → П 0	1,94
Cx x → П 4	0

4) Проводим первый цикл вычислений.

Нажимаемые клавиши	Индикация
B/0 C/П	1122* ( $v_0 t$ )
	* Число округлено

5) Извлекаем из регистра 6 значение  $v/v_0$  для первого цикла вычислений.

Нажимаемые клавиши	Индикация
П → x 6	7,4* ... - 01
	* Округление производится до сотых долей

6) Проводим последующие циклы вычислений.

Инерционно-тормозные характеристики судна при пассивном торможении приведены ниже.

$S, \text{ м}$	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
$v/v_0$	1	0,74	0,55	0,40	0,30	0,22	0,16	0,12
$v_0 t_{\text{уз.с}}$	0	1122	2661	4776	7533	11348	16477	23465

Полученные данные используются для построения графиков, позволяющих определять интересующие данные при оценке ситуации.

Расчет инерционно-тормозных характеристик судна при активном торможении. Расчетные формулы:

$$v_a = \left(\frac{F}{K}\right)^{1/2} \text{tg} [\text{arctg} (\sqrt{\frac{K}{F}} v_0) - \frac{\sqrt{KF}}{m_1} t_a]; \quad (16)$$

$$S_a = \frac{m_1}{2K} \ln \left( \frac{v_0^2 + F/K}{v_a^2 + F/K} \right), \quad (17)$$

где  $v_a$  – мгновенное значение скорости движения судна, м/с;  $v_0$  – скорость движения судна в начальный момент активного торможения, м/с;  $t_a$  – текущее время активного торможения, отсчитываемое от начального момента активного торможения, с;  $S_a$  – тормозной путь, м;  $F$  – сила упора винта на заднем ходу, Н.

Размещение исходных данных и результатов вычислений приведено ниже.

Параметр	$F$	$K$	$v_0$	$m_1$	$t_a$	$\delta t_a$	$v_a$
Регистр	0	1	2	3	4	5	6

Параметр	$\arcsin$	$S_a$	$(F/K)^{0,5}$	$\arctg(\sqrt{K/F} v_0)$	$\sqrt{KF/m_1}$
Регистр	7	9	d	c	b

Программа 9. Расчет инерционно-тормозных характеристик судна при активном торможении

Адрес	00	01	02	03	04	05	06
Клавиши	$\Pi \rightarrow x 2$	$\Pi \rightarrow x 0$	$\Pi \rightarrow x 1$	$\div$	$F \sqrt{\quad}$	$x \rightarrow \Pi d$	$\div$
Код	62	60	61	13	21	4Г	13
Адрес	07	08	09	10	11	12	13
Клавиши	$F \operatorname{tg}^{-1}$	$x \rightarrow \Pi c$	$\Pi \rightarrow x 1$	$\Pi \rightarrow x 0$	$\times$	$F \sqrt{\quad}$	$\Pi \rightarrow x 3$
Код	1 L	4Г	61	60	12	21	63
Адрес	14	15	16	17	18	19	20
Клавиши	$\div$	$\Pi \rightarrow x 7$	$\div$	$x \rightarrow \Pi b$	$\Pi \rightarrow x c$	$\Pi \rightarrow x b$	$\Pi \rightarrow x 4$
Код	13	67	13	4 L	6Г	6 L	64
Адрес	21	22	23	24	25	26	27
Клавиши	$\Pi \rightarrow x 5$	+	$x \rightarrow \Pi 4$	$\times$	—	$F 9$	$\Pi \rightarrow x d$
Код	65	10	44	12	11	1 E	6 Г
Адрес	28	29	30	31	32	33	34
Клавиши	$\times$	$x \rightarrow \Pi 6$	$F x^2$	$\Pi \rightarrow x d$	$F x^2$	+	$F B_x$
Код	12	46	22	6 Г	22	10	0
Адрес	35	36	37	38	39	40	41
Клавиши	$\Pi \rightarrow x 2$	$F x^2$	+	$\leftrightarrow$	$\div$	$F \ln$	$\Pi \rightarrow x 3$
Код	62	22	10	14	13	18	63
Адрес	42	43	44	45	46	47	48
Клавиши	$\times$	2	$\div$	$\Pi \rightarrow x 1$	$\div$	$x \rightarrow \Pi 9$	$C/\Pi$
Код	12	02	13	61	13	49	50

### Инструкция работы с программой

#### Операция

#### Нажимаемые клавиши

1. Включите МК
2. Перейдите в режим "Программирование"
3. Занесите в программу 9
4. Перейдите в режим "Автоматическая работа"
5. Занесите исходные данные в соответствующие регистры памяти:

$F$  – в регистр 0  
 $K$  – в регистр 1  
 $v_0$  – в регистр 2  
 $m_1$  – в регистр 3  
 $t_a$  – в регистр 4

$F x \rightarrow \Pi 0$   
 $K x \rightarrow \Pi 1$   
 $v_0 x \rightarrow \Pi 2$   
 $m x \rightarrow \Pi 3$

(вычисляется автоматически с интервалом

$\delta t_a$  – в регистр 5  
 $\pi/180$  – в регистр 7

$\delta t_a$   
 $x \rightarrow \Pi 5$   
 $F \pi 180 \div x \rightarrow \Pi 7$



1  $x \rightarrow P5$   
 БП 18 С/П  
 $P \rightarrow x6$

1  
 298  
 1,29 -01

Ниже представлены инерционно-тормозные характеристики судна при активном торможении, которые могут быть использованы в качестве контрольных чисел при отладке программы.

$t_a, c$	60	120	121	122	123
$v_a, м/с$	2,41	0,13	0,092	0,056	0,02
$S_a, м$	223	298	298	298,1	298,2

Тормозной путь  $S_a$  до полной остановки судна (скорость равна 0,02 м/с) составляет 298 м. Задавая исходными данными для других режимов, получим соответствующие значения  $v_a$  и  $S_a$ .

Для определения тяги винта на переднем ходу рекомендуется использовать соответствующее учебное пособие. При расчетах в учебных целях силу упора винта на заднем ходу можно определять по формуле  $F = 0,75 F_{\text{пер.хода}}$ , где  $F_{\text{пер.хода}}$  — сила упора винта при работе движителя на переднем ходу, в соответствующем режиме.

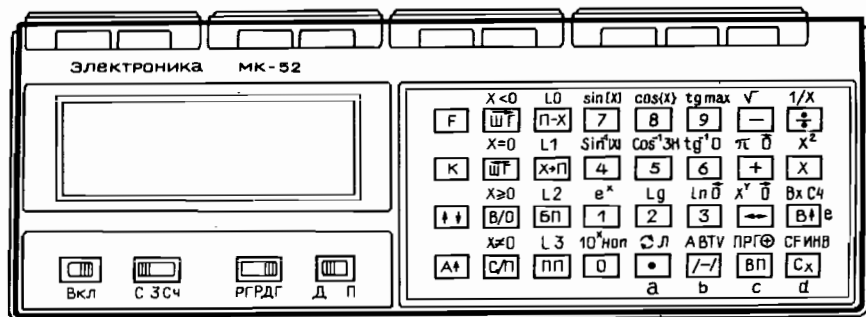
В начальный период активного торможения значение силы  $F$  намного меньше расчетного, поэтому необходимо стремиться к тому, чтобы определить закон ее изменения по величине или же этот эффект компенсировать увеличением продолжительности предварительного этапа.

#### 1.4. РАБОТА С ПОСТОЯННЫМ ЗАПОМИНАЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ (ППЗУ)

**Общие сведения.** Микрокалькулятор "Электроника МК-52" (рис. 2) является усовершенствованной моделью микрокалькулятора "Электроника МК-56". Основными преимуществами его являются: наличие энергонезависимой памяти (ППЗУ), возможность подключения периферийных устройств, наличие встроенных подпрограмм для перевода: временных величин, выраженных в часах и долях часа, в значениях часов, минут и секунд и обратно; угловых величин, выраженных в градусах и минутах, в значениях градусов и долей градуса и обратно. Имеются и другие, менее существенные преимущества, описанные в руководстве по эксплуатации микрокалькулятора. Объем ППЗУ достигает 512 команд. Обращение к ППЗУ производится с помощью клавиш  $A \uparrow$  и  $\downarrow \uparrow$  по адресу, набираемому на индикаторе. Адрес обращения к ППЗУ (число) состоит из следующих элементов: незначащей информации (одна любая цифра, кроме нуля); начального адреса (0000—1023); числа шагов; незначащей информации.

Так, например, если необходимо обратиться к начальному адресу 0023 для использования 20 шагов программы, то адрес обращения может иметь вид:  $400207 \cdot 10^{-4}$ .

Здесь цифра 4 является незначащей, но обязательной, число  $7 \cdot 10^{-4}$  представляет собой незначащую, необязательную информацию.



## 2. Микрокалькулятор "Электроника МК-52"

Обращение к ППЗУ осуществляется в следующем порядке:

устанавливают режим работы ППЗУ с помощью переключателя С/З/СЧ/стирание/запись/считывание/;

набирают на индикаторе адрес (не менее семи цифр);

последовательно нажимают клавиши  $A\uparrow$  и  $\uparrow\downarrow$ . При нажатии этих клавиш индицируется признак обращения к ППЗУ (знак минус во всех разрядах), сигнализирующий о том, что в это время нажимать другие клавиши нельзя.

**Использование ППЗУ в режиме записи.** Информация считывается из памяти микрокалькулятора в ППЗУ последовательными пачками по семь шагов и размещается там так, что первый считанный шаг в первой пачке записывается в ППЗУ на 13-м и 14-м местах, считая от начального адреса, в адресе обращения к ППЗУ. Аналогичный способ укладки информации в накопитель ППЗУ используется для последующих доз информации. После записи информации в ППЗУ программная память микрокалькулятора становится чистой.

При записи информации в ППЗУ число шагов в адресе обращения к ППЗУ должно соответствовать числу шагов записываемой программы и быть кратным семи.

Для записи программы в ППЗУ необходимо: включить микрокалькулятор; перейти в режим "Программирование"; занести программу в программную память микрокалькулятора; переключатель С/З/СЧ установить в положение 3 (запись); переключатель Д/П установить в положение П (запись из программной памяти); перейти в режим "Автоматическая работа"; набрать на индикатор адрес обращения (число, состоящее из набора цифр не менее семи); нажать клавишу  $A\uparrow$ , затем  $\uparrow\downarrow$ ; переключатель С/З/СЧ установить в положение "СЧ" (во избежание порчи информации); выключить микрокалькулятор.

В качестве иллюстрации рассмотрим подготовительную работу по записи программы в ППЗУ на примере расчета инерционно-тормозных характеристик судна при пассивном торможении (см. программу

8). Программа содержит 21 шаг. Следовательно, начальный адрес обращения должен быть равен 21 (кратен семи). Будем полагать, что запись программы производится с адреса 00. Тогда адрес обращения к ППЗУ будет 1000021. Для определения конечного адреса  $N_1$  воспользуемся формулой  $2N_1 = 2N - 1$ . Тогда получим  $N_1 = 2 \cdot 21 - 1 = 41$ . В данном случае участок ППЗУ с 00 по 41-й адрес должен быть очищен, так как в противном случае новая информация наложится на старую, что недопустимо.

**Использование ППЗУ в режиме стирания.** Как отмечалось выше, этот режим используется в том случае, когда на месте старой информации нужно записать новую. Информация в ППЗУ стирается построчно. Начало и конец стираемой информации определяются адресом обращения к ППЗУ. Для стирания информации во всей строке достаточно в адресе обращения к ППЗУ указать хотя бы один адрес четырехразрядного слова, расположенного на данной строке. Максимальное количество стираемой информации за один прием составляет 14 строк.

Для очистки ППЗУ с 00 по 41-й адрес необходимо: установить микрокалькулятор в режим "Автоматическая работа"; установить переключатель С/З/СЧ в положение "С" (стирание); установить переключатель Д/П в положение "П"; набрать на индикатор адрес обращения к ППЗУ, т. е. число 1000021; нажать клавишу А↑, затем, после прекращения признака обращения к ППЗУ, клавишу ↑↓. На этом работа по очистке указанного объема информации будет завершена.

Для очистки всего накопителя ППЗУ необходимо использовать новый начальный адрес, т. е. один из адресов, на следующей неочищенной строке, в каждом последующем цикле. Подробные сведения об этом приведены в руководстве по использованию микрокалькуляторов.

**Использование ППЗУ в режиме считывания.** Для считывания программы из ППЗУ необходимо: включить микрокалькулятор; установить переключатель С/З/СЧ в положение "СЧ" (считывание); установить переключатель Д/П в положение "П" (считывание в программную память микрокалькулятора); набрать на индикатор адрес обращения к ППЗУ (для нашего примера число 1000021); нажать клавишу А↑, а после прекращения индицирования признака обращения к ППЗУ клавишу ↑↓; перейти в режим "Программирование" (после прекращения индицирования признака обращения к ППЗУ) и сличить программу, записанную в программную память микрокалькулятора, с программой 8.

Считанная программа, как это делается всегда, используется для решения задач в режиме "Автоматическая работа" с соответствующими исходными данными.



## 1.5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРА

При составлении программ большое значение имеет сокращение числа команд (шагов программы). В связи с этим рассмотрим несколько рекомендаций.

Одношаговая команда  $K \ x < 0 \ M$ , где  $M$  — символ регистра адресации (буквенный или цифровой), реализует команду условного перехода по адресу, номер которого записан в регистре  $M$ . Так, в программе для расчета координат центра масс судна (см. программу 7) можно исключить команду по адресу 07, если записать число 39 в регистр  $b$ , а команду по адресу 06 записать так:  $F \ x = 0 \ b$ .

Счетчики вида  $n = (n - 1)$  и  $n = (n + 1)$  можно реализовать с помощью команды косвенной адресации  $K \ x \rightarrow P \ M$  или  $K \ P \rightarrow x \ M$ , где  $M$  — символ регистра. Предпочтение следует отдавать команде  $K \ P \rightarrow x \ M$  с целью исключения записи ложной информации в соответствующие регистры памяти микрокалькулятора. Напомним, что при косвенной адресации происходит модификация числа в зависимости от номера регистра памяти, в котором находится число:

0, 1, 2, 3	уменьшается на 1;
4, 5, 6	увеличивается на 1;
7, 8, 9, $a - d$	остаётся без изменений.

Следовательно, в программе 7 вместо 4 команд по адресам 25–28 можно использовать одну, например  $K \ P \rightarrow x \ 4$ , а для записи момента  $M_{x_i}$  использовать другой регистр памяти. Это позволит уменьшить программу на 3 команды.

Операторы  $K \ 7$  (код 34), ...,  $K \ d$  (код 3—) реализуют сигнал ЕГГОГ (см. команду по адресу 39, программа 7).

Иногда возникает необходимость реализовать блокировку для предотвращения "сбоя" при вводе исходных данных. В этом случае рекомендуется способ, изложенный при составлении программы "Расчет координат центра массы судна" (2-й вариант).

## 1.6. ПЕРСОНАЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР "ЭЛЕКТРОНИКА МК-85"

**Общие сведения.** "Электроника МК-85" (рис. 3) представляет собой карманный персональный компьютер (ПК), используемый как в режиме обычного калькулятора, так и в режиме "Вычисление по программам". Причем в отличие от микрокалькулятора "Электроника МК-52" в нем используется одна из версий языка БЕЙСИК.

Алфавит БЕЙСИК включает:

прописные буквы латинского алфавита от  $A$  до  $Z$ ;

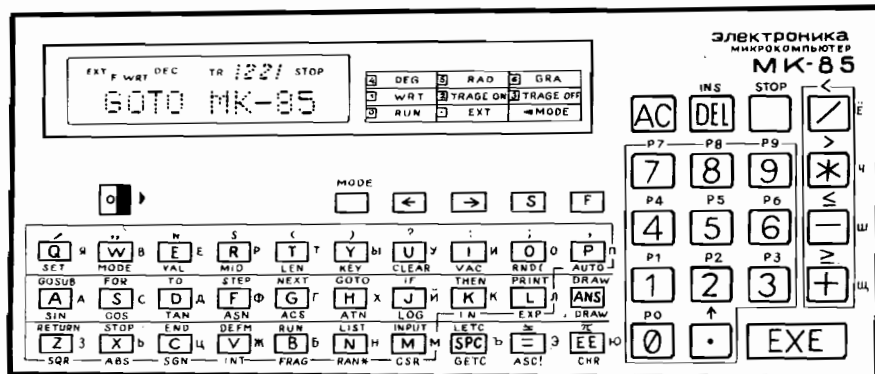
прописные и строчные буквы русского алфавита;

знаки арифметических операций;

$+$ ,  $\}$  — сложения, вычитания, умножения и деления

$*$ ,  $\}$  соответственно;

другие специальные знаки.



### 3. Компьютер МК-85

На панели ПК расположены 54 клавиши и жидкокристаллический дисплей, на который можно выводить одновременно до 12 символов.

Для реализации совмещенных функций используются префиксные клавиши S и F, а также клавиша MODE, которая обеспечивает выбор режима работы ПК. Коды режимов работы ПК указаны на передней панели, в их числе:

- RUN – пуск программы;
- WRT – запись программы в память, проверка и редактирование ее;
- TRACE ON – ввод в режим построчной отладки программы;
- TRACE OF – вывод из режима построчной отладки программы;
- EXT – ввод или вывод.

ПК оперирует угловыми величинами, выраженными в градусах, радианах или градах. Для этой цели используются клавиши соответственно DEG, RAD, GRA.

#### *Основные характеристики персонального компьютера МК-85*

Число разрядов мантиссы	10
Число разрядов порядка	4
Число адресуемых регистров памяти	26 (с возможностью расширения до 178)
Объем энергонезависимой памяти, байт	2K
Число одновременно хранимых программ (файлов)	10 (P0 ... P9)
Максимальное число шагов программы	1221 (около 150 строк программы на языке БЕЙСИК)
Язык программирования	БЕЙСИК
Питание	4 элемента СЦ 0,18 или блок питания
Потребляемая мощность, Вт	Не более 0,02
Диапазон рабочих температур, °C	5 ... 40
Габаритные размеры, мм	13 × 165 × 73
Масса, г, не более	150

Использование принципа "бегущей" строки позволяет вписывать строки программы длиной до 63 символов.

При помощи клавиш перемещения курсора  $\leftarrow$  и  $\rightarrow$  имеется возможность просмотра всей строки. Персональный компьютер имеет примерно такие же встроенные функции, как и микрокалькулятор "Электроника МК-52". Точность вычислений составляет  $\pm 1$  в десятом знаке. В режиме калькулятора (прямой режим) ПК позволяет выполнять арифметические операции следующим образом:

с помощью клавиатуры вводят числа и арифметические операции (в порядке их следования);

нажимают клавишу E X E;

с дисплея считывают результат.

**Пример.** Дано выражение  $N = 42 - 11 + \frac{4 \times 7}{5}$ . Требуется найти число  $N$ .

**Решение**

1. Нажмем последовательно клавиши MODE и 0. На дисплее появится надпись RUN.

2. Введем на дисплей правую часть выражения

$42 \ominus 11 \oplus 4 \otimes 7/5$ .

3. Нажмем клавишу E X E.

4. На дисплее прочтем результат:  $N = 36,6$ .

**Использование ПК в режиме "Программирование".** Как указывалось выше, ПК имеет 1221 шаг энергонезависимой памяти. Для определения количества шагов программы следует пользоваться правилом: номер строки программы занимает 2 шага программы; программируемая команда, функциональная команда, символ, нажатие клавиши E X E (аналог команды — возврат каретки) — 1 шаг, например строка вида

1 00 FOR i=1 TO N

занимает 8 шагов в памяти. Так как максимальная длина строки составляет 63 символа, то при записи в нее нескольких операторов можно сэкономить память на  $2m$  шагов, где  $m$  — число сэкономленных адресов.

Персональный компьютер оперирует как с числовыми, так и со строковыми переменными длиной до семи символов (букв, цифр, знаков). БЕЙСИК персонального компьютера МК-85 содержит 21 оператор. Рассмотрим некоторые из них.

Оператор ввода INPUT предназначен для ввода переменных с клавиатуры во время выполнения программы. Встретив оператор INPUT, БЕЙСИК прекращает выполнение программы и печатает вопрос, а если в программе записано наименование переменной, то печатает и наименование. После ввода числового значения переменной и нажатия клавиш E X E БЕЙСИК продолжит вычисления. Если программой предусмотрен ввод числовых данных для нескольких переменных, то ввод значений каждой переменной сопровождается нажатием клавиши E X E. После ввода значений для последней переменной начнется процесс вычислений.

Рассмотрим пример: 10 INPUT "P="; P, "x="; x, z.

При выполнении команды, записанной в строке 10, сначала появится сообщение P=?

После ввода числового значения P и нажатия клавиши EXE появится сообщение X=?

После ввода числового значения X и нажатия клавиши EXE появится сообщение ? (в программе нет наименования переменной).

После ввода числового значения Z и нажатия клавиши EXE начнется процесс вычислений.

Оператор PRINT предназначен для вывода на дисплей результата вычислений и комментария к ним. Для установления требуемого интервала между выводимыми на дисплей числами вместе с оператором PRINT используется оператор SCR. Форма записи командной строки поясняется следующим примером:

```
120 PRINT "P="; P; SCR; "x="; X, "Z="; Z.
```

В этом случае при выводе результатов на дисплей интервал между числами P, X и Z будет составлять N мест.

**Операторы условных и безусловных переходов.** Оператор GOTO служит для безусловной передачи управления команде, находящейся в той строке, номер которой написан в адресе перехода. При этом адрес перехода может быть записан в форме выражения, значение которого должен вычислить БЕЙСИК.

Рассмотрим пример: S0 GOTO A/B 12\* C.

БЕЙСИК вычислит значения выражения, а затем передаст управление той команде, номер которой будет соответствовать результату. Так, при A=100, B=2, C=5 результат будет равен 110. Следовательно, БЕЙСИК передаст управление строке под номером 110.

Оператор IF ... THEN предназначен для передачи управления по условию. Если условие выполняется, то происходит переход на строку, номер которой записан после слова THEN. Если же условие не выполняется, то команда перехода игнорируется и БЕЙСИК выполняет команду, записанную в следующей строке.

```
30 INPUT "P="; P
40 IF P=0 THEN 100
50 INPUT "P="; P
.. ..
100 END
```

В данном примере, если P=0, то БЕЙСИК после строки 30 прекратит естественный порядок выполнения программы и перейдет к выполнению команды, записанной в строке 100, если же условие не будет выполняться, то БЕЙСИК будет выполнять команду по адресу 40, т. е. выдаст подсказку X=?. Если управление необходимо передать подпрограмме, записанной в другом файле, то вместо адреса перехода записывается знак # и номер файла перехода.

Оператор GOSUB используется для безусловного перехода к подпрограмме в данном файле или в другом файле. Например:

```
20 GOSUB 40
```

```
100 GOSUB # P1
```

Здесь 40 – первая строка подпрограммы, на которую следует перейти, а P1 – файл, в котором находится подпрограмма.

Оператор RETURN записывается в конце подпрограммы. Он обеспечивает возврат к строке, следующей за той, в которой оператор RETURN.

**Операторы циклов.** Оператор FOR и NEXT используется для обозначения начальной и конечной точек цикла программы.

Например:

```
30 FOR Z = 2 TO 18 STEP 2
```

```
40 ...
```

```
50 ...
```

```
....
```

```
....
```

```
....
```

```
90
```

```
100 NEXT Z
```

```
110 A = Z/5
```

```
120 END
```

Как только значение Z превысит по величине 18, управление передается строке за № 110, т. е. командной строке за строкой, в которой находится конец оператора.

Оператор окончания программы END используется для обозначения конца программы.

Оператор выполнения программы RUN предназначен для пуска программы на счет. Если запуск программы производится со строки N, то после набора оператора RUN набирается номер строки и нажимается клавиша EXE.

**Операторы стирания.** Оператор CLEAR предназначен для стирания программы только в одном файле, номер которого указан перед оператором CLEAR. Например, P2 CLEAR. Для уничтожения всех программ используется оператор CLEAR A.

**Ввод и использование программы для решения задач.** Ввод программы в компьютер осуществляют с помощью клавиш в следующем порядке:

1. ПК переводят в режим записи WPT нажатием клавиш MODE1.
2. Выбирают нужный файл нажатием S и цифровой клавиши от 0 до 9 (для выбора файла от P0 до P9).
3. Построчно вводится программа, переход на следующую строку производится нажатием клавиши EXE. При этом на индикаторе высвечивается количество оставшихся шагов программы, что очень удобно для контроля.

4. После записи программы ПК переводится в режим вычислений нажатием клавиш **MODE 0**.

Если при выборе файла вместо номера на дисплее появится изображение ромба, это означает, что данный файл занят, т. е. там записана программа. Если решено вместо нее записать другую, то старую программу нужно стереть. Для этого нужно набрать: номер файла, затем слово **CLEAR** и, наконец, нажать клавишу **EXE**.

Выполнение программы рассмотрим, исходя из существования двух ситуаций:

а) программа только что записана в какой-либо файл и ПК находится в режиме записи:

б) ПК находится в режиме вычислений.

В первом случае поступают так:

производят очистку индикатора нажатием клавиши **AC**;

набирают номер нужного файла нажатием клавиши **S** и номера файла;

производят запуск программы нажатием клавиш **S RUN EXE** (или набирают слово **RUN**, а затем нажимают клавишу **EXE**).

Во втором случае, т. е. когда ПК находится в режиме вычислений, поступают следующим образом:

набирают номер нужного файла, нажимают клавишу **EXE**.

Если программа выполняется не с начального адреса, то поступают так: вводят команду **RUN** и номер адреса;

нажимают клавишу **EXE**.

Если при отладке программы (решении контрольного примера) будет обнаружена ошибка (ошибки), то программу можно отредактировать. Для просмотра программы используют команду **LIST**. Однако редактирование программы возможно только лишь в режиме записи программы (**WRT**). Теперь, чтобы иметь более полное представление о возможностях языка **БЕЙСИК** микрокомпьютера "Электроника МК-85", составим программу для расчета плеч статической устойчивости, аналогичную **ДСО-1** (см. программу 10):

```
5 Q = 10/57,3
```

```
7 INPUT Z
```

```
10 INPUT L
```

```
20 Q 1 = Q 1 + Q
```

```
30 L1 = L - Z * SIN (Q1)
```

```
40 PRINT L1
```

```
50 IF Q1 * 57,3 < 90 THEN 10
```

```
60 END
```

Нетрудно заметить, что переход от **БЕЙСИКа** версии 1.1 (см. раздел 2.2) к версии, использованной в ПК МК-85, не представляет никаких трудностей.

## 2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРО-ЭВМ СМ-1800 ДЛЯ РЕШЕНИЯ ШТУРМАНСКИХ ЗАДАЧ

### 2.1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О МИКРО-ЭВМ СМ-1800

Под *архитектурой* ЭВМ подразумевают логическую организацию вычислительной машины, схематически описывающую взаимодействие ее основных устройств.

Решение любой задачи на ЭВМ производится по заданной программе, включающей три этапа: ввод исходных данных, выполнение арифметических и логических операций и вывод полученных результатов. Для реализации этих этапов ЭВМ имеют соответствующие устройства:

арифметико-логическое устройство (АЛУ);

запоминающее устройство (ЗУ), предназначенное для хранения информации, используемой при решении задач;

устройства управления (УУ), координирующие работу всех узлов ЭВМ;

устройства ввода-вывода (УВВ), осуществляющие ввод исходной информации и вывод полученных результатов на устройство печати, видеотерминал и т. д.;

пульт управления для оператора.

Взаимодействие между устройствами ЭВМ осуществляется с помощью унифицированных средств сопряжения и алгоритмов. Такая совокупность правил (устанавливающих единые принципы и взаимодействия между устройствами) и технических средств называется *интерфейсом*.

В микро-ЭВМ используются различные интерфейсы, в том числе системный интерфейс, обеспечивающий связь между внутренними узлами (блоками) ЭВМ, интерфейсы для подключения периферийных устройств (видеотерминалов и печатающих устройств) и другие интерфейсы. Теперь перейдем к рассмотрению архитектуры микро-ЭВМ СМ-1800.

Микро-ЭВМ СМ-1800 является 8-разрядной модульной ЭВМ. Модули выполнены в виде плат. Архитектура ЭВМ является открытой, что позволяет подсоединить новые модули, исходя из производственной необходимости. Основой построения СМ-1800 являются функциональные законченные модули, поэтому совершенствование архитектуры ЭВМ происходит в направлении создания модулей, реализующих новые функции, в том числе учитывающие эргономические фак-

торы. "Мозгом" ЭВМ является модуль центрального процессора, предназначенного для выполнения логических и арифметических операций. В процессе выполнения программы модуль центрального процессора принимает команды из запоминающего устройства команд, расшифровывает их; при исполнении команд, включающих чтение и запись, взаимодействует с другими модулями. Это взаимодействие осуществляется с помощью системного интерфейса. Обмен данных ведется байтами.

Программное обеспечение микро-ЭВМ СМ-1800 состоит из операционных систем и пакетов прикладных программ для решения пользовательских задач. Определенный интерес для судоводителей представляет дисковая операционная система ДОС-1800. Такие системы получили широкое распространение в персональных ЭВМ.

Дисковая операционная система ДОС-1800 является однопользовательской, однопрограммной системой, работающей в диалоговом и пакетном режимах. Основная область применения ДОС-1800 — создание программ реального времени. Ядро диалоговой системы ДОС-1800 составляют языки программирования высокого уровня: ФОРТРАН, БЕЙСИК, ПЛ/1 и трансляторы с них. Трансляция и выполнение программ, написанных на этих языках, осуществляются диалоговыми трансляторами интерпретирующего типа. Отладка программ ведется на уровне языков программирования. Основным принципом организации общения пользователя с ДОС-1800 является диалог. Ввод исходной программы с терминала производится пооператорно. Введенный оператор исходной программы проверяется транслятором соответствующего языка на синтаксическую правильность и транслируется (переводится) в конечном счете на машинный язык (в виде объектного кода), на котором "разговаривает" машина.

Основная память ЭВМ состоит из оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) и постоянного запоминающего устройства (ПЗУ). Оперативное запоминающее устройство предназначено для хранения информации в процессе решения задачи. Однако при отключении питания вся информация исчезает.

Постоянное запоминающее устройство служит для хранения информации, которая заносится туда еще на стадии изготовления ЭВМ и является неизменяемой, т. е. она сохраняется и при отключенном питании. Часть ПЗУ, называемая монитором-отладчиком, размещается в модуле центрального процессора с нулевого адреса. При включении питания и нажатии клавиши "СБРОС" (на пульте управления ЭВМ) управление передается монитору-отладчику, который включает в работу видеотерминал и диск, установленный в дисководе, и затем переходит в командный режим.

Запоминающее устройство состоит из запоминающих элементов, каждый из которых способен хранить двоичное число, т. е. один бит информации. Запоминающие элементы конструктивно объединены в



ячейки, по 8 элементов в каждой. Вот почему микро-ЭВМ СМ-1800 считается 8-разрядной. Ячейка способна хранить один байт информации (один байт равен 8 битам). Каждая ячейка памяти имеет номер, называемый адресом, однозначно определяющий ее положение среди других ячеек при записи или считывании информации. Исходя из особенности архитектуры ЭВМ, емкость ЗУ обычно кратна 1024 байтам. Эта единица емкости памяти называется килобайтом (Кбайт). Иногда используют более крупную единицу, называемую мегабайтом (Мб). Один мегабайт равен 1024 Кбайт.

Для расширения объема основной памяти используются устройства внешней памяти, которые в качестве накопителей используют гибкие магнитные диски или кассеты. Диск имеет преимущество перед кассетой, так как обеспечивает непосредственный доступ к информации, находящейся в любой части диска (дискеты). Дискеты выпускаются двух размеров: диаметром 133 мм и 203 мм. Дискета представляет собой гибкий пластик в форме диска, покрытый магнитной пленкой. С целью предохранения от механических повреждений она хранится в твердом конверте. Емкость дискеты колеблется от 90 Кбайт до 1 Мбайт. Диск вставляется в щелевое отверстие, называемое дисководом. С помощью механизма привода диск устанавливается в рабочее положение и вращается внутри конверта благодаря наличию центрального отверстия. Запись и чтение информации осуществляются магнитными головками через прорези в конверте. Кроме гибких дисков имеются жесткие, так называемые винчестерские диски емкостью до 30 Мбайт. Диски такого типа чрезвычайно чувствительны даже к мельчайшим частичкам пыли и копоти, поэтому они заключены в герметический корпус и не могут сниматься с дисковода подобно гибким дискам. На каждом диске имеется несколько независимых блоков, называемых *файлами*.

Файлы в зависимости от вида хранимой информации подразделяются на программные (системные) и информационные. Программные файлы содержат команды, управляющие процессами работы ЭВМ, т. е. внутримашинные команды. Информационные файлы содержат информацию, введенную пользователем (например, программу "Массивы чисел" и т. д.) и полученную в процессе решения задачи. Каждому файлу присваивается определенное имя в пределах данного диска (тома). Имя файла должно начинаться с буквы и содержать не более трех символов; существует возможность расширить имя файла с помощью разрешенных символов в количестве не более трех. Файловая структура на диске создается с помощью специальной команды. Основой файловой структуры является индексный файл, который содержит управляющую информацию о томе и перечне имен файлов (блоки заголовков), находящихся на томе. Каждый файл, таким образом, имеет свой блок заголовка, содержащий информацию о файле, необходимую управляющей программе для доступа к нему.

Следует отметить, что понятие файл используется также для описания наборов данных в программе. В файлы записываются как арифметические значения, так и строковые данные. С целью конкретизации рассматриваемого вопроса вся дальнейшая информация будет касаться использования языка БЕЙСИК (версия 1.1) применительно к микро-ЭВМ СМ-1803.09.

## 2.2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АЛГОРИТМИЧЕСКОМ ЯЗЫКЕ БЕЙСИК

**Структура программы.** Алгоритмический язык БЕЙСИК (в дальнейшем БЕЙСИК) разработан в 1965 г. в качестве многоцелевого языка символических инструкций для начинающих. Простой и доступный для неспециалистов в области вычислительной техники, он получил широкое распространение. БЕЙСИК предназначен для решения математических и инженерных задач в режиме диалога. Исходная программа и данные могут быть введены с клавиатуры пишущей машинки, магнитной ленты (диска) или перфоленты.

Программа состоит из последовательности пронумерованных строк. В качестве разделителя строк используется символ ВК (или ПС). В качестве номера строки может быть использовано любое положительное число от 1 до 65529. Номер строки служит для идентификации строк или установки очередности выполнения операций; он может использоваться также в качестве меток оператора.

Номер строки может быть использован для ссылки на строку, например, при передаче управления в программе и, кроме того, для упорядочения строк в исходной программе при вводе. Максимальная длина строки 100 символов. Рекомендуется нумеровать соседние строки так, чтобы их номера отличались друг от друга на 5 или 10, что позволит при необходимости вставить между ними дополнительные строки.

Строка программы может состоять из одного или нескольких предложений, которые отделяются друг от друга символом ":".

Предложение (заголовок) должно начинаться с оператора языка и заканчиваться в той же строке.

В состав предложения кроме оператора языка входят служебные слова и параметры.

**Операторы языка.** Оператором языка является слово, определяющее характер выполняемого действия. Ниже приводятся некоторые из них. Полный перечень операторов имеется в руководстве по эксплуатации микро-ЭВМ.

<i>Оператор</i>	<i>Описание</i>	<i>Пример</i>
DATA	Определяет значения, которые присвоены переменным с помощью оператора READ	DATA 9, 10 "ЮРА", 33
END	Означает конец программы	END

ERROR	Имитирует ошибку с указанным номером	ERROR 42
GOSUB	Передает управление подпрограмме	GOSUB 350
GOTO	Передает управление строке с указанным номером	GOTO 100
IN-THEN	Выполняет условный переход	IF X > 4 THEN 60
INPUT	Выводит подсказку на дисплей, ожидает ввод данных с дисплея	INPUT A;B;C
LET	Присваивает переменной значение выражения	LET Z = 50
OPTION	Определяет первый индекс массива равным нулю	OPTION
BASE	или единице	BASE 0
READ	Присваивает переменной значение, определенное оператором DATA	READ, KL, 2

**Примечание.** Слова БЕЙСИКа (GOTO, GOSUB) должны быть записаны без пробела.

**Алфавит БЕЙСИКа.** В алфавит БЕЙСИКа входят следующие символы:

26 заглавных букв латинского алфавита от A до Z;

10 цифр от 0 до 9;

5 знаков препинания;

(;) — точка с запятой;

(:) — двоеточие;

(,) — запятая;

(') — апостроф;

(.) — точка;

5 знаков арифметических операций:

+ — сложения;

— — вычитания;

X — умножения;

/ — деления;

^ — возведения в степень;

6 знаков отношения:

= — равенства;

< — меньше ( $A < B$ );

> — больше ( $A > B$ );

>< — не равно ( $A > < B$ );

=> — больше или равно ( $A = > B$ );

=< — меньше или равно ( $A = < B$ ).

**Примечание.** Оба аргумента A и B должны быть одинаково числовыми или строковыми.

() — круглые скобки;

( — левая;

) — правая;

␣ — пробел;

другие специальные знаки.

**Примечание.** В заключенном в апострофы тексте можно использовать любые символы, соответствующие клавишам пишущей машинки, кроме двоеточия и символов забоя.

**Команды БЕЙСИКа.** Эти команды выполняют сразу после их ввода. Они работают с целыми программами или файлами. Ниже приводятся некоторые из них.

<i>Команда</i>	<i>Описание</i>	<i>Пример</i>
AUTO	Автоматически нумерует строки программы	AUTO 100, 10
CONT	Продолжает выполнение программы после прерывания	CONT
DELETE	Удаляет строку (строки) из программы	DELETE 100-150
DIR	Выводит имена файлов (т. е. оглавление диска на консоль)	DIR 1
KILL	Удаляет файл из диска	KILL "MAN"
LIST	Выводит на консоль указанные строки программы	LIST 10-100
LOAD	Загружает программу с диска в память	LOAD "DCO-1"
NEW	Удаляет текущую программу, очищает все переменные	NEW
RUN	Запускает программу	RUN
SAVE	Записывает программу на диск	SAVE "MAN"
WIDTH	Изменяет длину выводимых на консоль строк	WIDTH

**Функции БЕЙСИКа.** Функции представляют собой встроенные подпрограммы, преобразующие значение аргумента. Они могут быть использованы для образования выражения в командах и операторах. В качестве аргументов могут быть использованы как числовые, так и строковые переменные. Ниже приводятся некоторые из них.

<i>Функция</i>	<i>Описание</i>	<i>Пример</i>
ABS	Вычисляет абсолютное значение аргумента	ABS (X)
ATN	Вычисляет значение $\arctg$ в радианах	ATN (X)
COS	Вычисляет косинус	COS (X)
EXP	Вычисляет экспоненту	EXP (X)
FIX	Отбрасывает дробную часть числа	FIX (X)
INT	Выделяет целую часть числа	INT (X)
LOG	Вычисляет натуральный логарифм	LOG (X)
RND	Генерирует случайное число обычной точности в диапазоне от нуля до единицы	RND
SGN	Выделяет знак	SGN (X)
SIN	Вычисляет синус	SIN (X)
SQR	Вычисляет корень квадратный	SQR (X)
TAB	Табуляция	TAB (X)
TAN	Вычисляет тангенс	TAN (X)

**Представление данных.** БЕЙСИК оперирует константами и переменными как в численном, так и в строковом формате.

При необходимости группирует их в массивы, преобразует из одного типа данных в другой, комбинирует их в выражения, используя арифметические, логические и операции отношения.

**Синтаксис БЕЙСИКа.** Инструкция записывается латинскими буквами. Аргумент записывается русскими буквами за инструкцией в угловых скобках: GOTO < номер строки >. Если аргумент необязателен, то его заключают в квадратные скобки: SAVE < имя файла > /,A/. Если возможен выбор, то аргументы разделяются восклицательным знаком: OPTION BASE 0! 1.

Если необходимо повторить аргумент, то ставят три точки: ON < выражение > GOSUB < номер строки > [, < номер строки > ] ...

**Числовые данные.** БЕЙСИК оперирует со следующими числами: целыми; с плавающей запятой обычной точности (ЧПЗОТ); с плавающей запятой двойной точности (ЧПЗДТ).

Тип числа, как переменной, определяется соответственно операторами DEF INT, DEF SNG, DEF DBL или с помощью одного символа, следующего за переменной. По умолчанию переменная считается как ЧПЗОТ.

Чтобы сэкономить время и объем памяти машины, рекомендуется по возможности использовать целые числа вместо ЧПЗОТ и ЧПЗДТ вместо ЧПЗДТ. Числовые значения подразделяются на константы и переменные.

*Константы* — это числовые значения, которые не могут изменяться во время выполнения программы. Константами могут быть целые числа, ЧПЗОТ, ЧПЗДТ. Для обеспечения целых констант десятичного числа используется знак "%".

Подобно числовым константам, имеется три типа числовых переменных. Имена числовых переменных представляются одним или двумя символами, за которыми следует указатель типа. Первый символ должен быть буквой, второй — буквой или цифрой. Если имя переменной содержит больше двух символов, то третий и остальные игнорируются. Если вызывается переменная, то до присвоения ей значения она равна нулю. Команды NEW, RUN, CLEAR, LOAD, MERGE сбрасывают все переменные в ноль.

Во всех случаях тип переменной определяется символами:

% — для целых;

! — для ЧПЗОТ;

⚡ — для ЧПЗДТ.

**Строковые данные.** Эти данные состоят из констант и переменных. *Строковой константой* называется группа символов, заключенных в кавычки. Кавычки не могут быть использованы внутри строковых констант.

Строковая константа может иметь до 255 символов.

**Пример.** "Введите Р".

Строковые константы широко используются в программах в качестве подсказки для пользователя.

*Строковой переменной* называется строковая величина, которая может быть изменена во время выполнения программы. Имя строковой переменной может состоять из одного или двух символов (первая буква) и знака \*. Если до знака будет более двух символов, то третий и остальные игнорируются. Например:

A \* = PI

B \* = LOT

C \* = A \* + B \* (C \* = PILOT)

*Массивы* — это группа переменных, имеющих общее имя и определяемых индексами, которые обозначают положение элементов массива. Размерность массива ограничивается длиной записи, которая может поместиться в одной строке. Элементы массива обозначаются именем и индексами, число которых равно размерности массива. Индексы должны быть заключены в круглые или квадратные скобки, а между собой разделяются запятыми. Индексы — целые числа. Например: В (10), Z 4 (2,3); R1 (1,1); BA (K + 3, A (10)).

По *умолчанию* наименьшее значение индекса равно нулю. Для того чтобы оно было равно единице, необходимо ввести инструкцию `OPTION BASE` перед определением размерности массивов и ссылками на массив в программе. Оператор `DIM` резервирует память для массивов и определяет максимальные значения индексов. Например, `DIM A (15)`, `DIM R 4 (12,8)`.

Если переменная вызывается раньше определения размерности, БЕЙСИК присваивает максимальный индекс 10. При попытке задать элементы массива, имеющие индексы больше определенных, появляется сообщение об ошибке: `SUBSCRIPT OUT OF RANGE`.

Строковые массивы также могут быть определены с помощью оператора `DIM`, например, `A * (15, 30, 40)`.

**Операции и порядок их выполнения.** При решении различного рода задач возникает необходимость использования в программе соответствующих операций (арифметических, логических, строковых и операций отношения). Во избежание путаницы установлена последовательность их выполнения (приоритета). Очередность выполнения арифметических операций приведена ниже.

1. Выражение в скобках:  $(A + B)$ .
2. Возведение в степень:  $A \wedge B$ .
3. Изменение знака числа:  $-A$ .
4. Умножение и деление:  $A \times B$ ,  $A/B$ .
5. Деление с округлением:  $A \setminus B$ .
6. Модуль целого числа как результат деления  $A$  на  $B$ .
7. Сложение и вычитание:  $A + B$ ,  $A - B$ .

Прежде всего вычисляются выражения в скобках, а сложение и вычитание осуществляются в последнюю очередь. Отметим, что арифметические операции имеют более высокий приоритет по сравнению с логическими операциями и операциями отношения. Из двух операций с равным приоритетом выполняется раньше та, которая находится слева.

После арифметических операций выполняют операции отношения, а затем — логические операции.

Операций отношения всего 6. Для всех операций результат равен 1, если отношение принимает значение "Истина". Если же отношение имеет значение "Ложь", то результат равен нулю. В дальнейшем для иллюстрации отношения используем аргументы  $A$  и  $B$ . Отметим, что оба аргумента должны быть числовыми или строковыми. Ниже приводятся операции отношения.

1.  $A = B$  – равенство.
2.  $A > B$  – больше.
3.  $A < B$  – меньше.
4.  $A >> B$  – не равно.  
 $A < > B$ .
5.  $A \geq B$  – больше или равно.  
 $A \geq B$ .
6.  $A \leq B$  – меньше или равно.  
 $A \leq B$ .

**Примечание.** Внутри этой группы нет приоритета. Логических операций всего 6, в том числе:

1. NOT – не.
2. AND – и.
3. OR – или.
4. XOR – исключающее или.

Логические операции выполняются в порядке старшинства и слева направо.

Логические операции часто используются вместе с операциями отношения и выполняются после операций отношения.

**Пример:** IF  $B=3$  OR  $B=4$  THEN 100 ELSE 200.

Это означает, что если аргумент  $B$  примет значения 3, 4, 8 соответственно, то управление передается команде, записанной в строке за номером 100, а в противном случае – команде, записанной в строке за номером 200.

**Использование операторов перехода и цикла.** Оператор безусловного перехода имеет формат  $n$  GOTO  $n_1$ . При выполнении этого оператора управление будет передано строке с номером  $n_1$ .

Оператор условного перехода имеет вид

$n$  IF  $e_1$ ,  $\odot$ ,  $e_2$  THEN  $n_1$ ,

здесь  $e_1, e_2$  – арифметические выражения;  $\odot$  – знак операции отношения.

Если условие, выраженное знаком отношения, не выполняется, то команда перехода на строку  $n_1$  игнорируется, а если условие выполняется, то управление передается строке с номером  $n_1$ .

**Пример:** 190 IF  $U_2 > 1$  THEN 130.

Эта строка взята из программы "MAN". Условие, выраженное в строке 190, означает, что, если скорость  $u_a$  при активном торможении будет больше, чем 0,1 м/с, следует продолжить вычисления, т. е. перейти к строке с номером 130. Отметим, что вместо слова THEN может быть использовано GOTO.

Оператор цикла БЕЙСИКа имеет вид

$n_1$  FOR  $V=e_1$  TO  $e_2$  STEP  $e_3$

$n_2$  оператор 1

$n_3$  оператор 2

$n_k$  оператор  $K$

$n_{k+1}$  NEXT  $V$

Оператор FOR называется заголовком цикла;

V — управляющая переменная;

$e_1, e_2$  — арифметические выражения, определяющие начальное и конечное значения V;

$e_3$  — арифметическое выражение, определяющее величину приращения переменной V;

NEXT — оператор конца цикла.

Во время выполнения оператора FOR вычисляются параметры цикла и присваивается начальное значение управляющей переменной. При выполнении оператора NEXT значение переменной V увеличивается на величину  $e_3$  и происходит сравнение полученного значения с предельной величиной. Циклы вычислений повторяются до тех пор, пока не будет выполнено условие, заложенное в заголовке цикла. В качестве примера рекомендуется произвести анализ программы расчета плеч статической устойчивости ДСО-2. Отметим, что начало цикла записано по адресу 20, а конец — по адресу 70. Вычисления длятся до тех пор, пока не будет выполнено условие  $K = N$ .

**Выражения.** В БЕЙСИКе используются числовые и строковые выражения. Числовые выражения состояются из числовых переменных, констант, функций и операций. Начальное значение равно нулю. Числовое выражение может включать в себя операции: арифметические, логические, отношения.

Пример:  $N = V * \text{ATN}(X)$ ;

IF  $V < 0.1$  THEN 50.

Целые числа записываются в виде последовательности десятичных цифр. Перед отрицательным числом ставится знак. Числа с дробной частью, а также числа большего порядка записываются в форме с плавающей запятой:

$1000 = 1 \cdot E 3$ ;  $0,001 = 1 \cdot E - 03$ .

Простыми арифметическими выражениями являются: а) константа; б) переменная; в) переменная с индексами; г) имя стандартной функции.

Составные арифметические выражения представляют собой комбинацию простых арифметических выражений, соединенных знаками операций, которые выполняются в соответствии с обычной схемой приоритетности операций. Как было отмечено, для изменения естественного порядка выполнения используются скобки.

Строковые выражения состоят из строковых констант и переменных с помощью операций отношения и операций суммирования строк, которые объединяют 2 строки в одну.

Пример: 10 PRINT "ВВЕДИТЕ P".



### 2.3. ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ДИАЛОГОВОГО РЕЖИМА

После запуска интерпретатора ЭВМ переходит в командный режим работы, в котором БЕЙСИК готов к принятию команд или операторов. Программа вводится строка за строкой. Программная строка состоит из номера строки (целое число от 1 до 65529), за которым (после пробела) следуют элементы языка (команды, операторы, функции и т. д.). Строка заканчивается всегда нажатием клавиши ВК (возврат каретки). Повторный ввод строки с тем же номером приводит к удалению ранее введенной. (Это обстоятельство используется для замены строки, содержащей ошибку.) Строки можно вводить в любом порядке, но БЕЙСИК сам рассортирует их в последовательности возрастания номеров. Для проверки введенной программы (вывода на экран дисплея) необходимо использовать команду LIST (добавить ВК). Для автоматической нумерации строк используется команда AUTO. При этом задается номер первой строки и выбранное приращение номеров строк.

Пример: AUTO 10,5 (ВК).

Для выхода из этого режима используется команда, сформированная нажатием клавиш (одновременно) YC и C, т. е. (YC + C). В качестве табулятора можно использовать клавишу ГТ (или YC + 1). Использование табулятора позволяет перемещать курсор на следующую позицию, кратную 8. Для изменения длины строк необходимо использовать команду WIDTH.

Если на одной строке размещают несколько операторов, то их отделяют друг от друга знаком (:).

Чтобы поместить комментарий, необходимо использовать оператор REM (записать после номера строки). Эта строка не будет выполняться, но становится частью программы.

Исправление ошибок ввода производится следующим образом. Если ошибка произошла во время ввода строки до нажатия клавиши ВК, то она устраняется нажатием клавиши ЗБ (забой). При каждом нажатии клавиши ЗБ удаляется последний введенный символ. После удаления ошибочного символа продолжают ввод программы. Если же ошибка обнаружена после нажатия клавиши ВК, то рекомендуется или перейти в режим редактирования (здесь этот режим не рассматривается), или удалить строку (как было указано выше) путем повторного набора номера строки, содержащей ошибку (и нажатия клавиши ВК), и распечатки программы командой LIST (ВК).

С целью оптимизации диалогового режима при составлении программы вводят строковые константы, которые при использовании программы, т. е. решении задачи, выполняют роль подсказки. Так, при выполнении команды, записанной по адресу 5 (см. программу 10), появится сообщение:

ВВЕДИТЕ Z

?



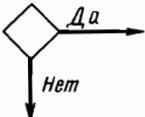


Если же пользователь выполнит некорректную операцию, то появится сообщение об ошибке с указанием ее характера.

Из изложенного видно, как реализуется принцип диалогового режима между микро-ЭВМ и пользователем.

## 2.4. СОСТАВЛЕНИЕ ПРОГРАММЫ

**Блок-схема алгоритма.** Блок-схема (рис. 4) представляет собой графическое изображение используемого для составления программы алгоритма с помощью геометрических фигур, приведенных в табл. 9. Использование блок-схемы позволяет оптимизировать составление программы.

Таблица 9. Перечень блоков

№ п/п	Наименование блока	Обозначение	Отображаемая функция
1	Ввода-вывода		Ввод данных
2	Вычислений		Выполнение действий, в результате которых изменяются значения данных
3	Логический		Выбор направления выполнения алгоритма от условий решения задачи
4	Соединительный		Указание связи между прерванными линиями потока информации
5	Пуск — останов		Начало или конец обработки данных

**Примечание.** В случае необходимости блок-схема может быть пояснена словесной информацией.

В качестве иллюстрации рассмотрим блок-схему программы для вычисления плеч статической остойчивости, реализованной на основе алгоритма  $l_\theta = l_K - z_g \sin(\theta_{n-1} + \delta\theta)$ , использованного ранее.

В первом блоке ввода данных записаны константы  $z_g$  и  $\delta\theta$ , а во втором — переменная  $l_K$  — плечо остойчивости формы, соответствующее текущему углу крена  $\theta$ .

В первом блоке вычислений содержится операция получения текущего угла крена, а во втором блоке вычислений — операция расчета текущего значения  $l_\theta$ . Результат вычислений выводится на дисплей. Для этой цели используется блок вывода данных. Так как процесс вычислений  $l_\theta$  должен быть ограничен максимальным углом крена (в данном случае  $\theta = 90^\circ$ ), то вводится логический блок, в котором содержится условие  $\theta < 90^\circ$ . Если это условие будет выполняться, то процесс вычислений будет продолжаться, что отражается направлением выполнения алгоритма (вводится новое значение  $l_K$ ), в противном случае процесс вычислений будет закончен. Следует отметить, что для формирования команды условного перехода можно использо-

#### 4. Блок-схема программы

вать и другие условия, например  $I_K = 0$ ,  $\theta = 90^\circ$ . В зависимости от принятого условия будет сформирован логический блок.

**Написание программы.** После составления блок-схемы приступают к составлению программы вычислений. Формула для расчета  $I_0$  на ЭВМ записывается так:

$$L1 = L - Z * \sin(Q1);$$

$$Q_1 = Q1 + Q,$$

где  $L1 = I_0$ ;  $Z = z_g$ ;  $Q1 = \theta_n$ ;

$$Q = \delta^\circ \theta / 57,3^\circ.$$

При составлении программы, как правило, учитывается то обстоятельство, что она будет использована в диалоговом режиме. Это осуществляется с помощью строковых констант, заключенных в кавычки. В качестве иллюстрации обратимся к командной строке 6. При выполнении этой команды ЭВМ выдаст на дисплей подсказку, т. е. напечатает выражение, содержащееся в кавычках. Аналогичная подсказка содержится в командной строке под номером 8. В строке под номером 20 использован оператор присваивания, с помощью которого сформирован счетчик  $Q_1 = Q1 + Q$ . Начальное значение  $Q1$  принимается равным нулю. Далее, в строке под номером 40 содержится команда выдачи на дисплей вычисленного значения  $L1$ . Если необходимо, чтобы наряду с числовым значением было напечатано обозначение ( $L1$ ), то строку 40 следует записать так: 40 PRINT "L1 = "; L1.

В строке 50 содержится команда условного перехода. Сущность команды заключается в сравнении текущего значения  $Q_1$  с  $90^\circ$  и принятия решения: вычисления будут продолжаться до тех пор, пока не будет достигнуто равенство  $Q_1 = 90^\circ$ .

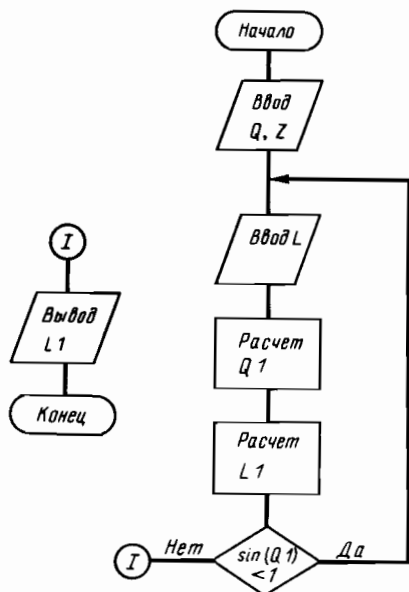
И, наконец, в строке 60 записана команда END. Эта команда является необходимой в программе, и она завершает вычислительный процесс.

#### Программа 10. "ДСО-1"

```

5  Q = 10/57.3
6  PRINT "ВВЕДИТЕ Z"
7  INPUT Z
8  PRINT "ВВЕДИТЕ Q"
10 INPUT L
20 Q1 = 0
30 L1 = L - Z * SIN(Q1)

```



```

40 PRINT L1
50 IF Q1 * 57,3 < 90° THEN 10
60 END

```

Теперь рассмотрим второй вариант программы (ДСО-2) для расчета плеч статической остойчивости с использованием операторов цикла и ДАТА. Другим способом присвоения переменным начальных значений является использование оператора ДАТА. Общий вид программной строки имеет вид:

n ДАТА  $C_1, C_2, C_3, \dots, C_N$ ,

где n — номер строки; C — константа; N — максимальный индекс константы.

Оператор ДАТА формирует одномерный массив из констант, перечисленных в теле оператора. Для присвоения переменным значения этих констант используется оператор READ. Программная строка имеет вид.

n READ  $V_1, V_2, \dots, V_N$ ,

где  $V_1, V_2, \dots, V_N$  — имена переменных; N — максимальный индекс переменной.

Пример: 15 ДАТА 4.5.6; 20 READ A, B, C.

При выполнении данного фрагмента программы ЭВМ присвоит переменным значения: A=4, B=5, C=6.

Ниже приводится программа ("ДСО-2") для расчета плеч статической остойчивости.

#### Программа 11. "ДСО-2"

```

5 PRINT "ВВЕДИТЕ Z"
6 INPUT Z
7 Q = 10/57.3
10 ДАТА L1, L2, ..., LN
20 FOR K=1 TO N STEP 1
30 READ L
40 Q1 = Q1 + Q
50 L1 = L - Z * SIN (Q1)
60 PRINT L1 ("L1="; L1)
70 NEXT K
80 END

```

При решении задачи в строке 10 должны быть записаны числовые значения плеч остойчивости формы для углов крена 10°, 20° и т. д. соответственно, а в строке 20 вместо N число, равное максимальному количеству плеч.

Данный вариант программы имеет по сравнению с предыдущим то преимущество, что все плечи остойчивости формы вводятся сразу и результат соответственно получается для всех значений за один прием. Однако при решении другой задачи возникает необходимость корректировки строк 10 и 20.

## 2.5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Чтобы использовать составленную пользователем программу, ее необходимо ввести с помощью клавиатуры терминала в оперативную память ЭВМ, а в случае многократного использования — на внешнее магнитное устройство (диск, кассета с магнитной лентой).

После подачи питания на ЭВМ на экране дисплея индицируется курсор — световой (мигающий) сигнал в виде тире, перемещение которого осуществляется автоматически, в процессе ввода информации или с помощью клавиши ЗБ (забой). Курсор показывает положение следующего символа в строке. Затем (или до этого) устанавливают магнитный диск. После этого нажимают клавишу "Сброс" (на пульте управления ЭВМ). После появления сообщения MONID 1.3 вводят команду L DOS (BK). После выполнения этой команды должно появиться сообщение: DOS CM—1800 V 1.1 =

Затем надо ввести команду BASIC (BK).

После выполнения команды должно появиться сообщение:

BASIC CM—1800 V 1.1

23817 BYTES FREE

Это говорит о том, что в распоряжении пользователя находятся команды языка БЕЙСИК, свободная оперативная память содержит 23817 байтов, ЭВМ ожидает команду (OK) и пользователь может приступить к записи программы в оперативную память ЭВМ на языке БЕЙСИК.

Запись программы, как отмечалось выше, заключается в том, что с помощью клавиатуры набирают символы в том порядке, в каком они написаны в каждой строке таблицы, и после набора последнего символа строки нажимают клавишу BK (возврат каретки). После выполнения команды BK курсор автоматически переходит на следующую строку. Все набранные символы индицируются на экране дисплея.

После записи всей программы в оперативную память можно перенести ее на диск. Для этого необходимо набрать команду SAVE, затем в кавычках имя программы и нажать клавишу BK.

Пример: SAVE "ДСО-1" (BK).

Если же программа была записана на магнитный диск, то для ее использования необходимо:

после сообщения ЭВМ

BASIC CM—1800 V 1.1

23817 BYTES FREE

OK

набрать команду LOAD "ДСО-2" (BK). После выполнения этой команды появляется сообщение: OK.

После этого иногда возникает необходимость произвести распечатку программы. Во избежание наложения одной части программы на другую на экране дисплея нужно нажать клавишу СВ (свиток).

После этого надо ввести команду LIST (BK). На экране дисплея появится распечатка программы. Если необходимо откорректировать содержание какой-либо строки или ввести новую строку, то вначале набирают номер строки, а затем (через пробел) содержание строки и нажимают клавишу BK. Отметим, что в данном случае корректировка коснется только оперативной памяти.

После выполнения предварительной работы рекомендуется провести отладку программы, т. е. решить пример с известным ответом.

Пример. Эту процедуру рассмотрим на примере использования программы "ДСО-1" и данных, приведенных ниже.

$\theta^\circ$	$10^\circ$	20	30	40	50	60	70
$l_k, \text{ м}$	0,78	1,57	2,27	2,81	3,27	3,63	3,86
$l_\theta, \text{ м}$	0,07	0,18	0,24	0,20	0,17	0,12	0,05

Примечание.  $\Delta = 950 \text{ т}$ ,  $z_g = 4,05 \text{ м}$ .

Решение.

1. Набираем команду RUN (BK)

После выполнения команды появляется сообщение:

ВВЕДИТЕ Z

? (результат выполнения оператора INPUT)

2. Набираем значение Z:

4.2 (BK)

После выполнения команды появляется сообщение:

ВВЕДИТЕ L

?

3. Вводим значение  $f_k$  для  $\theta = 10^\circ$ :

.78 (BK)

После выполнения команды появляется сообщение:

.07 (округлено до сотых долей метра)

ВВЕДИТЕ L

?

Сравнивая полученное значение  $l_\theta$  с табличным, находим, что ответ верен. Следовательно, можно переходить к решению задачи.

4. Вводим команду RUN (BK), после выполнения команды появляется сообщение:

ВВЕДИТЕ Z

?

Это сообщение указывает на то, что можно приступить к решению задачи в той же последовательности.

## 2.6. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ВЫСОТНОЙ ЛИНИИ ПОЛОЖЕНИЯ

Программа для расчета элементов высотной линии положения Солнца (SAN). Программа составлена на основе методики и формул, приведенных в главе 4 данного учебника. Применительно к БЕЙСИКУ использованы следующие обозначения:

Широта числимая, градусы  
Долгота числимая, градусы

$F = F_1 + F_2/60$   
 $L = L_1 + L_2/60$

Склонение Солнца на начало суток, градусы	$D1 = D0 + D2/60$
Гринвичский часовой угол Солнца на начало суток, градусы	$T0 = T1 + T2/60$
Склонение Солнца на момент наблюдений, рад	D
Приращение склонения, градусы	D3
Приращение гринвичского часового угла, градусы	$T3 + N$ , где $T3$ — целое число градусов; $N$ — дробная часть
Гринвичское время наблюдений, часы	$W = W1 + (W2 +$ $+ W3/60)/60$
Местный часовой угол, рад	T
Обсервованная высота, градусы	$H0 = H1 + H2/60$
Счислимая высота, рад	H
Один радиан, градусы	$R = 57.2958$
Перенос высотной линии положения, мили	P

Дополнительно введены обозначения, с которыми пользователь имеет дело только при наборе и отладке программы:

$SIN(H) = H3$ ;  $TAN(H) = H4$ ;  
 $COS(A) = A0$ ;  $TAN(A) = A1$ .

#### Программа 12. "SAN"

```

10  T1 = C Вместо символа C записывается соответствующее число
20  T2 = C
30  T3 = C
35  N = C
40  D1 = C
50  D2 = C
60  D3 = C
70  R = 57.2958
80  PRINT "ВВЕДИТЕ F1, F2"
90  INPUT F1 : F2
100 PRINT "ВВЕДИТЕ L1, L2"
110 INPUT L1 : L2
120 PRINT "ВВЕДИТЕ H1, H2"
130 INPUT H1 : H2
140 PRINT "ВВЕДИТЕ W1, W2, W3"
150 INPUT W1 : W2 : W3
160 W = W1 + (W2 + W3/60)/60
170 T0 = T1 + T2/60
180 L = L1 + L2/60
190 T = (T0 + (T3 + N) * W + L)/R
200 D = (D1 + D2/60 + D3 * W)/R
210 F = (F1 + F2/60)/R
220 H0 = H1 + H2/60
230 H3 = SIN(F)*SIN(D) + COS(F)*COS(D)*COS(T)
240 H4 = H3/(SQR(1 - (H3)^2))
250 H = ATN(H4)
260 A0 = (SIN(D) - SIN(F)*SIN(H))/(COS(F)*COS(H))
270 A1 = SQR(1 - (A0)^2)/A0
280 A = ATN(A1)*R
285 IF A > 0 THEN 290
286 A = A + 180

```

```

290 P = (H0 - H*R)*60
300 PRINT "P="; P, "A="; A, "T="; T*R
310 END

```

Программой предусмотрено сохранение исходных данных, записанных в строках 10–70, поэтому соответствующую часть программы (после занесения исходных данных) надо записать на диск. Напомним, что эти данные в реальной ситуации пригодны для расчета элементов высотной линии положения Солнца в течение суток (по гринвичскому времени).

После введения в ЭВМ значения W3 (секунды) ввод исходных данных будет завершен и начнется процесс вычислений. После завершения процесса вычислений появится сообщение:

P=C<sub>1</sub> A=C<sub>2</sub> T=C<sub>3</sub>

ОК

Здесь символы C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> означают числовое значение переноса, азимута и местного часового угла соответственно.

Программа для расчета элементов высотной линии положения звезды ("STAR"). При составлении программы использована та же методика, что и при составлении программы "SAN" с учетом соответствующих дополнений. Так, например, введены следующие обозначения:

Гринвичский часовой угол точки Овна

Приращение гринвичского часового угла точки Овна за 1 ч, градусы

Звездное дополнение, град

$T0 = T1 + T2/60$

$T3 + N = 15 + 4,1042 \times 10^{-2}$

$T4 = T5 + T6/60$

### Программа 13. "STAR"

```

10 T1 = C
20 T2 = C
30 T3 = 57.2958
40 PRINT "ВВЕДИТЕ F1, F2"
50 INPUT F1 : F2
60 PRINT "ВВЕДИТЕ L1, L2"
70 INPUT L1 : L2
80 PRINT "ВВЕДИТЕ D1, D2"
90 INPUT D1 : D2
100 IF (D1 + D2) = 0 THEN 340
110 PRINT "ВВЕДИТЕ T5, T6"
120 INPUT T5 : T6
130 PRINT "ВВЕДИТЕ H1, H2"
140 INPUT H1 : H2
150 PRINT "ВВЕДИТЕ W1, W2, W3"
160 INPUT W1 : W2 : W3
170 W = W1 + (W2 + W3/60)/60
180 T0 = T1 + T2/60
190 L = L1 + L2/60
200 T4 = T5 + T6/60
210 T4 = (T0 + (15 + 4.1042 E - 02) * W + T4 + L)/R
220 D = (D1 + D2/60)/R

```



```

230 F = (F1 + F2/60)/R
240 H0 = H1 + H2"/60
250 H3 = SIN(F)*SIN(D) + COS(F)* COS(D)* COS(T)
260 H4 = H3/ (SQR (1 - (H3) ^ 2))
270 H = ATN (H4)
280 AQ = (SIN(D) - SIN(H)*SIN(H))/(COS(F)*COS(H))
290 A1 = SQR (1 - (A0) ^ 2)/A0
300 A = ATN (A1) *R
305 IF A > 0 THEN 310
306 A = A + 180
310 P = (H0 - H*R)*60
320 PRINT "P="; P, "A="; A, "T="; T*R
330 GOTO 80
340 END

```

После вычисления элементов первой высотной линии положения появится сообщение: D1, D2. Это означает, что можно приступить к расчету элементов второй высотной линии положения.

После вычисления элементов последней высотной линии положения необходимо ввести данные:

D1 = 0; D2 = 0 (BK).

Тогда сработает команда условного перехода, записанная в строке 100, и вычисления завершатся.

## 2.7. РАСЧЕТ ТОРМОЗНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДНА ПРИ ПАССИВНОМ И АКТИВНОМ ТОРМОЖЕНИИ

При составлении программ использованы методика и формулы (12) и (13) главы 1 данного учебника.

**Пассивное торможение.** В этой программе приняты следующие обозначения:

$k = K$ ;  $m_1 = M$ ;  $S = S_0$ ;  $S_{ин} = S_1$ ;  $V_0 = V_0$ ;  $V_{ин} = V_1$

Введено ограничение  $V_{ин} \geq 0,1$  м/с.

*Программа 14. "DAN"*

```

10 PRINT "ВВЕДИТЕ K"
20 INPUT K
30 PRINT "ВВЕДИТЕ M"
40 INPUT M
50 PRINT "ВВЕДИТЕ S0"
60 INPUT S0
70 PRINT "ВВЕДИТЕ V0"
80 INPUT V0
90 N = K/M
100 S1 = S1 + S0
110 V1 = V0 * EXP (-N*S1)
120 T = (1/V1 - 1/V0)/0.514*M*K
130 PRINT T, V1, S1
140 IF V1 > 0.1 GOTO 100
150 END

```

**Активное торможение.** При составлении программы использованы формулы (16), (17) и следующие обозначения:

$$t_a = T1; S_a = S2; V_a = V2.$$

Остальные обозначения те же, что и в программе для пассивного торможения.

*Программа 15. "MAN"*

```

10 PRINT "ВВЕДИТЕ К"
20 INPUT K
30 PRINT "ВВЕДИТЕ М"
40 INPUT M
70 PRINT "ВВЕДИТЕ V0"
80 INPUT V0
90 PRINT "ВВЕДИТЕ F"
100 INPUT F
110 PRINT "ВВЕДИТЕ T0"
120 INPUT T0
130 T1 = T1 + T0
140 N1 = F/K
150 N2 = ATN (V0/SQR(N1)) - SQR(K*F)*T1/M
160 V2 = SQR(N1) *TAN(N2)
165 N4 = M/(2*K)
170 S2 = N4*LOG((V0 ^ 2 + N1)/(V2 ^ 2 + N1))
180 PRINT T1, V2, S2
190 IF V2 > .1 GOTO 130
200 END

```

**Пример.** Дано:  $m_1 = 352 \cdot 10^4$  кг;  $K = 2130,3 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}$ ;  $v_0 = 2,7 \text{ м/с}$ ;  $F = 63765 \text{ Н}$ . Требуется вычислить  $v_a$  и  $S_a$ .

**Решение.** Будем полагать, что ЭВМ готова к работе и программа загружена в оперативную память. Принимаем  $T0 = 10$  с. Вводим команду "RUN" (BK), ниже представлен процесс решения задачи. Отметим, что после ввода исходных данных в диалоговом режиме (строки 10–120) ЭВМ вычислит значения  $v_a$  и  $S_a$  через интервал  $T0 = 10$  с с соблюдением введенного условия (строка 190) и завершит вычислительный процесс. В связи с этим появится сообщение: "OK".

```

"ВВЕДИТЕ К"
? 2130,3
"ВВЕДИТЕ М"
? 352 E 04
"ВВЕДИТЕ V0"
? 2,7
"ВВЕДИТЕ F"
? 63765
"ВВЕДИТЕ T0"

```

? 10	$V_a$	$S_a$
10	2.478269	25.88562
20	2.263093	49.58726
30	2.053734	71.16687
40	1.849517	90.67906
50	1.649823	108.1722
60	1.454079	123.6887
70	1.26175	137.2652
80	1.072339	148.9334

90	.88537	158.7201
100	.7003954	166.6474
110	.5169824	172.7333
120	.3347132	176.9909
130	.1531833	179.43
140	-.02801132	180.0557
OK		

## 2.8. ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА КООРДИНАТ ЦЕНТРА МАСС СУДНА

Программа составлена на основе формул (10) и (11). При этом использованы следующие обозначения:

$$p_i = P; x_i = X; M_{xi} = M_1; M_{zi} = M_2; M_x = M_3; M_z = M_4; x_g = X_1; z_g = Z_1; \Delta = P_1.$$

*Программа 16. Расчет координат центра масс судна*

```

5  PRINT "ВВЕДИТЕ P"
7  INPUT P
10 IF P = 0 THEN 90
11 PRINT "ВВЕДИТЕ X"
12 INPUT X
13 PRINT "ВВЕДИТЕ Z"
14 INPUT Z
30 M1 = P*Z
40 M2 = P*Z
45 PRINT P, X, Z, M1, M2
50 M3 = M3 + M1
60 M4 = M4 + M2
70 P1 = P1 + P
80 GOTO 5
90 X1 = M3/P1
100 Z1 = M4/P1
110 PRINT P1, X1, Z1
120 END

```

Результатом выполнения программы будет колонка цифр, содержащих значения  $p_i$ ,  $x_i$ ,  $z_i$ ,  $M_{xi}$ ,  $M_{zi}$ , а в последней строчке колонки будут напечатаны соответственно значения  $\Delta$ ,  $x_g$ ,  $z_g$ ,  $M_x$ ,  $M_z$ .

Отметим, что особенностью данной программы является то, что в ней использован условный переход, реализуемый по условию  $P = 0$ . Это означает, что, когда все статьи нагрузки будут введены и обработаны, пользователь при появлении подсказки "ВВЕДИТЕ P" должен ввести нуль и нажать клавишу ВК (возврат каретки). В этом случае микро-ЭВМ передаст управление команде по адресу 9, т. е. вычислит координаты  $x_g$ ,  $z_g$ , выведет их на печать и прекратит вычисления.

Таким образом, эта программа позволяет вычислить координаты и массу поблочно (топливо, вода, рыба в трюмах и т. д.).

В этом случае для расчета координат центра масс очередного блока необходимо ввести директиву RUN (как и в начале вычислений) и нажать клавишу возврата каретки.

Для отработки этой задачи рекомендуется использовать типовые варианты расчета, имеющиеся в информации об остойчивости судна.

### 3. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ПРОМЫСЛОВОГО СУДОВОЖДЕНИЯ

#### 3.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

Погрешности измерений зависят от совокупности различных причин: несовершенства методов измерений, несовершенства средств измерений, степени натренированности наблюдателя, условий наблюдения, которые действуют двояко.

С одной стороны, они влияют на объект измерений (например, ухудшение видимости горизонта, светила и т. п.), с другой стороны, условия, при которых совершаются измерения, влияют на характеристики средств измерения (секстан, пеленгатор и т. д.) и физиологические параметры органов чувств наблюдателя. Приведенные факторы по существу являются источниками погрешностей. В судовождении принято условно делить их на два вида: систематические и случайные.

**Систематические погрешности.** С целью упрощения систематическими будем считать такие погрешности, которые в данной серии равноточных наблюдений имеют неизменную величину и знак (в общем случае систематические погрешности являются функциями измеряемой величины, времени и других факторов).

Систематические погрешности, таким образом, могут быть определены и исключены из результатов измерений. Существуют следующие способы исключения систематических погрешностей:

регулирующие операции (например, устранение неперпендикулярности зеркал секстана к плоскости лимба, уничтожение девиации и радиодевиации и т. д.);

определение с помощью поверочного (образцового) устройства или другим способом и учет погрешности в виде поправки (инструментальная поправка секстана, поправка компаса, остаточная девиация магнитного компаса и т. д.);

использование соответствующей методики постановки наблюдений.

Так, для исключения систематической погрешности в наклонении горизонта при определении места судна по высотам небесных светил используют три линии положения с разностью азимутов  $A_3 - A_1$  не менее  $180^\circ$ . Здесь  $A_3$  и  $A_1$  — азимуты крайних светил. Таким образом, мы пришли к выводу, что существующие способы при отсутствии ограничений в их использовании позволяют учесть влияние системати-

ческих погрешностей на результаты измерений. Поэтому в дальнейшем, если это не будет оговорено, предполагается, что систематические погрешности в данной серии измерений отсутствуют.

**Случайные погрешности.** Случайными погрешностями считаются такие, которые, являясь в общем случае также функциями времени, измеряемой величины и внешних условий, могут принимать различные значения. Как принято в статистике, случайную погрешность будем обозначать прописной буквой латинского алфавита, а ее конкретное значение, полученное в результате опыта, строчной буквой. Случайные величины могут быть как дискретными, так и непрерывными. Наибольший интерес представляют непрерывные случайные погрешности, так как к ним (вместе с систематическими) относятся все погрешности навигационных измерений. Для характеристики случайных погрешностей в математической статистике используют закон распределения.

### 3.2. ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Закон распределения устанавливает связь между возможными значениями случайной погрешности и вероятностями этих значений. Вполне понятно, что эту зависимость можно выразить различными способами, в том числе с помощью функции распределения и плотности распределения.

Пусть  $X$  — случайная величина, а  $x$  — произвольное действительное число. Вероятность того, что  $X$  примет значение, меньшее  $x$ , называется функцией распределения величины  $X$ :

$$F(X) = P \{x < X\}. \quad (18)$$

Вероятность того, что  $X$  примет значение между  $a$  и  $b$ , равна:

$$P \{a \leq X \leq b\}.$$

Про случайную величину говорят, что она нормально распределена, если ее плотность распределения имеет вид

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (19)$$

где  $f(x)$  — плотность распределения случайной величины;  $x$  — числовое значение случайной величины;  $m_x$  — математическое ожидание (среднее арифметическое значение);  $e = 2,71828 \dots$  — основание натуральных логарифмов;  $\sigma_x$  — среднее квадратическое отклонение (при количестве измерений в серии  $n \rightarrow \infty$ ).

Нам известно, что

$$v = x - mx,$$

где  $v$  — так называемое отклонение от среднего арифметического. Поэтому формула (19) с учетом этой замены имеет вид

$$f(x) \equiv \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{v^2}{2\sigma_x^2}}. \quad (20)$$

В теории вероятностей доказывается, что при  $n \rightarrow \infty$   $m_x \rightarrow a$ , где  $a$  — действительное значение измеряемой величины. Но, с другой стороны,

$$x - a = \Delta, \quad (21)$$

где  $\Delta$  — случайная погрешность измерения.

Тогда уравнение (19) перепишется так:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\Delta^2}{2\sigma_x^2}}. \quad (22)$$

Анализируя уравнение (22), приходим к выводам:

погрешности, равные по величине, но противоположные по знаку, имеют одинаковую вероятность;

погрешности, имеющие малую абсолютную величину, встречаются чаще, чем большие (имеют большую вероятность);

для данного способа измерений существует предел случайной погрешности.

Для того чтобы аргументировать последний вывод, напомним приведенную нормированную функцию Лапласа:

$$f(Z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^Z e^{-t^2/2} dt. \quad (23)$$

$$\text{Здесь } t = \Delta/\sigma_x. \quad (24)$$

Функция Лапласа дает возможность рассчитать вероятность нахождения случайной погрешности в интервале от  $+Z$  до  $-Z$ , выраженной в долях средней квадратической погрешности  $\sigma_x$ :

$$P(a < X < b) = F_b - F_a = \frac{1}{2} \left[ \Phi\left(\frac{b}{\sigma_x}\right) - \Phi\left(\frac{a}{\sigma_x}\right) \right]. \quad (25)$$

При этом следует учесть, что

$$\Phi(-Z) = \Phi(Z).$$

**Пример.** Дано:  $b = \sigma_x$ ;  $a = -\sigma_x$ . Требуется найти вероятность нахождения случайной погрешности  $\Delta$  в интервале  $-\sigma_x < \Delta < \sigma_x$ .

**Решение.**

$$\Phi(Z) = \frac{1}{2} [\Phi(1) + \Phi(1)] = \Phi(1).$$

Из данных по аргументу  $t = 1$ , приведенных ниже, находим  $\Phi(Z) = 0,683$ .

**Пример.** Дано:  $P(|\Delta| \leq X < |\Delta_{\max}|) = 1$ .

Требуется найти  $t$  и  $\Delta_{\max}$ .

**Решение.** По аргументу  $P = 1$  находим  $t = 3,5$ .

Следовательно,  $\Delta_{\max} = 3,5 \sigma_x$ . (26)

$t$	0,0	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
$\Phi(Z)$	0,0	0,04	0,159	0,383	0,683	0,866	0,954	0,988	0,997	1,000

Мы пришли к важному выводу: в серии при количестве измерений, стремящихся к бесконечности, модуль максимально возможной погрешности не превышает  $3,5 \sigma_x$ . Таким образом, величина  $3,5 \sigma_x$  является пределом случайной погрешности, и если  $|\Delta| > 3,5 \sigma_x$ , то эту погрешность следует считать промахом, т. е. неверно снятым отсчетом.

В судовождении принято считать:

$$P(|\Delta| < x < |\Delta_{\max}|) = 0,997.$$

Соответственно получим:

$$|\Delta_{\max}| \leq 3 \sigma_x. \quad (27)$$

На основании неравенства (27) принято считать, что

$$|\Delta_{\max}| = 3 \sigma_x.$$

Следовательно, вероятность появления случайной погрешности  $|\Delta| > 3 \sigma_x$  не превысит 0,003, то есть 0,3 %. Это приближенно означает, что из 1000 погрешностей три могут быть по модулю больше, чем  $3 \sigma_x$ .

### 3.3. ЧИСЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

**Общие положения.** Мы убедились в том, что уравнение (19) дает исчерпывающие сведения о характере случайных погрешностей, подчиненных нормальному закону распределения. Однако для решения практических задач по оценке точности необходимо использовать числовые характеристики случайных погрешностей: математическое ожидание, медиану, дисперсию, среднюю квадратическую погрешность и др.

**Математическое ожидание** (среднее значение). Математическим ожиданием дискретной случайной величины  $m_x$  называется сумма произведений всех возможных значений случайной величины на ее вероятность этих значений.

$$m_x = \sum_1^n x_i P_i = \frac{1}{n} \sum_1^n x_i, \quad (28)$$

а для непрерывной случайной величины

$$m_x = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx. \quad (29)$$

*Медианой* называется такое значение случайной величины, для которого вероятность появления как меньших, так и больших значений равна 0,5.

*Мода* — это наиболее вероятное значение случайной величины.

*Дисперсия* — характеристика, служащая для определения меры рассеивания случайных величин относительно математического ожидания. Дисперсия численно равна квадрату средней квадратической погрешности:

$$D_x = \sigma_x^2. \quad (30)$$

*Средняя квадратическая погрешность*  $\sigma_x$  служит для оценки точности измерений. Она соответствует характерной точке кривой нормального распределения. Абсциссам  $\pm \sigma_x$  соответствуют точки перегиба кривой.

$$\sigma_x = \left( \frac{\sum_1^n \Delta_i^2}{n} \right)^{1/2}; \quad (31)$$

$$\sigma_x = \left( \frac{\sum_1^n v_i^2}{n-1} \right)^{1/2} \text{ [см. формулу (5)],} \quad (32)$$

где  $\Delta_i$  — случайная погрешность  $i$ -го измерения;  $v_i$  — отклонение  $i$ -го измерения от математического ожидания;  $n$  — количество измерений в серии.

Как указывалось ранее, эти формулы справедливы для  $n \rightarrow \infty$ . На практике серия наблюдений, за редким исключением, содержит ограниченное количество измерений. Поэтому для оценки используется статистическая среднеквадратическая погрешность, которая обозначается латинской буквой  $m$ , а вычисляется по тем же формулам. Считается, что если случайные погрешности измерений подчиняются нормальному закону, то и погрешности арифметического среднего подчиняются этому же закону. На основании этого она вычисляется по формуле (6):

$$m_0 = m / \sqrt{n}.$$

В ряде случаев практический расчет квадратических погрешностей производится с помощью размаха. *Размахом* принято называть разность между максимальным и минимальным значениями измеряемой величины в данной серии измерений:

$$W = x_{\max} - x_{\min}, \quad (33)$$

где  $W$  — размах;  $x_{\max}$ ,  $x_{\min}$  — максимальная и минимальная величины соответственно.

Средние квадратические погрешности единичного измерения и арифметического среднего определяются следующими соотношениями:



$$m = K_1 W; \quad m_0 = K_2 W,$$

где  $K_1$  и  $K_2$  — коэффициенты, выбираемые по аргументу.

Коэффициенты для определения  $m$  и  $m_0$  по размаху  $n$  приведены ниже:

$n$	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$K_1$	0,59	0,49	0,43	0,40	0,37	0,35	0,34	0,32	0,32
$K_2$	0,34	0,24	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10

**Пример.** При измерении серии пленгов с неподвижного судна получены следующие значения  $x_i$ : 27,9; 26,5; 26,4; 26,8; 28,6; 27,1. Произвести оценку точности наблюдений двумя способами.

**Решение.** 1. Рассчитаем среднее арифметическое:  $m_x = 27,2^\circ$ . 2. Рассчитаем отклонения от среднего арифметического и их квадраты и занесем в таблицу:

$x_i$	26,4	26,8	28,6	27,1	27,9	26,5
$v_i$	-0,8	-0,4	1,4	-0,1	0,7	-0,7
$v_i^2$	0,64	0,16	1,96	0,01	0,49	0,49

$$\Sigma v_i^2 = 3,75; \quad \Sigma v_i = +0,1;$$

$$m = \pm \left( \frac{3,75}{6-1} \right)^{1/2} = \pm 0,87^\circ;$$

$$m_0 = \pm \frac{0,87}{\sqrt{6}} = \pm 0,39^\circ.$$

Теперь рассчитаем  $m$  и  $m_0$  способом размаха.

Определяем размах  $W$ :

$$W = x_{\max} - x_{\min} = 28,6^\circ - 26,4^\circ = 2,2^\circ.$$

По аргументу  $n=6$  находим:

$$K_1 = 0,40; \quad K_2 = 0,16.$$

Вычисляем средние квадратические погрешности:

$$m = K_1 W = \pm 0,40 \cdot 2,2^\circ = \pm 0,88^\circ = \pm 0,9^\circ;$$

$$m_0 = K_2 W = \pm 0,16 \cdot 2,2^\circ = \pm 0,35^\circ = \pm 0,4^\circ.$$

Сравнивая полученные результаты, приходим к выводу, что они идентичны. Однако способ размаха позволяет упростить процесс вычислений.

В пособии (В. Т. Кондрашихин. Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения. — М.: Транспорт, 1969, с. 97) отмечается, что при  $n < 10$  оба способа дают одинаковую точность, однако с увеличением количества измерений первый способ дает более надежные результаты. Это обстоятельство следует иметь в виду при оценке точности результатов измерений.

Напомним, что использование микрокалькулятора для расчета средней квадратической погрешности рассмотрено в 1-й главе. При оценке взаимного влияния случайных величин  $x$  и  $y$  используется кор-

реляционный момент, характеризующий вероятностную связь между случайными величинами:

$$K_{xy} = \int_{-\infty}^{+\infty} v_x v_y f(x, y) dx dy.$$

Для независимых случайных величин  $K_{xy} = 0$ . Для характеристики связи между двумя случайными величинами используется безразмерная величина — коэффициент корреляции.

$$\rho = K_{xy} / (\sigma_x \sigma_y).$$

Для оценки зависимости между значениями двух случайных функций времени — коэффициент корреляции

$$\rho_{x_1 x_2} = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T x_1(t) x_2(t) dt}{\sigma_{x_1} \sigma_{x_2}},$$

где  $T$  — временной участок со случайными функциями.

При оценке связи двух значений одной функции, разделенных интервалом времени  $\tau$ , используется коэффициент автокорреляции

$$\rho(\tau) = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T x(t) x(t + \tau) dt}{\sigma^2},$$

где  $\tau$  — интервал автокорреляции, внутри которого существует статистическая зависимость между значениями функции.

Коэффициент автокорреляции максимален при  $\tau = 0$ . Также широко используется нормированная автокорреляционная функция вида

$$R_x(\tau) = e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta \tau, \quad (34)$$

где  $\alpha$  — параметр, характеризующий интенсивность затухания случайного процесса,  $1/c$ ;  $\beta$  — параметр, характеризующий угловую частоту,  $1/c$ ;  $\tau$  — интервал корреляции.

Отметим, что формула (34) справедлива только лишь для эргодических процессов, т. е. если корреляционная функция сходится к нулю на конечном интервале  $\tau$ . Практически достаточным считают условие  $R_x(\tau) \leq 0,05$ . Помимо корреляционной функции в ряде случаев используют еще одну характеристику — спектральную плотность, определяющую распределение дисперсии по частотам. Для корреляционной функции, представленной формулой (34), спектральная плотность описывается выражением

$$S_x(\omega) = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\alpha}{\alpha^2 + (\omega + \beta)^2} + \frac{\alpha}{\alpha^2 + (\omega - \beta)^2} \right].$$

Отметим, что

$$\int_{-\infty}^{\infty} S_x(\omega) d\omega = \sigma_x^2.$$

Определение доверительного интервала при малом количестве измерений в серии. При большом количестве измерений в серии доверительный интервал определяется с помощью нормированной функции Лапласа, а при малом количестве измерений — с помощью распределения Стьюдента, необходимые сведения в котором имеются во всех пособиях по математической статистике. Сущность способа определения доверительного интервала для заданной вероятности заключается в том, что средняя квадратическая погрешность, вычисленная способом, рассмотренным выше, умножается на коэффициент  $t_\alpha$  (в отличие от  $t$  — при использовании нормированной функции Лапласа), который выбирается из соответствующей таблицы по аргументам, доверительная вероятность  $P_\alpha$  и число наблюдений в серии  $n$ . Ниже приведен фрагмент из этой таблицы (табл. 10).

Таблица 10. Коэффициент  $t_\alpha$

$n$	$P_\alpha$				
	0,683	0,900	0,954	0,980	0,990
2	—	6,31	12,71	31,82	63,66
3	1,29	2,92	4,30	6,96	9,92
4	1,20	2,35	3,18	4,54	5,84
5	1,15	2,13	2,78	3,75	4,60
6	1,12	2,02	2,57	3,36	4,03
7	1,10	1,94	2,45	3,14	3,71
8	1,08	1,90	2,36	3,00	3,50
9	1,07	1,86	2,31	2,90	3,36

**Пример.** Средняя квадратическая погрешность арифметического среднего обсервованной высоты  $m = \pm 0,6'$ ; количество измерений в серии  $n = 4$ . Требуется определить доверительный интервал для вероятности  $P_\alpha = 0,900$ .

**Решение.** 1. Из табл. 16 по аргументам  $P_\alpha = 0,900$  и  $n = 4$  находим  $t_\alpha = 2,13$ . 2. Вычисляем доверительный интервал:  $t_\alpha n = \pm 2,13 \cdot 0,6 = \pm 1,28 = \pm 1,3'$ .

Как видно из примера, такой формализованный способ оценки точности путем перехода от нормального закона к распределению Стьюдента затухивает свойства случайных погрешностей в сериях с малой выборкой. Действительно, остается неясным "портрет" серии, состоящий из небольшого количества измерений. Положение усугубляется еще тем, что теоретическое обоснование способа Стьюдента слишком громоздко, лишено наглядности. Между тем исследование позволило выявить любопытную картину. Оказывается, что в серии, состоящей из 2–6 измерений, все случайные погрешности могут быть одного знака. Имеются и другие отличительные особенности, изучение которых позволит творчески подойти к оценке точности результатов наблюдений при малой выборке. В связи с этим обратимся к непараметрической статистике.

#### 3.4. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ МЕТОДАМИ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

*Непараметрическая статистика* — ветвь математической статистики, занимающаяся рассмотрением непараметрических задач и связанных с ним теоретических проблем. Отличительной особенностью ее является то, что при решении статистических задач она обходится без знания закона распределения случайных величин (погрешностей), т. е. базируется на самых общих предположениях, называемых параметрическими фактами. Иными словами, в этом случае параметры, служащие для оценки точности результатов наблюдений, определяются без учета закона распределения случайных погрешностей. Сами сторонники этого метода признают, что название "непараметрический метод" неудачно, так как вводит в заблуждение тех, кто считает, что в данном случае оценка результатов производится без использования каких-либо параметров. После краткого пояснения приступим к рассмотрению некоторых вопросов с помощью непараметрической статистики.

**Определение вероятности появления серий, содержащих погрешности одного знака.** Допустим, что в нашем распоряжении имеется малая выборка случайных чисел (погрешностей). Требуется определить вероятность того, что в ней все числа одного знака, при этом закон распределения случайных чисел неизвестен. Для решения этой задачи необходимо выявить непараметрические факты. При самых общих предположениях мы можем утверждать, что в данной выборке (серии): имеются случайные числа как положительные, так и отрицательные; вероятность всевозможных сочетаний случайных чисел разного знака одинакова.

Нетрудно заметить, что из всех возможных  $2^n$  комбинаций только две будут иметь числа с одинаковыми знаками. В одном случае все числа будут положительными, а в другом — отрицательными. Следовательно, искомая вероятность определится из выражения

$$P(n) = \frac{2}{2^n} = 2^{1-n},$$

где  $n$  — количество чисел в выборке.

Задаваясь различными значениями  $n$ , вычислим искомые вероятности:

$n$	3	4	5	6	7
$P(n)$	0,25	0,125	0,062	0,031	0,016

Для проверки полученных результатов был произведен статистический эксперимент. Сущность его заключалась в следующем. На основе известных формул статистики генерировались серии случайных чисел нормального распределения для  $M(x) = 0$ . Полученные серии автоматически анализировались по соответствующему признаку, в том числе на наличие чисел одного знака. Из тысячи серий случайных чисел (для каждого  $n$ ) получены следующие значения:

$n$	3	4	5	6	7
$S(n)$	0,283	0,127	0,061	0,019	0

Сравнивая  $P(n)$  и  $S(n)$ , находим, что сходимость результатов вполне удовлетворительна. Вместе с тем отчетливо видна тенденция уменьшения  $S(n)$  по сравнению с  $P(n)$  с возрастанием  $n$ .

Это объясняется объективным фактором: с возрастанием  $n$  начинает сказываться одно из свойств нормального распределения, согласно которому в серии должны быть погрешности разного знака.

Непараметрический способ определения погрешности арифметического среднего. Мы убедились в том, что в малых выборках могут быть серии, содержащие погрешности не только разного знака, но и одинакового. Вероятность появления таких серий тем больше, чем меньше число измерений в серии. Такой двойственный характер серий требует соответствующего подхода к оценке точности. Действительно, если в серии содержатся погрешности только одного знака (положительные или отрицательные), то это по существу означает наличие в ней систематической погрешности, равной наименьшей (по модулю) погрешности в данной серии. Эта ситуация наглядно иллюстрируется рис. 5, где отрезок  $oa$  характеризует истинное значение измеряемой величины; отрезки  $Ob$ ,  $Oc$  — измеренные величины, когда серия содержит отрицательные погрешности;  $Ob_1$ ,  $Oc_1$  — измеренные величины, содержащие положительные погрешности;  $Od$ ,  $Od_1$  — среднее арифметическое для первого и второго вариантов соответственно;  $ac$ ,  $ac_1$  — минимальные погрешности в сериях обоих вариантов;  $ad$ ,  $ad_1$  — погрешность арифметического среднего для соответствующего варианта.

Учитывая, что наблюдателю (за исключением редких случаев) погрешности неизвестны, в общем случае можем написать

$$\Delta_0 = \Delta_{\min} + cd.$$

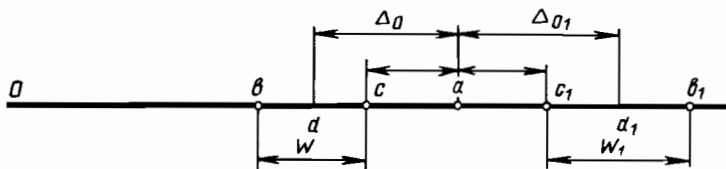
Отметим, что величина  $cd$  всегда известна. Что касается  $\Delta_{\min}$ , то наиболее простым способом определения ее вероятностных характеристик является метод моделирования случайных чисел нормального распределения и нахождение модуля минимальной погрешности в долях размаха  $W$ . Обработка 4000 серий, содержащих три погрешности (случайные числа), позволила установить, что ни одно из значений  $\Delta_{\min}$  не превысило величины  $3W$ . Таким образом, если предположить (с избытком), что  $cd = W$ , то получим, что с вероятностью близкой к 1  $\Delta_0 \leq 4W$ .

Для сравнения определим значение  $m_0$  способом размаха с помощью распределения Стьюдента. Задавшись вероятностями  $P_\alpha = 0,997$  и  $P_\alpha = 0,990$ , соответственно получим

$$m_0 = \pm K_2 t_5 W = 0,34 \cdot 31,6 W = 10,7 W;$$

$$m_{0,1} = 0,34 \cdot 9,92 W = 3,4 W.$$

Как видно из сравнения, для  $P_\alpha = 0,99$  результаты весьма близки в обоих случаях. Аналогичным способом для  $n = 4$  получим следующие результаты:  $\Delta_0 = 1,56W$ ;  $m_0 = 1,44W$  (для  $P_\alpha = 0,99$ ). Сравнивая полученные результаты, видим, что они практически одинаковы. Таким образом, мы убедились в том, что предложенный непараметрический способ оценки точности сравнительно прост и нагляден, что имеет большое методическое значение. Главным выводом, вытекающим из его рассмотрения и достойным внимания, является следующий: надо произвести столько измерений в серии, чтобы среди них, с вероятностью сколь угодно близкой к единице, содержалась хотя бы одна погрешность другого знака. В этом случае сумма модулей максимальных погрешностей будет равна размаху. Следовательно, если за вероятное значение взять полусумму максимальной и минимальной измеренных величин, то предельная погрешность арифметического сред-



## 5. Взаимосвязь между погрешностями

него будет равна половине размаха, с вероятностью сколь угодно близкой к единице.

Потребности практики выдвинули на видное место использование методов непараметрической статистики в силу того, что классическая теория вероятностей дает надежные результаты, когда в серии количество наблюдений достаточно велико.

Способ Стьюдента, служащий для оценки результатов наблюдений, в силу громоздкости математического аппарата практически в судовождении не применяется. Предлагаемый автором непараметрический способ оценки точности наблюдений прост и нагляден, он базируется на функциональной зависимости, а главное — позволяет глубже, объективнее производить оценку точности измерений; иными словами, он представляет собой инструмент для совершенствования методики наблюдений.

**Компенсация систематических погрешностей.** Ранее предполагалось, что систематические погрешности являются константами. Такой упрощенный подход позволил четко провести границу между систематическими и случайными погрешностями, что, в свою очередь, позволило разработать способы компенсации:

для систематических погрешностей — это определение систематической погрешности и учет ее с обратным знаком в виде поправки;

для случайных погрешностей — это компенсация путем расчета средней арифметической величины вместо одиночного измерения.

Теперь рассмотрим способ компенсации систематических погрешностей более детально. Отметим, что в общем случае сущность компенсации систематических погрешностей заключается в прогнозировании их значения на любой момент времени и учете с обратным знаком в виде поправок. Классическим примером является определение поправки хронометра на предстоящий момент наблюдений. При прогнозировании следует учитывать статистические характеристики изменения значений погрешностей по времени. В связи с этим условно можно выявить четыре типа погрешностей.

**I тип.** Погрешности практически неизменны по времени. К ним можно отнести погрешности, возникающие вследствие неточной установки прибора на судне, эксцентриситета оси вращения алидады секстана, ветрового дрейфа судна при заданной посадке судна и определенном курсовом угле ветра заданной силы. Погрешности такого типа компенсируются надлежащим способом. Так, погрешность в установке азимутального кольца репитера гирокомпаса (котелке магнитного компаса)  $0-180^\circ$  можно устранить путем разворота шейки пелоруса (нактоуза магнитного компаса) с точностью до величины, не превосходящей допуска. В дальнейшем остаточная погрешность считается пренебрежимо малой.

Погрешность в курсе из-за ветрового дрейфа учитывается в виде поправки, установленной на основе обработки результатов многочисленных наблюдений. Погрешность в высоте светила за эксцентриситет алидады учитывается в инструментальной поправке секстана.

**II тип.** Систематические погрешности условно считаются стацио-

нарной случайной функцией времени. К ним можно отнести: погрешность измерения курса гирокомпасом, погрешность в наклонении видимого горизонта, погрешности в составляющих вектора скорости течения в фиксированной точке моря, погрешности в измеренном радионавигационном параметре при приеме пространственных волн. При прогнозировании погрешностей данного типа следует использовать корреляционную функцию погрешностей. Как показывает опыт, даже при весьма приближенных значениях в параметрах корреляционной функции результаты прогноза дают более надежный результат, нежели тогда, когда этой информацией пренебрегают.

**III тип.** Систематические погрешности представляют собой первый интеграл по времени от некоторой стационарной случайной функции. К ним можно отнести: погрешность в учитываемой поправке хронометра, погрешность измерения курса двухрежимным гирокомпасом "Вега" в режиме гироазимута, погрешность счисления пути судна, возникающая от погрешностей в параметрах течения. В подавляющем большинстве случаев считается, что систематическая погрешность, выраженная через параметры корреляционной функции, возрастает пропорционально корню квадратному из времени прогноза. Наглядный пример — определение радиальной погрешности счисления при продолжительности плавания 2 ч.

**IV тип.** Систематическая погрешность обусловлена старением приборов и инструментов, а также медленным изменением внешних условий. В этом случае изменение погрешности за небольшой интервал времени практически неощутимы, а при длительном промежутке времени достигают значительных величин. К погрешностям такого типа относятся: погрешности в инструментальных поправках компасов, лагов, секстана, хронометра вследствие износа деталей приборов; погрешности в поправке магнитного компаса вследствие изменения магнитной широты, изменение коэффициентов радиодевиации вследствие загрязнения изоляторов антенн, изменения осадки судна и т. д. В данном случае по разностям между поправками для смежных интервалов времени можно определить тенденцию изменения погрешности.

Как мы убедились ранее, случайные погрешности обладают свойством компенсации. Это означает, что при достаточном количестве наблюдений суммарная погрешность арифметического среднего от влияния случайных погрешностей будет невелика, т. е. будет скомпенсирована до разумных пределов. В то же время наблюдателю практически неизвестно, какова величина систематической погрешности, так как она не вызывает несогласия результатов измерений. Таким образом, в распоряжении судоводителя остается только один способ — прогноз. Вот почему рекомендуется систематически определять поправки приборов, сличать показания часов и компасов.

### 3.5. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОБСЕРВОВАННОГО МЕСТА СУДНА

Оценка точности обсервованного места по двум линиям положения. Каждому измеренному навигационному параметру  $u$  соответствует изолиния – геометрическое место точек на земной поверхности, в которой данный навигационный параметр имеет постоянное значение, т. е.  $u = \text{const}$ .

Вблизи счислимой точки (рис. 6) изолинию допустимо заменять линией положения, т. е. прямой, уравнение которой имеет вид:

$$\Delta\varphi \cos\tau + \Delta w \sin\tau - p = 0. \quad (35)$$

Здесь  $M_c$  – счислимое место судна (см. рис. 6);  $\Delta\varphi, \Delta w$  – текущие координаты линии положения  $I-I$  относительно счислимого места  $M_c$ ;  $\tau$  – дирекционный угол;  $p$  – представляет собой длину перпендикуляра, опущенного из начала координат на линию положения  $I-I$ ; он называется переносом.

Из курса навигации известно, что

$$p = \frac{u_0 - u_c}{|g|} = \frac{\Delta u}{|g|}, \quad (36)$$

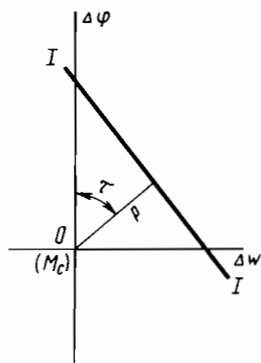
где  $u_c$  – значение навигационного параметра, изолиния которого проходит через точку  $M_c$  (начало координат);  $u_0$  – значение навигационного параметра для линии положения  $I-I$ ;  $\Delta u$  – приращение навигационного параметра;  $|g|$  – модуль градиента, т. е. коэффициент пропорциональности, служащий для перевода разности  $u_0 - u_c$  в линейную величину.

Отметим, что градиент является вектором, направленным по нормали к линии положения в сторону возрастания навигационного параметра.

Вывод уравнения (35) содержится во многих пособиях. Значения модуля градиента навигационных изолиний также представлены в пособиях и справочниках.

Обратившись к уравнению (36), подчеркнем, что если навигационный параметр  $u_0$  получает приращение  $\Delta u$ , то этому приращению соответствует линейное перемещение линии положения (параллельно первоначальному положению) на величину  $p$ . Это обстоятельство в судовождении используется в двух аспектах: для определения места судна на основе обобщенного способа линий положения; для оценки точности обсервованного места судна.

**Определение места судна.** В первом случае, как известно, вычисляют значение  $p$  и  $\tau$  для каждой линии положения (для определенности будем исходить из двух), а затем графически



#### 6. Элементы линии положения



или аналитически находят поправки к счислимым координатам. Этот вопрос настолько подробно рассмотрен в соответствующих пособиях, что нет необходимости останавливаться на нем. Достаточно отметить, что поправки к счислимым координатам (счислимая точка принимается за начало координат) вычисляются по формулам:

$$\Delta\varphi = \frac{p_1 \sin \tau_2 - p_2 \sin \tau_1}{\sin(A_2 - A_1)}; \quad (37)$$

$$\Delta w = \frac{p_2 \cos \tau_1 - p_1 \cos \tau_2}{\sin(\tau_2 - \tau_1)}, \quad (38)$$

где  $\Delta\varphi$ ,  $\Delta w$  — поправки к счислимым координатам, т. е. разность широт и отсчетов соответственно;  $p_1$ ,  $\tau_1$  — элементы первой линии положения;  $p_2$ ,  $\tau_2$  — элементы второй линии положения.

Применительно к астрономической задаче "Определение места судна по высотам двух светил" будем иметь:

$$p_1 = h_{01} - h_{c1} = \Delta h_1; \quad \tau_1 = A_{c1} = A_1;$$

$$p_2 = h_{02} - h_{c2} = \Delta h_2; \quad \tau_2 = A_{c2} = A_2.$$

Тогда соответственно получим:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta h_1 \sin A_2 - \Delta h_2 \sin A_1}{\sin(A_2 - A_1)};$$

$$\Delta w = \frac{\Delta h_2 \cos A_1 - \Delta h_1 \cos A_2}{\sin(A_2 - A_1)}.$$

**Оценка точности обсервованного места судна эллипсом погрешностей.** В данном случае за начало координат принимается обсервованное место судна  $M_0$ , и  $p$  представляет собой уже погрешность линии положения. И если мы хотим получить среднюю квадратическую погрешность линии положения, то должны воспользоваться соотношением

$$m_{\text{лп}} = \pm \frac{m}{|g|}, \quad (39)$$

где  $m_{\text{лп}}$  — средняя квадратическая погрешность линии положения;  $m$  — средняя квадратическая погрешность навигационного параметра;  $|g|$  — модуль градиента навигационного параметра.

Основываясь на уравнении (39), можем сказать, что для двух линий положения, содержащих средние квадратические погрешности  $m_{\text{лп}1}$  и  $m_{\text{лп}2}$  соответственно, мы после прокладки их на карте или бумаге получим фигуру погрешности в виде параллелограмма. Однако в судовождении принято оценивать место эллипсом погрешностей.

Рассмотрим наиболее простой способ его построения, когда параметры эллипса вычисляются по формулам:

$$a = K_a m_{\text{лп}2}; \quad b = K_b m_{\text{лп}2},$$

где  $a, b$  — большая и малая полуоси эллипса погрешностей соответственно;  $m_{\text{лп}2}$  — средняя квадратическая погрешность более точной (а не второй!) линии положения;  $K_a, K_b$  — коэффициенты, которые выбирают из таблиц МТ-75 (см. приложение 5 таблиц МТ-75), по аргументам  $\lambda = m_{\text{лп}1}/m_{\text{лп}2}$  (всегда больше 1) и  $\theta$  (острый угол между линиями положения; всегда больше 1) и  $\theta$  (острый угол между линиями положения).

Ориентировка большой полуоси эллипса (рис. 7) производится по углу  $\varphi$  (выбираемого по тем же аргументам, что и  $K_a, K_b$ ) следующим образом. Угол  $\varphi$  откладывают от направления более точной линии положения внутри острого угла  $\theta$ .

**Пример.** Рассчитать элементы эллипса погрешностей и угол  $\varphi$  для места судна, определенного по высотам двух светил:  $A_1 = 50^\circ$ ;  $A_2 = 100^\circ$ ;  $m_{\text{лп}1} = \pm 1,1$  мили;  $m_{\text{лп}2} = \pm 0,9$  мили.

**Решение.**

1. Вычисляем  $\lambda = m_{\text{лп}1}/m_{\text{лп}2} = 1,2$ ;  $\theta = 50^\circ$ . 2. Из таблицы МТ-75 (приложение 5) по аргументам  $\lambda$  и  $\theta$  выбираем  $K_a = 1,86$ ;  $K_b = 0,84$ ;  $\varphi = 19^\circ$ . 3. Вычисляем значения полуосей эллипса:  $a = 1,86 \cdot 0,9 = 1,7$  мили;  $b = 0,84 \cdot 0,9 = 0,8$  мили. 4. Используя полученные данные, строим эллипс погрешностей с ориентировкой относительно более точной линии положения по углу  $\varphi = 19^\circ$ .

Вероятность  $P$  нахождения судна внутри эллипса погрешностей, построенного на основе средних квадратических погрешностей, равна 39,3 %. Если при построении эллипса принять удвоенные значения средних квадратических погрешностей, то получим  $P = 86,3$  %. При утроенном значении средних квадратических погрешностей  $P = 98,9$  %. В первом случае эллипс принято называть средним квадратическим, а в третьем случае — предельным.

Размеры и ориентировка эллипса погрешностей наглядно показывают значение векториальной погрешности, т. е. места внутри эллипса по любому направлению.

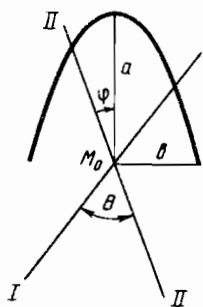
**Оценка точности места судна радиальной погрешностью.** Среднее квадратическое значение радиальной погрешности определяют по одной из формул:

$$M_0 = (a^2 + b^2)^{0,5} = (v^2 + u^2)^{0,5} = (m_x^2 + m_y^2)^{0,5}, \quad (40)$$

где  $a$  и  $b$  — полуоси среднего квадратического эллипса погрешностей;  $v$  и  $u$  — средние квадратические векториальные погрешности;  $m_x$  и  $m_y$  — средние квадратические отклонения по осям координат.

Векториальные погрешности определяют по формулам:

$$v = \frac{m_{\text{лп}1}}{\sin \theta}; \quad u = \frac{m_{\text{лп}2}}{\sin \theta}. \quad (41)$$



7. Эллипс погрешностей

Подставляя эти значения в (40), получим

$$M_0 = (m_{\text{лп1}}^2 + m_{\text{лп2}}^2)^{0,5} \operatorname{cosec} \theta. \quad (42)$$

**Пример.** Рассчитать среднее квадратическое значение радиальной погрешности по данным предыдущего примера.

**Решение:**

$$M_0 = (0,9^2 + 1,1^2)^{0,5} \operatorname{cosec} 50^\circ = 1,86 \text{ мили.}$$

В этом случае фигура погрешности будет представлять собой круг с радиусом  $M_0$ .

Вероятность нахождения судна в этом круге изменяется в пределах  $P = 63,2 - 68,3\%$  в зависимости от отношения полуосей  $a$  и  $b$  эллипса.

Вероятность  $P(R)$  нахождения места судна внутри круга с радиусом  $RM_0$ , где  $R$  — коэффициент, изменяющийся от 0,1 до 3,5, определяется с помощью табл. 1-в в МТ-75 по аргументам  $R$  и  $a/b$ . Так, если  $R = 3$ ,  $a/b = 0-1,0$ , то  $P(R) = 99,7-100\%$ . Если же  $R = 0,4$ ,  $a/b = 0-1,0$ , то  $P(R) = 31,1-14,8\%$ .

**Пример.**

Дано:  $R = 1$ ;  $a = 1,7$  мили;  $b = 0,8$  мили,  $M_0 = 1,86$  мили. Требуется определить вероятность нахождения места судна внутри круга погрешности с радиусом  $M_0 = 1,86$  мили.

**Решение:**

1. Находим  $a/b = 0,8/1,7 = 0,47$ .

2. По  $R = 1$  и  $(a/b) = 0,47$  из табл. 1-в МТ-75 находим  $P(R) = 66,6\%$ .

Таким образом, в табл. 1-в приведены вероятности радиальных погрешностей, соответствующих вероятности попадания в круг радиуса  $RM_0$  при данном эллиптическом рассеивании.

В соответствии с требованиями ИМО обсервация должна оцениваться кругом погрешности с вероятностью, равной 0,95. Радиус круга погрешности в этом случае можно вычислить по формуле

$$M_0 = \frac{m_{\text{лп2}}}{\sin \theta} (1 + K^2)^{0,5} (1,96 - 0,30e^{-0,54K} \sin \theta). \quad (43)$$

Здесь, как и при определении элементов эллипса погрешностей,  $m_{\text{лп2}}$  — СКП более точной линии положения (меньшая СКП);  $\theta$  — угол между линиями положения ( $\theta \leq 90^\circ$ );

$$K = \frac{m_{\text{лп2}}}{m_{\text{лп1}}} = \lambda \geq 1.$$

Программа вычисления  $M_0$  дана на основе формулы (43). Распределение исходных данных и результата по регистрам памяти МК приведено ниже.

Параметры	$m_{\text{лп1}}$	$m_{\text{лп2}}$	$\theta^\circ$	1,96	0,39	0,54	$K$	$M_0$
Регистры	0	1	2	3	4	5	6	7

**Примечание.** Параметр  $K$  вычисляется в процессе выполнения программы (см. команды по адресам 01-03).

*Программа 17. Расчет  $M_0$*

Адрес	00	01	02	03	04	05	06
Клавиши	1	П → x 0	П → x 1	÷	x → П 6	F x <sup>2</sup>	+
Код	01	60	61	13	46	22	10
Адрес	07	08	09	10	11	12	13
Клавиши	F √	П → x 5	П → x 6	x	/-/	Fe <sup>x</sup>	П → x 4
Код	21	65	66	12	0L	16	64
Адрес	14	15	16	17	18	19	20
Клавиши	x	П → x 2	Fsin	x	П → x 3	↔	-
Код	12	62	1□	12	63	14	11
Адрес	21	22	23	24	25	26	27
Клавиши	x	П → x 1	x	П → x 2	Fsin	÷	x → П 7
Код	12	61	12	62	1□	13	47
							50

После набора программы (переключатель должен быть в положении "Г" — градусы) и перехода в режим "Автоматическая работа" заносят исходные данные в регистры 0–5 (в любой последовательности), а затем нажимают клавиши В/О С/П и ждут результата, который высвечивается на индикаторе и хранится в регистре 7. При решении второй задачи исходные данные, естественно, вводятся только в регистры 0–2. Ниже приводятся исходные данные и результаты вычислений, которые могут быть использованы при отладке программы. Аналогичная программа для расчета  $M_0$  (содержащая 37 шагов) дана в учебной литературе:

$m_{\text{лп}_1}$	0,8	1,7	1,3	1,3	1,3
$m_{\text{лп}_2}$	0,4	0,8	0,9	0,9	0,9
$\theta^\circ$	50	50	40	60	75
$M_0$	2,17	4,34	4,53	3,30	2,92

Для удобства табулирования формулу (43) представим в следующем виде:

$$M_0 = m_{\text{лп}_2} (1 + K^2)^{0,5} (1,96/\sin\theta - 0,39e^{-0,54K}), \quad (44)$$

или

$$M_0 = m_{\text{лп}_2} N, \quad (44a)$$

где

$$N = (1 + K^2)^{0,5} (1,96/\sin\theta - 0,39e^{-0,54K}). \quad (45)$$

Отметим, что множитель  $N$  является функцией двух переменных  $\theta$  и  $K$ , поэтому, как уже отмечалось выше, процесс табулирования упрощается. Для вычисления множителя  $N$  составлена программа. Распределение исходных данных и результата по регистрам памяти МК приведено ниже.

Параметр	$\theta$	$\delta K$	$K$	1,96	0,39	0,54	$M_0$
Регистр	X	0	1	2	3	4	5

*Программа 18. Вычисление  $N$ .*

Адрес	00	01	02	03	04	05	06
Клавиши	Fsin	$x \rightarrow \Pi$ 6	$\Pi \rightarrow x$ 2	$\Pi \rightarrow x$ 6	$\div$	$\Pi \rightarrow x$ 0	$\Pi \rightarrow x$ 1
Код	1□	46	62	66	13	60	61
Адрес	07	08	09	10	11	12	13
Клавиши	+	$x \rightarrow \Pi$ 1	$\Pi \rightarrow x$ 4	$\times$	/-/	$Fx^x$	$\Pi \rightarrow x$ 3
Код	10	41	64	12	0L	16	63
Адрес	14	15	16	17	18	19	20
Клавиши	$\times$	—	1	$\Pi \rightarrow x$ 1	$Fx^2$	+	$F\sqrt{\phantom{x}}$
Код	12	11	01	61	22	10	21
Адрес	21	22	23	24	25		
Клавиши	$\times$	$x \rightarrow \Pi$ 5	C/Π	БΠ	02		
Код	12	45	50	51	02		

**Краткие пояснения к использованию программы.** После набора программы и перехода в режим "Автоматическая работа" необходимо занести исходные данные в регистры 0—4, а в последнюю очередь  $\theta$  — в регистр X. Программой предусмотрено вычисление параметра  $K$  через интервал (приращение)  $\delta K$ , который задается пользователем. Перед первым циклом надо записать в регистр 1 такое число, чтобы в сумме с приращением оно было равно 1 (минимальному значению параметра  $K$ ). Например, если  $\delta K = 0,2$ , то первоначально необходимо занести в регистр число, равное 0,8.

После ввода угла  $\theta$  в регистр X надо нажать клавиши В/0 С/Π и ждать результата вычислений. Значение  $N$  высвечивается на индикаторе и хранится (до следующего цикла вычислений) в регистре 5. Второй и последующие циклы вычислений производятся нажатием клавиш С/Π, так как синус угла крена будет храниться в регистре 6. Пуск программы для второго и последующих циклов вычислений нажатием клавиш В/0 С/Π приводит к ошибочному результату. Проверка текущего значения параметра  $K$ , после завершения очередного цикла вычислений, производится нажатием клавиш  $\Pi \rightarrow x$  1.

После завершения процесса вычислений множителя  $N$  для данного угла и всех значений  $K$  необходимо перейти к вычислениям для другого значения угла  $\theta$ . Для этого необходимо: записать в регистр 1 число 0,8; занести в регистр X новое значение угла  $\theta$ ; произвести первый цикл вычислений (в этой серии) нажатием клавиш В/0 С/Π; произвести последующие циклы вычислений нажатием клавиш С/Π. Результаты расчетов приведены в табл. 11.

С помощью табличных данных можно построить графики типа  $N = f(\theta, K)$  в прямоугольной системе координат. Это избавит от необходимости интерполяции при значениях аргументов, отличных от табличных.

Таблица или графики, позволяющие получить значение множителя  $N$  по аргументам  $\theta$  и  $K$ , существенно упрощают процесс оценки

Таблица 11. Значения множителя  $N$ 

K	$\theta$							
	20	30	40	50	60	70	80	90
1	7,78	5,22	3,99	3,30	2,88	2,63	2,49	2,45
1,2	8,63	5,80	4,44	3,68	3,22	2,94	2,79	2,74
1,4	9,54	6,43	4,93	4,09	3,58	3,27	3,11	3,06
1,6	10,50	7,09	5,44	5,52	3,96	3,62	3,44	3,39
1,8	11,50	7,77	5,97	4,96	4,36	3,99	3,79	3,73
2,0	12,52	8,47	6,52	5,42	4,76	4,37	4,15	4,09
2,2	13,56	9,18	7,08	5,89	5,18	4,75	4,52	4,45
2,4	14,62	9,91	7,65	6,37	5,61	5,15	4,90	4,82
2,6	15,70	10,65	8,23	6,86	6,04	5,54	5,28	5,19
2,8	16,78	11,40	8,81	7,35	6,47	5,95	5,66	5,57
3,0	17,88	12,15	9,40	7,85	6,91	6,35	6,05	5,95
3,2	18,98	12,91	9,99	8,34	7,36	6,76	6,44	6,34
3,4	20,09	13,67	10,59	8,85	7,80	7,17	6,83	6,73

Пример. Дано:  $m_{\text{лп}_2} = 0,4$  мили;  $m_{\text{лп}_1} = 0,8$  мили;  $\theta = 50^\circ$ .

Требуется найти  $M_0$ .

Р е ш е н и е.

1. Вычисляем параметр  $K = 0,8/0,4 = 2$ .
2. По аргументам  $K = 2$  и  $\theta = 50^\circ$  из табл. 17 находим  $N = 5,42$ .
3. Вычисляем  $M_0 = 0,4 \cdot 5,42 = 2,168 = 2,17$ .

точности обсервованного места судна в условиях мостика, что, несомненно, будет способствовать повышению культуры судовождения. Далее, простота получения результата позволяет провести предварительный анализ относительно ожидаемой (прогнозируемой) погрешности обсервованного места судна. Весьма удобна эта таблица для использования в учебном процессе, в том числе в судовых условиях, что имеет особое значение.

Оценка точности места судна при использовании трех и более линий положения. Так как для получения обсервованного места необходимо 2 линии положения, то при  $n$  линиях положения  $n - 2$  являются избыточными. Для определения вероятнейших координат при наличии трех линий положения широко используется графический способ, который не нуждается в пояснении. Вместе с тем используется, особенно в навигационных комплексах (включая спутниковую систему), аналитический метод получения поправок координат относительно счислимых на основе метода наименьших квадратов (МНК). Рассмотрим вкратце его сущность. Дело в том, что из-за сложности математического аппарата МНК, особенно при неравноточных измерениях, он применяется только в вычислительных комплексах. В связи с этим в дальнейшем ограничимся изложением наиболее простого случая, когда наблюдения равноточные.

Допустим, что наблюдатель получил  $n$  линий положения. В этом случае можно написать:

$$a_i x + b_i y - p_i = \Delta_i,$$

где  $x, y$  — поправки координат;  $\Delta_i$  — погрешности линий положения;  $n$  — количество линий положения.

Так как система содержит  $n - 2$  неизвестных, то она в явном виде неразрешима. В связи с этим используют МНК, сущность которого заключается в том, что вместо  $\Delta_i$  используют уклонения  $v_i$  и ставят условие, при котором  $\sum v_i^2 = \min$ .

Для достижения этой цели находят производные по переменным  $x, y$  и  $v$  и приравнивают их к нулю. Затем производят группировку однородных членов и получают два нормальных уравнения:

$$\begin{aligned} [aa]x + [ab]y + [ap] &= 0; \\ [ab]x + [bb]y + [bp] &= 0. \end{aligned}$$

Используя полученные уравнения, вычисляют поправки к численным координатам:

$$x = \frac{[ab][bp] - [aa][bp]}{D};$$

$$y = \frac{[ab][ap] - [aa][bp]}{D};$$

$$D = [aa][bb] - [ab][ab].$$

Оценка точности obserвованного места производится или с помощью СКП широты и отшествия, или с помощью эллипса погрешностей:

$$m_\varphi = \frac{[vv][bb]}{D(n-2)}$$

$$m_w = \frac{[vv][aa]}{D(n-2)}$$

$$[vv] = [pp] + [a]x + [b]y.$$

Здесь  $m_\varphi$  и  $m_w$  — СКП координат.  
Знак  $[ ]$  означает суммирование.

В навигационных комплексах используются разновидности МНК, а также фильтр Калмана для совместной обработки радионавигационных измерений и результатов счисления.

### 3.6. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

На судах морского и рыбопромыслового флота широкое применение получили гиперболические радионавигационные системы (РНС):

навигационной изолинией, получаемой с помощью РНС, является гиперболой, в фокусах которой расположены радиостанции.

Гиперболические РНС подразделяются на следующие виды:

фазовые, использующие зависимость фазы несущих колебаний от расстояния;

импульсные (временные), использующие закон распространения радиосигнала во времени при известной скорости;

частотные, в которых используется зависимость частоты несущих или модулированных колебаний от скорости изменения расстояния между источником и наблюдателем.

В зависимости от дальности действия гиперболические РНС подразделяются на системы:

неограниченной дальности действия (РНС "Омега"), позволяющие определять место судна в любой точке земного шара;

дальней навигации, позволяющие определять координаты судна при удалении до 2000 миль от станции;

средней навигации, позволяющие определять координаты судна при удалении до 300 миль от станции;

ближней навигации: для определения координат на удалении до 100 миль.

**Оценка точности определения места судна, полученного с помощью РНС "Лоран-А".** Принцип работы РНС "Лоран-А" основан на измерении промежутка времени между моментами прихода двух импульсов от двух береговых радиостанций, одна из которых — ведущая, а другая — ведомая. Ведомая станция излучает импульс с некоторой задержкой относительно ведущей. Разность расстояний определяется по формуле

$$\Delta D = v(\Delta t - t_3),$$

где  $\Delta D$  — разность расстояний;  $v$  — скорость распространения импульса;  $\Delta t$  — промежуток времени;  $t_3$  — время задержки.

Для разделения сигналов двух пар одной цепочки, а также соседних цепочек сигналы каждой пары следуют со своей частотой повторения. Практическая задача по прокладке изолиний (гипербол) и получению обсервованного места судна решается с помощью специальных таблиц или радионавигационных карт. Гиперболы наносят для случая приема поверхностных волн, а для пространственных волн приводятся поправки (в микросекундах) в точках пересечения координатных линий через определенные интервалы. Средняя квадратическая погрешность определения интервала времени на поверхностных волнах составляет  $\pm 2$  мкс, а на пространственных  $\pm 5$  мкс. Эти погрешности приводят к смещению изолинии соответственно на величину погрешности в измерении разности расстояний; на поверхностных волнах  $\pm 600$  м; на пространственных волнах  $\pm 1500$  м.

Кроме случайных погрешностей на точность определения координат места судна по пространственным волнам оказывают влияние си-



стематические погрешности, возникающие из-за несоответствия расчетной и действительной скорости распространения радиоволн. При оптимальных условиях ( $\gamma_1 = \gamma_2 = 60^\circ$ ;  $\theta = 60^\circ$ ) радиальная средняя квадратическая погрешность составляет 0,5 мили и 1,3 мили при использовании поверхностных и пространственных волн соответственно. В общем случае радиальная средняя квадратическая погрешность обсервованного места на расстояниях до 300–400 миль, т. е. при использовании поверхностных волн, составляет 3–6 миль. При использовании пространственных волн погрешность возрастает из-за интерференции пространственных волн. Дальность действия РНС "Лоран-А" днем 600–900 миль, а ночью с использованием пространственных волн — до 1400 миль. В связи с низкой точностью РНС "Лоран-А" заменяется другими системами, в том числе РНС "Лоран-С".

Оценка точности определения места судна, полученного с помощью РНС "Лоран-С". "Лоран-С" работает на частоте 100 кГц ( $\lambda = 3000$  м). Радиоволны такой длины хорошо распространяются над земной поверхностью. Так как в РНС "Лоран-С" используются базы большей длины, чем в "Лоран-А", это обеспечивает охват большей площади одной цепочкой, состоящей из 4–5 станций. Цепочка РНС "Лоран-С" состоит из одной ведущей и 3–4 ведомых станций. Ведомые станции имеют обозначения  $w, x, y, z$ . Все станции работают на одной и той же несущей частоте. Импульсы ведущей и ведомых станций, принятые на судне, опознаются по их расположению на развертке электронно-лучевой трубки, которое зависит от кодовых задержек. Принцип работы РНС "Лоран-С" основан на измерении промежутка времени между моментами прихода импульсов от ведущей и ведомой станций и разности фаз высококачественных колебаний, заполняющих импульсы:

$$t_{\text{и}} = NT + t_{\text{ф}} + \Delta t_{\text{ф}},$$

где  $T$  — период несущих колебаний;  $N$  — целое число периодов  $T$  несущих колебаний;  $t_{\text{ф}}$  — дробная часть периода, измеренная фазовым методом;  $\Delta t_{\text{ф}}$  — погрешность фазовых измерений.

Нетрудно заметить, что для устранения многозначности фазовых измерений погрешность измерения параметра импульсным методом не должна превышать половину периода несущих колебаний. Так как в РНС "Лоран-С"  $T = 10$  мкс, то погрешность не должна превышать 5 мкс. Практически в приемнике "Лоран-С" имеются отдельные системы: импульсная и фазовая. Счетчик импульсной системы определяет целое количество периодов, а счетчик фазовой системы — отсчеты до сотой доли периода  $T$ . Для получения координат судна используются те же способы, что и в РНС "Лоран-С". Координаты изолиний рассчитывают исходя из случая приема поверхностных волн. Поэтому для других комбинаций рассчитывают поправки, которые приводятся в таблицах и на картах. Возможные следующие варианты поправок:

оба сигнала принимаются на пространственных волнах (поправка обозначения не имеет);

сигнал от ведущей станции принят на поверхностной волне, сигнал ведомой — на пространственной (поправка обозначается буквами *GS*);

сигнал ведущей станции принят на пространственной волне; сигнал ведомой — на поверхностной (*SG*).

Дневные поправки обозначаются буквой *D*, а ночные — буквой *N*. Так, запись (на карте) вида

$$SG + 73N - 25N$$

означает, что при измерении навигационного параметра по пространственному сигналу *S* ведущей станции и поверхностному *G* ведомой ночью *N* поправка равна +73 мкс, а для измерений по пространственным сигналам обеих станций ночью поправка равна -25 мкс. Поправки наносят на радионавигационных картах в точках пересечения меридианов и параллелей с интервалом  $2^\circ$  по широте и долготе. При необходимости нужна интерполяция, в некоторых случаях — двойная. Статистические характеристики погрешностей РНС "Лоран-С" зависят от расстояния до станции, внешних условий, характеризующих уровень помех, времени суток. Обработка 60 тысяч измерений позволила установить, что средняя квадратическая погрешность измерения интервала времени составляет 0,03–0,662 мкс, а среднее арифметическое значение равно 0,22 мкс. Радиальная погрешность обсервованного места по двум линиям положения при расстояниях до 1400 миль характеризуется величиной 80–300 м.

Как показывает практика, в зоне совместного действия поверхностных и пространственных волн (500–1000 миль) сложность опознавания сигналов усугубляется тем, что длительность импульса в системе "Лоран-С" значительно больше, чем задержка пространственного луча. В связи с этим результирующий импульс будет иметь сложную форму, а это, в свою очередь, усложнит процесс опознавания и совмещения фронтов огибающих, как это имеет место в приемнике "КПИ-5Ф".

Оценка точности при определении места судна с помощью РНС "Омега". РНС "Омега" предназначена для определения места судна в любой точке Мирового океана, т. е. является глобальной. Это обеспечивается тем, что в ней используются сверхдлинные волны длиной 22–30 км. Радиоволны такого диапазона распространяются на большие расстояния, мало поглощаются в нижних слоях атмосферы и хорошо проникают в толщу воды на глубину до 30 м. Принцип работы РНС "Омега" основан на измерении разности фаз колебаний радиоволны одинаковой частоты, принятых от двух источников. Разность фаз позволяет получить навигационный параметр — разность расстояний, изолинией является гипербола. В РНС "Омега" длина базы между радиостанциями составляет 5000–6000 миль. Все станции расположены с таким расчетом, чтобы в любой точке Мирового океана можно было

определить место по двум изолиниям с углами пересечения не менее  $60^\circ$ . Точная сетка гипербола создается на частоте  $f = 10,2$  кГц. В связи с этим ширина дорожек на базе составляет около 8 миль. Для устранения многозначности используют грубые дорожки на частоте  $f = 13,6$  кГц. Ширина грубых дорожек составляет около 24 миль. Так как нужная зона определяется по счислению, погрешность счисления не должна превышать 12 миль.

Для увеличения степени надежности определения нужной дорожки используются еще более широкие дорожки на частоте 11,33 кГц, т. е. шириной 72 мили. Синхронизация работы всех станций по фазе и времени измерения сигнала осуществляется относительно всемирного времени  $UT = 2$ , что обеспечивает независимость работы станций. Получение обсервованного места сводится к нахождению точки пересечения гипербола на радионавигационной карте или с помощью таблиц, аналогичных таблицам для РНС "Лоран-С".

Основная погрешность в измерении навигационного параметра определяется суточными и сезонными вариациями фазы колебаний, которые зависят от высоты Солнца в точке приема сигналов и на трассе распространения радиоволн. В дневное время СКП измерения разности фаз составляет 0,04–0,05 фазового цикла, а ночью — 0,06–0,09 фазового цикла. Относительно большие погрешности имеют место в момент восхода и захода Солнца и в сумерки.

Средние квадратические погрешности определения разности расстояний днем равны  $\pm 0,7$  мили, ночью —  $\pm 1,2$  мили. При угле пересечения гипербола, равном  $60^\circ$ , радиальная погрешность обсервованного места будет равна днем  $\pm 1,2$  мили, ночью —  $\pm 1,9$  мили.

Полученные результаты справедливы без учета корреляции. Однако если одна и та же станция будет использована для определения навигационного параметра с двумя другими, то необходимо учитывать корреляцию. Следует подчеркнуть, что коэффициент взаимной корреляции изменяется от 0 до 1.

Далее, на точность обсервации существенное влияние оказывают систематические погрешности, которые могут достигать (в пересчете на разность расстояний) 4–5 миль. Источниками систематических погрешностей являются: время суток, сезон года, уровень солнечной активности, характер и направление трассы.

Иными словами, систематическая погрешность возникает вследствие несоответствия действительной и расчетной скоростей распространения радиоволн. С целью повышения точности обсервации РНС "Омега" учитываются поправки за условия распространения радиоволн, которые определяются контрольными станциями или сравнительным способом с использованием обсерваций, полученных с помощью спутниковой навигационной системы. В первом случае метод называется дифференциальным, а во втором — квазидифференциальным.

В заключение следует отметить, что на расстоянии менее 650–600

милль наблюдается взаимная интерференция волн, ведущая к фазовым искажениям. В этой зоне обсервации возможны только методом дифференциальной "Омеги".

### 3.7. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОБСЕРВАЦИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

**Общие положения.** Навигационная спутниковая система (НСС) "Транзит" (разработчик США) находится в эксплуатации с 1964 г. В составе НСС постоянно находятся в эксплуатации 5 искусственных спутников Земли (ИСЗ). Они движутся по круговым орбитам высотой около 1075 км и периодом обращения около 105 мин. НСС позволяет определять место судна при нахождении ИСЗ в зоне радиовидимости при любой погоде. Опыт эксплуатации показал, что использование потенциальных возможностей этой системы для повышения точности обсерваций требует квалифицированного подхода к выполнению всех операций в период сеанса наблюдений, а это, в свою очередь, предполагает твердое знание теоретических основ, положенных в основу функционирования этой системы, и наличие практических навыков использования судовой навигационной аппаратуры (СНА). Известно, что в НСС "Транзит"\* используется интегральный доплеровский метод определения места судна. Сущность способа заключается в том, что путем интегрирования доплеровского сдвига частоты радиоизмерений за определенный интервал времени  $t$  получают разность расстояний между наблюдателем и двумя положениями спутника на орбите в моменты начала и конца интегрирования. Это расстояние  $d$  называется базой и определяется выражением

$$d = \frac{2\pi(R + H)}{T} t,$$

где  $d$  — база;  $\pi = 3,14$ ;  $R$  — радиус Земли;  $H$  — высота орбиты;  $T$  — период обращения спутника вокруг Земли;  $t$  — период интегрирования.

Так, при  $H = 1075$  км,  $T = 107$  мин,  $t = 120$  с = 2 мин,  $R = 6371$  км получим:  $d = 874,5$  км.

Известно, что

$$F_d = f - f_0 = \frac{v \cos \alpha}{c} f_0 = \frac{v \rho}{\lambda_0} = \frac{\dot{\rho}}{\lambda_0}, \quad (46)$$

где  $F_d$  — доплеровский сдвиг частоты (ДСЧ);  $f$  — частота принимаемого сигнала в месте нахождения наблюдателя;  $f_0$  — частота излучения сигнала спутником;  $v$  — скорость движения спутника на орбите;  $\alpha$  — угол между вектором скорости  $v$  и направлением на наблюдателя;  $c$  — скорость распространения радиоволн;

---

\* Также в системе "Цикада", имеющей примерно те же параметры.

$v_p$  — радиальная скорость сближения спутника с наблюдателем;  $\dot{\rho}$  — первая производная от расстояния до спутника по времени;  $\lambda_0$  — длина излучаемой спутником радиоволны ( $\lambda_0 = 0,75$  м).

Так как угол  $\alpha$  непрерывно изменяется, следовательно, согласно уравнению (46) изменяется и ДСЧ.

При  $\alpha = 90^\circ$ , т. е. когда спутник будет находиться на траверзе, ДСЧ = 0.

Технически ДСЧ определяется путем выделения частоты биений между частотой принятого сигнала и опорной частотой генератора эталонных колебаний приемника судовой навигационной аппаратуры (СНА).

Следовательно,  $F_d = f - f_0 = f_6$ ,

где  $f_6$  — частота биений.

Разность расстояния определяется путем подсчета импульсов биений за промежуток времени  $t$ , т. е. путем интегрирования доплеровской частоты  $F_d$  по времени:

$$\int_0^t F_d(t) dt = \frac{1}{\lambda_0} \int_0^t \dot{\rho}(t) dt.$$

Нетрудно заметить, что интеграл от левой части будет равен количеству биений, а интеграл от правой части — разности расстояний, возникшей за тот же самый промежуток времени  $t$ .

Следовательно,

$$N_6 = \frac{1}{\lambda_0} \Delta \rho,$$

откуда  $\Delta \rho = N_6 \lambda_0$ ;

здесь  $\Delta \rho$  — разность расстояний;  $N_6$  — количество биений.

Таким образом, между количеством импульсов биений и разностью расстояний имеется однозначное соответствие. Измеренная разность расстояний соответствует изолинии на земной поверхности, близкой по форме к сферической гиперболе, фокусы которой находятся на трассе спутника и являются "полюсами освещения" места спутника на орбите к моменту начала и конца интервала интегрирования. Изолиния вблизи счислимой точки заменяется линией положения, перенос которой вычисляется, естественно, как частное от деления полученной разности расстояний на модуль градиента изолинии.

Для сферической гиперболы

$$|g| = \frac{d}{\rho} \sin \alpha \left\{ 1 - \cos^2 \alpha \left[ \left( \frac{H+R}{R} \right)^2 - \cos^2 h_{\max} \right]^{1/2} \right\}, \quad (47)$$

где  $\rho$  — наклонная дальность от наблюдателя до середины базы (до вершины асимптотического конуса);  $\alpha$  — угол, равный половине раствора конуса (угол между базой и направлением на вершины конуса на наблюдателя);  $h_{\max}$  — максимальная угловая высота спутника (угловая высота в момент кульминации спутника).

Для спутника с высотой орбиты  $H = 1075$  км, при  $h_{\max} = 51,2^\circ$  выражение в квадратных скобках будет равно единице, а в интервале  $25^\circ \leq h_{\max} \leq 65^\circ$  оно будет изменяться от 0,55 до 1,19. Следовательно, приравняв к единице числовое значение выражения, содержащегося в квадратных скобках, мы внесем погрешность, изменяющуюся от  $-0,45$  до  $+0,19$ . Анализ показал, что такая замена вполне допустима для приближенной оценки, так как некоторая потеря количества компенсируется выигрышем качества анализа вследствие большой наглядности. Действительно, в этом случае

$$|g| = \frac{d}{\rho} \sin^2 \alpha. \quad (48)$$

$$\text{Известно, что } \rho = \frac{1}{H} \sin h_{\max} \sin \alpha.$$

С учетом этой замены окончательно получим:

$$|g| = \frac{d}{H} \sin^3 \alpha \sin h_{\max}. \quad (49)$$

Учитывая, что угол  $\alpha$  отсчитывается от середины базы, даже теоретически будем иметь  $0 < \alpha \leq 90^\circ$ . Практически минимальное значение угла  $\alpha$  равно  $31^\circ$ . В этом случае  $\sin^2 \alpha = 0,12$ . При  $\alpha = 90^\circ$   $\sin^3 \alpha = 1$ . (В этом случае вершина асимптотического конуса будет находиться на траверзе наблюдателя, т. е. в точке кульминации.)

Таким образом, мы выяснили, что при данном значении  $h_{\max}$  отношение минимального и максимального значения модуля градиента в "рабочей" зоне наблюдений составляет приблизительно 1 : 8. Естественно, это же соотношение справедливо (в рамках допущений) и для погрешностей в линиях при той же погрешности в  $\Delta\rho$ . Для более полного суждения о величине модуля градиента (табл. 12) в зависимости от различных значений максимальной угловой высоты спутника и угла  $\alpha$  вычислены числовые значения модуля градиента с использованием формулы (47), в которой сделана замена по формуле (48) и приняты следующие обозначения параметров:  $H = 1075$  км,  $R = 6371$  км,  $d = 437,2$  км (что соответствует интервалу интегрирования 1 мин),  $T = 107$  мин.

**Пример.** Дано:  $t = 120$  с;  $\alpha = 50^\circ$ ;  $h_{\max} = 40^\circ$ . Требуется найти модуль градиента.

**Решение.**

Из таблицы по аргументам  $h_{\max} = 40^\circ$  и  $\alpha = 50^\circ$  находим  $|g|_T = 0,126$ , тогда

$$|g| = 0,126 \frac{120}{60} = 0,252.$$

**Пример.** Дано:  $h_{\max} = 70^\circ$ . Требуется найти отношение модулей для крайних значений угла  $\alpha$ .

**Решение.** По аргументам  $h_{\max} = 70^\circ$  и  $\alpha = 30^\circ$  и  $90^\circ$  соответственно находим  $|g_1| = 0,023$ ,  $|g_2| = 0,382$ .

$$\text{Тогда } \frac{|g_1|}{|g_2|} = \frac{0,382}{0,023} = 16,6.$$

Следовательно, при одной и той же погрешности в измеренной разности расстояний погрешности в линии положения могут составить отношение 1 : 16.

**Таблица 12.** Значения модуля градиента  $|g|_T$

$h_{\max}$	$\alpha$						
	$30^\circ$	$40^\circ$	$50^\circ$	$60^\circ$	$70^\circ$	$80^\circ$	$90^\circ$
$10^\circ$	0,015	0,025	0,038	0,050	0,061	0,068	0,071
$20^\circ$	0,028	0,049	0,073	0,098	0,119	0,134	0,139
$30^\circ$	0,037	0,067	0,103	0,140	0,170	0,195	0,203
$40^\circ$	0,042	0,079	0,126	0,176	0,22	0,250	0,261
$50^\circ$	0,041	0,085	0,142	0,203	0,256	0,298	0,312
$60^\circ$	0,035	0,085	0,151	0,224	0,290	0,336	0,352
$70^\circ$	0,023	0,08	0,156	0,238	0,312	0,364	0,382

**Примечание.** При интервале интегрирования, отличном от 60 с, табличное значение модуля градиента надо умножить на число, равное  $t/60$ , где  $t$  — фактический период интегрирования в секундах.

**Оценка точности обсерваций.** Обсервованные координаты  $\varphi_0$  и  $\lambda_0$  вычисляют способом последовательных приближений (итераций). За основу принимают числимые координаты. Поправки последовательно рассчитывают за несколько циклов. Процесс длится до тех пор, пока разность между последовательными значениями координат не достигнет (по абсолютному значению) требуемой величины (меньшей или равной 0,001). Если по каким-либо причинам количество итераций превышает допустимое значение (5—6), то микро-ЭВМ игнорирует наблюдения и сообщает причину. В нормальных условиях количество итераций не превышает 2—3.

Обсервованные координаты будут содержать погрешности, зависящие от следующих величин: погрешностей в координатах спутника; нестабильности и сдвига частоты передатчика спутника и опорного генератора судового приемника; ионосферной рефракции; погрешности сигналов точного времени; погрешностей определения элементов вектора скорости судна относительно Земли; погрешностей счисления пути судна; погрешности в расчетной высоте судовой антенны; величины градиента навигационного параметра; количества линий положения; угла пересечения между ними.

Точность определения места спутника в среднем характеризуется радиальной погрешностью 30 м. Суммарная средняя квадратическая погрешность измерения ДСЧ, зависящая от ионосферной рефракции,

нестабильности частоты передатчика спутника и опорного генератора приемника, погрешности сигналов точного времени, составляет около 16 импульсов колебаний в одноканальном приемнике и около 4 — в двухканальном.

В одноканальном приемнике наибольшая погрешность ( $\pm 10$  колебаний) возникает от ионосферной рефракции.

Так как СКП разности расстояний определяется выражением

$$m_{\Delta\rho} = m_N \lambda_0, \quad (50)$$

где  $\lambda_0$  — длина волны, равная 0,75 м, то получим  $m_{\Delta\rho} = \pm 16 \cdot 0,75 = \pm 12$  м.

Погрешность в определении вектора истинной скорости судна зависит от погрешностей курсоуказателя и лага, а также погрешностей в определении элементов течения.

Так как спутники системы "Транзит" имеют полярные орбиты, то наибольшее влияние окажет меридиональная составляющая погрешности. СКП разности расстояний в этом случае определяется выражением

$$m_{\Delta\rho_v} = m_v t, \quad (51)$$

где  $m_{\Delta\rho_v}$  — СКП разности расстояний от погрешности в скорости, м;  $m_v$  — СКП определения скорости, м/с;  $t$  — период интегрирования.

Так, например, при  $m_v = 1$  уз. = 0,5 м/с и  $t = 60$  с, получим  $m_{\Delta\rho_v} = 0,5 \cdot 60 = \pm 30$  м.

Как видно из анализа, погрешность в определении вектора скорости может вызвать погрешность в определении разности расстояний большую, чем  $m_{\Delta\rho_N}$ . Об этом судоводитель должен помнить всегда. Чтобы от погрешностей в разности расстояний перейти к погрешностям линий положения, необходимо полученные значения разделить на модуль градиента. Так, для  $h_{\max} = 30^\circ$  и  $\alpha = 40^\circ$  (имея в виду, что  $t = 60$  с) из таблицы найдем  $|g| = 0,067$ . Тогда погрешности в линии положения

будут соответственно равны  $\pm \frac{12}{0,067} = \pm 179$  м и  $\pm \frac{30}{0,067} = \pm 448$  м.

Если же  $\alpha = 70^\circ$ , то соответственно получим  $\pm 71$  м и  $\pm 176$  м.

Средняя квадратическая погрешность обсервованного места (радиус круга погрешностей) вычисляется по формуле

$$M_0 = \left( \frac{\sum_1^n P_{\text{лп}i}}{\sum_1^K P_{\theta i}} \right), \quad (52)$$

где  $\sum_1^n P_{\text{лп}i}$  — сумма весов всех линий положения, полученная за сеанс наблюдений;

$\sum_1^K P_{\theta i}$  — сумма весов точек пересечения линий положения в вершинах фигур погрешности.



В частном случае, при равенстве весов, формула (52) запишется так:

$$M_0 = \frac{2m_{\text{лп}}(\text{ср})}{\left(n - \frac{\sin^2 \theta}{n \sin^2 \frac{\theta}{n}}\right)^{1/2}}, \quad (53)$$

где  $m_{\text{лп}}(\text{ср})$  – среднее арифметическое значение погрешностей линий положения;  $n$  – количество линий положения;  $\theta$  – угол между крайними линиями положения ( $\theta \leq 90^\circ$ ).

Так, при  $m_{\text{лп}}(\text{ср}) = \pm 80$  м,  $n = 10$ ,  $\theta = 90^\circ$  получим  $M_0 = 68$  м.

Если рассматривать отдельно влияние погрешности в определении вектора скорости, то фигура погрешностей представляет собой эллипс, вытянутый по параллели. Отношение полуосей приблизительно равно 1 : 3. Так, при погрешности в скорости 1 узел большая полуось примерно равна 2,5 кбт. Погрешности счисления влияют на точность обсервованного места, так как все линии положения должны быть приведены к одному зениту путем смещения каждой линии положения по линии пути на величину пройденного расстояния за интервал времени между моментами наблюдений и моментом, к которому они приводятся. Погрешность в обсервованных координатах определяется по формуле (53), в которой вместо  $m_{\text{лп}}(\text{ср})$  подставляется линейная СКП счисления по направлению нормали к линии положения, определяемая, например, по формуле

$$m_c = \frac{1}{\sqrt{2}} K_c t_{\text{пр}}(\text{ср}),$$

где  $K_c$  – коэффициент точности счисления;  $t_{\text{пр}}(\text{ср})$  – время приведения, с.

Так, при  $K_c = 0,2$ ,  $t_{\text{пр}}(\text{ср}) = 180$  с получим  $m_c = 26$  м.

Значение  $t_{\text{пр}}(\text{ср})$  зависит от того, к какому моменту наблюдений производится приведение. Так, при 10 линиях положения, взятых через  $t = 60$  с, если приведение производится к среднему моменту,  $t_{\text{пр}}(\text{ср}) = 180$  с, а если к моменту первой линии положения, то  $t_{\text{пр}}(\text{ср}) = 360$  с. Вполне понятно, что тот или иной способ приведения к одному зениту заложен в программе микро-ЭВМ и судоводитель не может изменить его по своему усмотрению, но он должен знать об этом.

Суммарная СКП обсервованного места определяется как корень квадратный из суммы квадратов составляющих погрешностей. Однако более наглядной является оценка точности по составляющим погрешностям, ибо в точной постановке задача весьма сложна, а "усредненная" оценка искажает истинную ситуацию.

Погрешность в расчетной высоте антенны возникает вследствие того, что в алгоритме решения Земля принята за референцэллипсоид,

а фактически наблюдатель находится на поверхности геоида. Разность возвышений между указанными поверхностями называется геоидной высотой  $h_{\Gamma}$ , которая колеблется в пределах от +70 до -100 м. Далее, судовая антенна приемника располагается на определенном уровне над поверхностью геоида. Таким образом, точка приема сигналов со спутника располагается на высоте  $h_{\text{ант}}$  от поверхности эллипсоида вращения, где

$$h_{\text{ант}} = h_{\Gamma} + h_{\text{в}},$$

где  $h_{\Gamma}$  — геоидная высота, м;  $h_{\text{в}}$  — высота антенны над уровнем моря (уровнем геоида), м.

Погрешность в высоте антенны приводит к погрешности в координатах, преимущественно в долготе. Максимальная погрешность имеет место, когда середина базы будет находиться на траверзе наблюдателя. Ее величина определяется выражением

$$\delta\lambda = \frac{1}{\cos\varphi} \delta h_{\text{ант}} \operatorname{tg} h_{\text{max}},$$

где  $\delta\lambda$  — погрешность в долготе, мин;  $\varphi$  — широта наблюдателя;  $\delta h_{\text{ант}}$  — погрешность в высоте антенны, м;  $h_{\text{max}}$  — угловая высота "кульминации" середины базы.

Так как максимальная погрешность в геоидной высоте не превышает  $\pm 20$  м (из-за местной гравитационной аномалии), то при  $45^\circ \leq h_{\text{max}} \leq 65^\circ$  погрешность в отшестии не будет превышать 20–40 м. К этому следует добавить, что в некоторых приемниках СКП учет геоидной высоты производится автоматически, в зависимости от координат места наблюдателя.

**Учет различия в опорных геодезических системах координат.** Морские навигационные карты составлены применительно к эллипсоиду вращения (референц-эллипсоид), форма которого определяется размером полуоси  $a$  и коэффициентом сжатия  $\alpha$ . При выборе параметров эллипсоида стремятся к тому, чтобы он был максимально приближен к геоиду — действительной фигуре Земли. В настоящее время в различных странах (или группах стран) используются различные референц-эллипсоиды. В СССР, например, используется референц-эллипсоид Красовского (с 1946 г.), в США — Кларка (с 1886 г.) и т. д. Существующие опорные геодезические системы не имеют общей координатной системы, поэтому переход с одной на другую непосредственно приводит к погрешностям. Далее, применение ИСЗ потребовало введения глобальной геодезической системы. В системе "Транзит", например, используется такая геодезическая система координат под названием "Стандартная Земля П, 1969".

Таким образом, координаты места судна, определенные по НСС "Транзит", не совпадают с точными координатами этого места, снятого

с карты, построенной в другой системе координат. Погрешность места колеблется в пределах 80—309 м.

Следовательно, судоводитель должен знать о существовании этой погрешности и учитывать ее при плавании, особенно в узкостях и вблизи режимных зон. Рекомендуются два способа определения этой погрешности и учета ее в дальнейшем в виде поправки.

Первый способ заключается в сравнении обсервованных координат при стоянке в порту с координатами, снятыми с карты. Многократные наблюдения позволяют выявить (статистически) значение поправки.

Второй способ заключается в расчете поправок к широте и долготе, служащих для перехода от геодезической системы "Стандартная Земля II, 1969" к другой. Формулы для некоторых эллипсоидов имеются в учебных пособиях.

**Рекомендации по повышению точности обсерваций.** Анализ показал, что качество обсерваций во многом зависит от того, насколько точно известно значение вектора абсолютной скорости судна и аккуратно ведется счисление в период сеанса наблюдений. Следовательно, необходимо использовать все известные приемы и способы с тем, чтобы, насколько это возможно, уменьшить погрешности. Приведем наиболее важные рекомендации, которые сводятся к следующему: на основе прогноза движения спутников прогнозировать движение судна при травлении с тем, чтобы по возможности исключить маневры во время сеанса наблюдений; систематически определять (уточнять) поправку лага всеми известными способами; определять элементы течения с помощью СНА; определять угол дрейфа судна; проводить статистический анализ невязок счислимых координат с целью неучтенного систематического сноса; учитывать поправки за несоответствие систем.

Помимо указанных мероприятий необходимо систематически заниматься анализом обсерваций.

При анализе обсерваций следует обратить внимание на значение  $h_{\max}$ . Дело в том, что для получения надежных обсерваций необходимо, чтобы  $h_{\max}$  находилась в пределах, исходя из используемой СНА:

SAN – 181 (182) и SIMRAD-707	5–75°
MX – 1102	10–70°
FSN – 220	7–75°

При малых высотах усиливается влияние внешних помех и возрастает степень затухания радиоволн. При угловых высотах за верхним пределом существенно уменьшаются углы пересечения изолиний, что обуславливает возрастающую погрешность в обсервованной долготе. В предельном случае, при  $h_{\max} = 90^\circ$ , изолинии будут располагаться параллельно, следовательно, обсервация невозможна теоретически. Как указывалось выше, для расчета обсервованных координат вполне достаточно 2–3 итераций. Если по каким-либо причинам количество

итераций превышает 5—6, то вычисления прекращаются и на дисплее появляется сообщение об отсутствии обсервации с указанием причины. В некоторых приемниках США индуцируется количество итераций и оценка качества обсервации.

Так, при использовании аппаратуры FSN-70 данные прогноза будущих спутников могут выглядеть так:

FUTURE	SAT	NO	ELU
1	01:23	120	14
2	02:46	130	09
3	03:57	200	55

В этом сообщении приводятся: очередность восхода спутников с указанием гринвичского времени; их номера (последние 3 цифры) и максимальные угловые высоты, которые составляют соответственно 14, 9 и 55°. Касаясь качества обсерваций применительно к США FSN-70, сообщение может выглядеть так:

NO	ELU	ITR	DOP	DV	OK
130	43	2	21	0085	

Это сообщение означает, что по наблюдениям спутника № 30130 (высвечиваются только последние три цифры), имеющего максимальную угловую высоту 43°, обсервованные координаты получены за 2 итерации, доплеровских отсчетов 21, сдвиг между опорными частотами судового и спутникового генераторов частоты равен 0,085%, обсервация надежная (ОК) и принята для автоматической коррекции счисления. Если же появится сообщение NG или UP, то это будет означать соответственно:

обсервация ненадежная, не принята для автоматической коррекции счисления;

обсервация ненадежная, но может быть использована для принудительной коррекции счисления.

Полезно отметить, что подтверждена экспериментально целесообразность использования для принудительной коррекции счисления (в ЮВТО) обсерваций, которые квалифицировались США как ненадежные из-за одновременного приема сигналов двух ИСЗ. Поэтому творческий подход к анализу качества обсерваций позволит повысить эффективность использования потенциальных возможностей спутниковой системы.

### 3.8. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ СЧИСЛЕНИЯ ПУТИ СУДНА

**Общие положения.** Безопасность мореплавания и бесконфликтное ведение промысла напрямую зависят от точного и аккуратного счисления пути судна. Следует отметить, что в соответствии с требованиями ИМО точность счисления должна быть увязана с точностью обсерваций по системе и максимально допустимым интервалом времени между

обсервациями с учетом ожидаемых погрешностей от неточного учета приливо-отливных и других течений, погрешности в определении угла дрейфа. При этом считается, что счисление ведется с помощью лага и гирокомпаса, удовлетворяющих конвенционным требованиям. Для оценки точности текущего места принята допустимая радиальная погрешность места  $M_c$  (с вероятностью 95 %) в зависимости от дистанции до опасности.

Оценка точности текущего места производится с учетом погрешности последней обсервации и погрешности счисления. Для определения  $M_c(t)$  используются два способа: статистический и априорный.

**Статистический способ определения погрешности счислимого места.** Статистический способ определения  $M_c(t)$  основан на совместном учете всех факторов, влияющих на точность счисления пути судна. Этот способ базируется на использовании теории случайных функций. Доказано, что средняя квадратическая погрешность счисления  $M_c(t)$  зависит от продолжительности плавания между надежными обсервациями и может быть определена:

при продолжительности плавания  $t \leq 2$  ч по формуле

$$M_c(t) = \frac{1}{2^{1-\theta}} K_c t; \quad (54)$$

при продолжительности плавания  $2 \leq t \leq 5$  ч по формуле

$$M_c(t) = K_c t^\theta, \quad (55)$$

где  $t$  – продолжительность плавания, ч;  $K_c$  – коэффициент точности счисления;  $\theta$  – безразмерный параметр, изменяющийся в пределах  $0,3 \leq \theta \leq 0,8$ .

Если значение параметра неизвестно, то его принимают равным 0,5. В этом случае

при  $t \leq 2$  ч  $M_c(t) = 0,71 K_c t$ ;

при  $t > 2$  ч  $M_c(t) = K_c \sqrt{t}$ .

В дальнейшем будем пользоваться полученными соотношениями.

Для вычисления  $K_c$  используется формула

$$K_c = 1,13 \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_i t_i^{0,5}}{\sum_{i=1}^{i=n} t_i}, \quad (56)$$

где  $c_i$  – невязки счисляемых мест при продолжительности плавания  $2 \leq t \leq 5$  ч;  $t_i$  – продолжительность плавания на курсе, ч; 1,13 – коэффициент, соответствующий вероятности 68,3 %.

Для того чтобы средняя квадратическая погрешность определения  $K_c$  не превышала определенной величины, необходимо выполнить определение количества невязок не менее чем

$$n = 0,3K_c^2/m_{K_c}^2,$$

где  $n$  – максимальное количество невязок;  $m_{K_c}$  – СКП коэффициента счисления.

Так, если  $K_c = 1,3$ ,  $m_{K_c} = 0,1$ , то

$$n = \frac{0,3 \cdot 1,3^2}{0,01} = 51.$$

Для определения  $m_{K_c}$  используется формула

$$m_{K_c} = \left[ \sum_{i=1}^{i=n} \Delta_i^2 / \sum_{i=1}^{i=n} t_i (n-1) \right]^{1/2},$$

где  $n$  – число невязок;  $\Delta_i$  – разность между соответствующими невязками, вычисленными по формуле (56) и снятыми с карты. Отметим, что относительная погрешность  $m_{K_c}/K_c \leq 0,08 \div 0,1$  считается допустимой.

Вполне понятно, что для получения значения коэффициента счисления с большей надежностью необходима систематизация и обработка большого объема статического материала как для данного типа судна, так и для однотипных судов.

Априорный способ определения погрешности счислимого места. Этот способ основан на раздельном учете ожидаемых погрешностей в элементах счисления.

При этом в расчет принимаются средние квадратические погрешности:  $m_{п.у\alpha}$  – путевого угла от дрейфа;  $m_{вл}$  – в поправке лага, %;  $m_{к.т}$  – в направлении течения, г;  $m_k$  – в поправке компаса, г;  $m_{вт}$  – в скорости течения, уз.

$$M_c(t) = \left[ \left( S \frac{m_{п.у\alpha}^0}{57,3} \right)^2 + \left( S \frac{m_{л}^{\%}}{100} \right)^2 + \left( \frac{m_{к.т}^0 v_t t}{57,3^{\circ}} \right)^2 + \right. \\ \left. + (m_{вт} t)^2 + \left( S \frac{m_k^0}{57,3^{\circ}} \right)^2 \right]^{1/2}. \quad (57)$$

Здесь  $S$  – плавание за время  $t$ , мили;  $v_t$  – скорость течения, уз;  $t$  – продолжительность плавания, ч.

Для вычисления  $M_c(t)$  составлена программа, распределение исходных данных и результата приведено ниже.

Параметры	$S$	$m_{п.у\alpha}^0$	$m_{л}$	$m_{к.т}$	$v_t$	$t$	$m_{вт}$	$M_k$	$M_c$
Регистры	0	1	2	3	4	5	6	7	8

Программа 19. Расчет  $M_c(t)$

Адрес	00	01	02	03	04	05	06
Клавиши	П → х 0	П → х 1	х	1	F 7	х	F х <sup>2</sup>
Код	60	61	12	01	1□	12	22

Адрес	07	08	09	10	11	12	13
Клавиши	П → x 0	П → x 2	x	1	0	0	÷
Код	60	62	12	01	00	00	13
Адрес	14	15	16	17	18	19	20
Клавиши	F x <sup>2</sup>	+	П → x 3	П x 4	x	П → x 5	x
Код	22	10	63	64	12	65	12
Адрес	21	22	23	24	25	26	27
Клавиши	1	F 7	x	F x <sup>2</sup>	+	П → x 5	П → x 6
Код	01	1□	12	22	10	65	66
Адрес	28	29	30	31	32	33	34
Клавиши	x	F x <sup>2</sup>	+	П → x 0	П → x 7	x	1
Код	12	22	10	60	67	12	01
Адрес	35	36	37	38	39	40	41
Клавиши	F 7	x	F x <sup>2</sup>	+	F √	x → П 8	С/П
Код	1□	12	22	10	21	48	50

Примечания:

1. При составлении программы использовано общеизвестное соотношение  $\arcsin 1^\circ \approx \sin 1^\circ$ .

2. После набора программы, перевода в режим "Автоматическая работа" и занесения исходных данных в соответствующие регистры памяти необходимо нажать клавиши В/О С/П.

Процесс вычисления длится около 20 с. Ниже приводятся данные для решения контрольного примера:

Параметры	$S$	$m_{п.у.а}$	$m_{п}$	$m_{к.т}$	$v_T$	$t$	$m_{v_T}$	$M_{к}$	$M_{с}(t)$
Регистры	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Числовые данные	15	1,2	1,5	20	1,2	1,5	1,1	0,6	1,81

**Оценка точности текущего места.** Оценка точности текущего места (на любой момент времени) производится путем расчета средней квадратической погрешности:

$$M_c = [M_0^2 + M_c(t)]^{1/2}, \quad (58)$$

где  $M_0$  – СКП последней обсервации;  $M_c(t)$  – СКП счислимого места.

Для получения погрешности текущего места с вероятностью 95 % необходимо  $M_c$ , полученное по форме (58), умножить на 1,73.

**Пример.** Дано:  $M_0 = 0,7$  мили;  $M_c(t) = 0,9$  мили. Требуется найти  $M_c$ .  
Решение.

$$M_c = (0,7^2 + 0,9^2)^{1/2} = 1,14 \text{ мили.}$$

**Расчет допустимого времени плавания по счислению.** Расчет допустимого времени плавания по счислению проводят исходя из заданного значения погрешности текущего места. Известно, что

$$M_{\text{доп}} = [M_0^2 + M_c(t)^2]^{1/2}, \quad (59)$$

где  $M_{\text{доп}}$  — допустимая погрешность текущего места;  $M_0$  — СКП последней обсервации;  $M_c(t)$  — СКП счисления.

Известно, что при  $t \leq 2$  ч  $M_c(t) = K_c t$ ,  
а при  $2 < t \leq 5$ ,  $M_c = K_c t^{0,5}$ .

Подставив в уравнение (59) вместо  $M_c(t)$  соответствующее выражение и решив полученное уравнение относительно  $t$ , будем иметь:

$$\text{при } t \leq 2 \text{ ч } t = \frac{1,41 (M_{\text{доп}}^2 - M_0^2)^{0,5}}{K_c},$$

$$\text{при } t > 2 \text{ ч } t = \frac{M_{\text{доп}}^2 - M_0^2}{K_c^2}.$$

**Пример.** Для плавания по рекомендованному курсу определена с вероятностью 0,95 допустимая погрешность текущего места  $M_{\text{доп}} = 1,3$  мили,  $K_c = 0,9$ ,  $M_0 = 0,7$  мили. Требуется рассчитать допустимое время плавания по счислению  $t$ .

**Решение.**

$$t = \frac{M_{\text{доп}}^2 - M_0^2}{K_c^2} = \frac{1,3^2 - 0,7^2}{0,9^2} = 1,5 \text{ ч.}$$



## 4. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ И МЕТОДОВ МОРЕХОДНОЙ АСТРОНОМИИ

### 4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Несмотря на бурное развитие радиотехнических средств и методов определения места судна в море, использование астронавигации в обозримом будущем является обязательным по Международной конвенции о подготовке, дипломировании моряков и несении вахты 1978 г., что отражает объективную необходимость и потребность практики. В связи с этим ведутся разработки по созданию секстансов с дистанционной передачей отсчетов угла и моментов времени, труб к секстансам для ночных наблюдений, специализированных вычислительных устройств и т. д. Вновь возрастающий интерес к астронавигации вызван тем, что она реализует независимый контроль счисления пути судна и обсерваций по светилам. Характерна в этом отношении рекомендация, изложенная в руководстве по эксплуатации современной спутниковой аппаратуры радионавигации FSN-70 (Япония). Предусмотрительный судоводитель никогда полностью не должен полагаться только на один электронный прибор, а использовать всю имеющуюся информацию, в том числе данные астрономических наблюдений. Следовательно, повышение эффективности использования инструментов и методов мореходной астрономии действительно имеет практическое значение и в наши дни. В связи с этим рассмотрим те вопросы, реализация которых даст положительный эффект сразу, без каких-либо затрат.

### 4.2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МОРЕХОДНОЙ АСТРОНОМИИ

Расчет элементов высотной линии положения Солнца без непосредственного обращения к МАЕ. Анализ показал, что в пределах суток гринвичский часовой угол и склонение Солнца изменяются пропорционально отрезку времени. Часовой угол точки Овна изменяется равномерно за любой промежуток времени. Поэтому целесообразно при использовании программируемого микрокалькулятора вычислять часовые углы Солнца и точки Овна, а также склонение Солнца автоматически по формулам:

$$t_{\text{м}}^{\circ} = t_{\text{Гр}}^{\circ} + T_{\text{Гр}} \Delta t^{\circ} \pm \lambda_{\text{в}}^E;$$

$$t_M^{\delta} = t_{Гр}^{\delta} + T_{Гр} \Delta t^{\delta} \pm \lambda_w^E;$$

$$t_M^* = t_M^{\delta} + \tau^*;$$

$$\delta^{\circ} = \delta_T^{\circ} + T_{Гр} \Delta \delta^{\circ},$$

где  $t_M^{\delta}$ ,  $t_M^*$ ,  $t_M^{\delta}$  — местные часовые углы Солнца, точки Овна и звезды соответственно;  $t_{Гр}^{\delta}$ ,  $t_{Гр}^*$  — гринвичские часовые углы Солнца и точки Овна соответственно на начало текущих суток по гринвичскому времени;  $\Delta t^{\circ}$ ,  $\Delta t^{\gamma}$  — приращения гринвичского часового угла Солнца и точки Овна соответственно в градусах за 1 ч;  $T_{Гр}$  — гринвичское время наблюдения, ч;  $\delta_T^{\circ}$  — табличное значение склонения Солнца в градусах на  $T_{Гр} = 0$ ;  $\Delta \delta^{\circ}$  — приращение склонения Солнца в градусах за 1 ч гринвичского времени;  $\lambda_c$  — счислимая долгота места наблюдателя, градусы.

Для расчета гринвичского времени в часах на момент наблюдения использована формула:

$$T_{Гр} = \frac{1}{24} \Delta T_{Гр}^ч + \frac{1}{60} (\Delta T_{Гр}^м + \frac{1}{60} \Delta T_{Гр}^с),$$

где  $T_{Гр}^ч$ ,  $T_{Гр}^м$ ,  $T_{Гр}^с$  — доли гринвичского времени наблюдений, выраженные в часах, минутах и секундах соответственно.

Расчет приращений координат. Для решения задачи в соответствии с методикой, изложенной выше, необходимо иметь значения приращений гринвичского часового угла и склонения Солнца за один час гринвичского времени. В общем случае приращения вычисляют по формулам:

$$\Delta t^{\circ} = \frac{1}{24} (t_{Гр_2}^{\circ} - t_{Гр_1}^{\circ} + 360^{\circ});$$

$$\Delta \delta^{\circ} = \frac{1}{24} (\delta_2^{\circ} - \delta_1^{\circ}),$$

где  $t_{Гр_2}^{\circ}$ ,  $t_{Гр_1}^{\circ}$  — гринвичские часовые углы Солнца на 0 гринвичского времени на последующие и текущие сутки соответственно, выбранные из МАЕ;  $\delta_2^{\circ}$ ,  $\delta_1^{\circ}$  — склонение Солнца на 0 гринвичского времени на последующие и текущие сутки соответственно.

Для расчета приращений координат можно использовать подпрограмму (адреса 00—03 включительно) программы, служащей для перевода угла, выраженного в минутах и градусах, в градусную меру. Однако исследования показали, что решение этой задачи можно упростить на основе следующих предпосылок. Так как между значениями часовых углов  $t_{Гр_2}^{\circ}$  и  $t_{Гр_1}^{\circ}$  разность невелика, то  $\Delta t^{\circ}$  можно представить в следующем виде:

$$\Delta t^{\circ} = \frac{1}{24} \left( \frac{\Delta t'_2 - \Delta t'_1}{60} + 360^{\circ} \right),$$

где  $\Delta t'_2, \Delta t'_1$  – части часовых углов в дуговых минутах за вычетом градусов.

Так, для вычисления приращения часового угла на 01.05.87 г. будем иметь (см. табл. 19):  $\Delta t'_2 = 43,6$ ;  $\Delta t'_1 = 28 = 41,8$ .

Приращения  $\Delta\delta^\odot$  можно вычислить по формуле

$$\Delta\delta^\odot = \frac{1}{24} \left( \frac{\Delta\delta'_2 - \Delta\delta'_1}{60} \right),$$

где  $\Delta\delta'_2, \Delta\delta'_1$  – части склонения, выраженные в дуговых минутах, за вычетом целого числа градусов.

Однако если  $|\Delta\delta'_2| < |\Delta\delta'_1|$ , то к  $\Delta\delta'_2$  добавляется 60. Так, для определения приращения  $\Delta\delta^\odot$  на 1.05.87 (см. табл. 13) будем иметь.

$$\Delta\delta'_2 = 69,2; \Delta\delta'_1 = 51,0.$$

Ниже представлена программа для расчета приращений координат  $\Delta t^\odot$  и  $\Delta\delta^\odot$ .

*Программа 20. Расчет приращений координат  $\Delta t^\odot$  и  $\Delta\delta^\odot$*

Адрес	00	01	02	03	04	05	06	07	08
Клавиши	—	П→х 0	÷	П→х 1	+	2	4	÷	С/П
Код	11	60	13	61	10	02	04	13	50

Размещение констант и переменных, а также результата показано ниже.

Константы и перемен- ные	60	360	$\Delta t'_2$	$\Delta t'_1$	$\Delta t^\odot$
Регистры	0	1	у	х	х

*Инструкция по расчету приращений координат*

1. Включают МК.
2. Переводят МК в режим "Программирование" путем нажатия клавиш F ПРГ.
3. Набирают программу.
4. Переводят МК в режим "Автоматическая работа" путем нажатия клавиш F АВТ.
5. Заносят константы 60 и 360 в регистры 0 и 1 соответственно.
6. Производят отладку программы (решают контрольный пример).

*Таблица 13. Экваториальные координаты Солнца на май 1987 г. 0 гринвичского времени и их приращения за 1 ч*

Дата	$t^\odot_{\text{гр}}$	$\delta^\odot N$	$\Delta t^\odot$	$\Delta\delta^\odot$
01.05	180° 41.8'	14° 51.0'	15.00125°	1.2638888° 10 <sup>-2</sup>
02.05	180 43.6	15 09.2	15.00118	1.298611 10 <sup>-2</sup>
03.05	180 45.3	15. 27.2	15.00111	1.2291666 10 <sup>-2</sup>
04.05	180 46.9	15 44.9	15.00104	1.2152777 10 <sup>-2</sup>
05.05	180 48.4	16. 02.4	15.000902	1,1944444 10 <sup>-2</sup>
06.05	180 49,7	16 19.6	15.000763	1:173611 10 <sup>-2</sup>

Дата	$t_{гр}^{\odot}$		$\delta^{\odot}N$		$\Delta t^{\odot}$	$\Delta \delta^{\odot}$	
07.05	180	50.8	16	36.5	15.000763	1.1527777	$10^{-2}$
08.05	180	51.9	16	53.1	15.000625	1.1388888	$10^{-2}$
09.05	180	52.8	17	09.5	15.000555	1.1388888	$10^{-2}$
10.05	180	53.6	17	25.5	15.000416	1.09972222	$10^{-2}$
11.05	180	54.2	17	41.3	15.000347	1.0763888	$10^{-2}$
12.05	180	54.7	17	56.8	15.000208	1.0486110	$10^{-2}$
13.05	180	55.0	18	11.9	15.000138	1.0347222	$10^{-2}$
14.05	180	55.2	18	26.8	15.000069	1.0138888	$10^{-2}$
15.05	180	55.3	18	41.4	14.99993	9.8611108	$10^{-3}$
16.05	180	55.2	18	55.6	14.999791	9.6527775	$10^{-3}$
17.05	180	54.9	19	09.5	14.999791	9.4444441	$10^{-3}$
18.05	180	54.6	19	23.1	14.999652	9.2361108	$10^{-3}$
19.05	180	54.1	19	36.4	14.999513	8.9583333	$10^{-3}$
20.05	180	53.4	19	49.3	14.999444	8.7500000	$10^{-3}$
21.05	180	52.6	20	01.9	14.999305	8.5416666	$10^{-3}$

## Нажимаемые клавиши Индикация

43,6 В† 41,8 15.00125  
В/0 С/П

Если результат будет отличаться от приведенного (табличного), то приступают к исправлению ошибок.

7. Рассчитывают  $\Delta t^{\odot}$  так, как это указано в п. 6. При этом имеется в виду, что значения  $t_{гр}^{\odot}$  (на  $T_{гр} = 0^{\circ}$ ) на необходимое количество суток предварительно выбраны из МАЕ и занесены в таблицу, аналогичную табл. 13.

8. После расчета  $\Delta t^{\odot}$  переходят к вычислению  $\Delta \delta^{\odot}$ . Предварительно проводят очистку регистра 1 путем нажатия клавиши  $S_x x \rightarrow П 1$ . В остальном задача решается так же, как и при расчете  $\Delta t^{\odot}$ .

П р и м е ч а н и е. Знаки  $\delta$  и  $\Delta \delta$  зависят от соотношения  $\varphi$  и  $\delta$ : если  $\varphi$  и  $\delta^{\odot}$  разноименны, то  $\delta^{\odot}$  имеет знак минус; если  $\varphi$  и  $\delta^{\odot}$  одноименны, то  $\delta^{\odot}$  имеет знак плюс; если  $|\delta_2^{\odot}| > |\delta_1^{\odot}|$ , то знак  $\Delta \delta^{\odot}$  совпадает со знаком  $\delta^{\odot}$ ; если  $|\delta_2^{\odot}| < |\delta_1^{\odot}|$ , то наоборот.

## Инструкция работы с программой

## Операции

## Нажимаемые клавиши

1. Включите МК
2. Передайте в режим "Программирование" F ПРГ
3. Занесите программу
4. Передайте в режим "Автоматическая работа" F АВТ
5. Занесите константу 60 в регистр 0  $60 x \rightarrow П 0$
6. Занесите  $\Delta t^{\odot}$  в регистр d  $\Delta t^{\odot} x \rightarrow П d$
7. Занесите  $\Delta d^{\odot}$  в регистр c  $\Delta d x \rightarrow П c$
8. Занесите  $t_{гр}^{\odot}$  (выбранное на  $T_{гр} = 0^{\circ}$  текущих суток) в регистр b  $t^{\odot} В \uparrow t' В/0 С/П$   
 $x \rightarrow П b$
9. Занесите  $\delta^{\odot}$  (выбранное на  $T_{гр} = 0^{\circ}$  текущих суток) в регистр a. Если  $\varphi$  и  $\delta$  разноименны, измените знак  $\delta^{\odot} В \uparrow \delta'$   
 $В/0 С/П (/ - /)$   
 $x \rightarrow П a$

10. Занесите  $\varphi_c$  в регистр 1

$\varphi^\circ$  В↑  $\varphi'$

В/О С/П

$x \rightarrow \Pi 1$

11. Занесите счислимую долготу  $\lambda_c$  в регистр 9.

$\lambda^\circ$  В↑  $\lambda'$  В/О

С/П (/ - /)

$x \rightarrow \Pi 9$

12. Занесите обсервованную высоту светила  $h_o$  в регистр 7

$h^\circ$  В↑  $h'$

В/О С/П

13. Занесите  $T_{гр}$  на момент наблюдений в стековые регистры

$T^{\text{ч}}$  В↑  $T^{\text{м}}$  В↑  $T^{\text{с}}$

14. Вычислите искомые данные  $h_o - h_c, A_c$

БП 04 С/П

**П р и м е ч а н и е.** Цикл вычислений длится 25–30 с. После завершения цикла вычислений на индикаторе высвечивается значение переноса высотной линии положения в дуговых минутах (милях).

Исходные данные, промежуточные и конечные результаты хранятся в следующих регистрах.

Гринвичское время наблюдений: часы – в регистре z; минуты – в регистре y; секунды – в регистре x.

Остальные параметры хранятся в регистрах, указанных ниже.

Параметр	$\varphi_c$	$\delta$	$t_{\text{м}}$	$h_c$	$A_c$	$h_o$	$h_o - h_c$
Регистр	1	2	3	4	5	7	x

Если при решении задачи возникает "сбой", то необходимо заново ввести гринвичское время наблюдений, как указано выше ( $T^{\text{ч}}$  В↑  $T^{\text{м}}$  В↑  $T^{\text{с}}$ ), и повторить вычисления, т. е. нажать клавиши БП 04 С/П.

Если же в процессе вычислений произойдет заикливание, то необходимо нажать клавишу С/П и повторить цикл вычислений.

**Программа вычислений.** Программа расчета элементов высотной линии положения без непосредственного обращения к МАЕ дана ниже.

**Пример.** 12.05.87 г. судно находится в точке с координатами  $\varphi_c = 53^\circ 10.0' \text{ N}$ ;  $\lambda_c = 35^\circ 40.0' \text{ W}$ ;  $T_{\text{суд}} = 8^{\text{ч}} 50^{\text{м}}$ . Судовые часы установлены по 4-му западному часовому поясу. В  $T_{\text{гр}} = 14^{\text{ч}} 59^{\text{м}} 40^{\text{с}}$  измерена высота Солнца;  $h_o = 54^\circ 23.0'$ .

Требуется рассчитать элементы высотной линии положения.

**Р е ш е н и е.**

Операции	Нажимаемые клавиши
1. Включают микрокалькулятор	
2. Переходят в режим "Программирование"	F PRG (В/О F PRG)
3. Записывают программу 21	См. программу 21
4. Переходят в режим "Автоматическая работа"	F ABT
5. Записывают константу 60 в регистр 0	60 $x \rightarrow \Pi 0$
6. Записывают $\Delta t_{\text{гр}}$ в регистр d	15.000208 $x \rightarrow \Pi d$
7. Записывают $\Delta \delta^\circ$ в регистр c	1.048611 ВП 0 2 1–1 $x \rightarrow \Pi c$
8. Записывают $t_{\text{гр}}^\circ$ (выбранное на $T_{\text{гр}} = 0^{\text{ч}}$ ) в регистр b	180 В↑ 54,7 В/О С/П (180.91167) $x \rightarrow \Pi b$
9. Записывают $\delta^\circ$ (на $T_{\text{гр}} = 0^{\text{ч}}$ ) в регистр a	17 В↑ 56,8 В/О С/П (17.946667) $x \rightarrow \Pi a$
10. Записывают широту $\varphi_c$ в регистр 1	53 В↑ 10 В/О С/П (53.166667) $x \rightarrow \Pi 1$

- |  |  |
|--|--|
| 11. Записывают долготу $\lambda_c$ в регистр 9   | 35 В↑ 40 В/0 С/П /-/<br>(-35.666667) x → П 9 |
| 12. Обсервованную высоту записывают в регистр 7  | 54 В↑ 23 В/0 С/П<br>(54.397896) x → П 7      |
| 13. $T_{гр}$ заносят в стековые регистры         | 14 В↑ 50 В↑ 40                               |
| 14. Пускают программу на счет с адреса 04        | БП 04 С/П (-8.73 -01)                        |
| 15. Извлекают из регистра 5 азимут $A_c$         | П → x 5 (167.0)                              |
| 16. Извлекают из регистра 3 местный часовой угол | П → x 3 (367.91476)                          |

Так как практический часовой угол западный ( $7.9^\circ W$ ), то вторая буква азимута имеет наименование - W.

Ответ:  $h_0 - h_c = -0,9'$ ;  $A_c = 167,0^\circ NW$ .

Примечание. Для этих же числимых координат ниже (см. табл. 14) приводятся исходные данные и результаты вычислений, которые могут служить контрольными примерами при тренировках.

*Программа 21. Расчет элементов высотной линии положения Солнца*

Адрес	00	01	02	03	04	05	06
Клавиши	П → x 0	÷	+	С/П	П → x 0	÷	+
Код	60	13	10	50	60	13	10
Адрес	07	08	09	10	11	12	13
Клавиши	П → x 0	÷	+	В↑	П → x d	x	П → x в
Код	60	13	10	OE	6Г	12	6L
Адрес	14	15	16	17	18	19	20
Клавиши	+	П → x 9	+	x → П 3	F 9	П → x C	x
Код	10	69	10	43	25	6C	12
Адрес	21	22	23	24	25	26	27
Клавиши	П → x a	+	x → П 2	F 7	П → x 1	F 7	x
Код	6-	10	42	1C	81	1C	12
Адрес	28	29	30	31	32	33	34
Клавиши	П → x 1	F 8	П → x 2	F 8	П → x 3	F 8	x
Код	61	1C	62	1C	63	1C	12
Адрес	35	36	37	38	39	40	41
Клавиши	x	+	F 4	x → П 4	F 7	П → x 1	F 7
Код	12	10	19	44	1C	61	1C
Адрес	42	43	44	45	46	47	48
Клавиши	x	П → x 2	F 7	↔	-	П → x 1	F 8
Код	12	62	1C	14	11	61	1C
Адрес	49	50	51	52	53	54	55
Клавиши	П → x 4	F 8	x	÷	F 5	x → П 5	П → x 7
Код	64	1C	12	13	1-	45	67
Адрес	56	57	58	59	60		
Клавиши	П → x 4	4-	П → x 0	x	С/П		
Код	64	11	60	12	50		

Примечание. При составлении программы использованы формулы:

$$\sin h_c = \sin \varphi_c \sin \delta + \cos \varphi_c \cos \delta \cos t_M; \cos A_c = \frac{\sin \delta - \sin \varphi_c \sin h_c}{\cos \varphi_c \cos h_c}.$$

Исходные данные и результаты расчета приведены в табл. 14.

**Таблица 14.** Исходные данные для расчета элементов высотной линии положения Солнца

№ п/п	$T_{гр}$	$h_0$	$h_0 - h_c$	$A_c$
1	16 <sup>ч</sup> 27 <sup>м</sup> 35 <sup>с</sup>	45° 58.0'	- 1.9'	132.1° NW
2	18 29 40	30 40.0	- 1.3	100.9° NW
3	20 12 29	15 25.6	+ 1.5	80.1° NW

**Расчет элементов высотной линии положения звезд.** Для расчета элементов высотной линии положения звезды рекомендуется использовать ту же программу, что и для получения элементов высотной линии положения Солнца, с соответствующей корректировкой Инструкции по использованию программы. Рассмотрим вопрос на конкретном примере.

**Пример.** 16.09.87 г. судно находится в дрейфе в точке с координатами (по численнику)  $\varphi_c = 22^\circ 27.0$  N;  $\lambda_c = 54^\circ 06.0$  W. Судовые часы установлены по 4-му (западному) часовому поясу ( $N_W = 4$ ). В  $T_c = 4^h 36^m$  ( $T_{гр} = 8^h 36^m$ ) измерены высоты 4 звезд (табл. 15).

**Таблица 15.** Исходные данные для расчета элементов высотной линии положения звезд

Звезда	$T_{гр}$	$h_0$	$\tau^*$	$\delta^*$
28 Канелла	8 <sup>ч</sup> 34 <sup>м</sup> 25 <sup>с</sup>	65° 11.0'	281° 03.3'	45° 59,2 N
55 Прокцион	35 49	43 16.5	245 20.3	5 15.7 N
16 Хамаль	36 51	54 51.7	328 22.6	23 24.4 N
27 Ригель		58 19.5	281 30.8	8 12.6 S

Требуется рассчитать переносы и азимуты звезд.

**Решение.**

Из МАЕ на 0<sup>ч</sup> 16.09.87 г. выбирают  $t_{гр}^Y = 354^\circ 24.6'$ . Принимают во внимание, что  $\Delta t^Y = 15.041042^\circ$ . После этого приступают к решению задачи с помощью микрокалькулятора.

*Действия*

*Нажимаемые клавиши*

- |   |                   |
|---|-------------------|
| 1. Включают микрокалькулятор                            |                   |
| 2. Переходят в режим "Программирование"                 | В/О F ПРГ         |
| 3. Записывают программу 21                              | См. программу 21  |
| 4. Переходят в режим "Автоматическая работа"            | F АВТ             |
| 5. Число 60 заносят в регистр 0                         | 60 x → П 0        |
| 6. $\Delta t_{гр}^Y$ заносят в регистр d                | 15.041042 x → П d |
| 7. Производят очистку регистра c (для отработки навыка) | Cx x → П c        |

- |  |   |
|--|---|
| 8. $t_{\text{гр}}^{\gamma}$ (на $T_{\text{гр}} = 0^{\circ}\text{C}$ ) переводят в градусы, заносят в регистр 8   | 354 В† 24.6 В/0<br>C/П $x \rightarrow \text{П } 8$                              |
| 9. Вычисляют $t_{\text{гр}}^*$ (на $0^{\circ}\text{C}$ ) и заносят в регистр b   | 281 В† 03.3 В/0<br>C/П $\text{П} \rightarrow x \ 8 + x \rightarrow \text{П } b$ |
| 10. Склонение $\delta^*$ переводят в градусы и заносят в регистр a. Если склонение разноименно с широтой, то перед записью его в регистр a изменяют знак | 45 В† 59.2 В/0<br>C/П $x \rightarrow \text{П } a$                               |
| 11. Широту $\varphi_c$ переводят в градусы и заносят в регистр 1   | 22 В† 27 В/0 C/П<br>$x \rightarrow \text{П } 1$                                 |
| 12. Долготу $\lambda_c$ выражают в градусах и заносят в регистр 9. Если долгота западная, то изменяют знак на минус                                      | 54 В† 06 В/0 C/П<br>/-/ $x \rightarrow \text{П } 9$                             |
| 13. Обсервованную высоту $h_0$ заносят в регистр 7   | 65 В† 11 В/0 C/П<br>$x \rightarrow \text{П } 7$                                 |
| 14. Гринвичское время наблюдений заносят в стековые регистры   | 8 В† 34 В† 25   |
| 15. Вычисляют азимут и перенос   | БП 04 C/П   |

#### Примечания:

1. После завершения цикла вычислений на индикаторе высвечивается перенос высотной линии положения в минутах дуги (милях). Для данного примера он будет равен  $-0,07'$ .

2. Азимут извлекается из регистра 5. Для данного примера  $A_c = 16,1^{\circ} \text{ NE}$ .

3. Для определения наименования второй буквы азимута извлекают из регистра 3 местный часовой угол звезды. Так как азимут получается в полукруговом счете, то вторая буква азимута одноименна с практическим часовым углом. Для данного примера  $t_{\text{м}} = 710.32^{\circ} \text{ W}$ , т. е. 9,67E. Следовательно, азимут имеет наименование NE.

4. Для расчета элементов второй и последующих линий положения необходимо выполнить действия, указанные в пп. 9, 10, 13, 14 и 15 примера. Для контроля приведены некоторые промежуточные и конечные результаты для остальных высотных линий положения (см. табл. 16).

**Таблица 16. Промежуточные и конечные результаты вычислений элементов высотных линий положения звезд**

Звезда	$t_{\text{гр}}^{\circ}$	$t_{\text{м}}^{\circ}$	$h_0 - h_c$	$A_c^{\circ}$
Процион	599.74823	675.58	1.06	104.6 NE
Хамаль	682.78667	758.25	0.08	80.8 NW
Ригель	635.92333	711.886	-0.1	164.6 NE

**Примечание.** Если микрокалькулятор до этого использовался для дневных наблюдений (т. е. для решения задач по Солнцу), то действия, изложенные в пп. 1–5, не выполняют.

**Расчет элементов высотной линии положения планет и Луны.** Положение планет. Определение переноса и азимута планет проводится так же, как и при обработке наблюдений Солнца. Разница может быть в том, что приращения часового угла и склонения за один час времени вычисляются непосредственно перед обработкой. В качестве иллюстрации решим пример.

**Пример.** 1.05.87 г. Судно находится в дрейфе в точке с координатами  $\varphi_c = 22^{\circ} 10.0' \text{ N}$ ;  $\lambda_c = 52^{\circ} 17.0' \text{ W}$ . В  $T_{\text{гр}} = 8^{\text{h}} 40^{\text{m}} 43^{\text{s}}$  измерена высота планеты Юпи-



тер. После обработки получена обсервованная высота  $h_0 = 55^\circ 36,6'$ . Микрокалькулятор включен, набрана и отлажена программа для отработки наблюдений звезд. Требуется рассчитать элементы высотной линии положения планеты.

Решение.

1. Из МАЕ выбираем экваториальные координаты, необходимые для расчета приращений:

1.05.87 г. на  $T_{гр} = 0^h$   $t_{гр} = 204^\circ 56,7'$   $\delta = 4^\circ 33,4' N$ ;  
2.05.87 г. на  $T_{гр} = 0^h$   $t_{гр} = 205^\circ 43,1'$   $\delta = 4^\circ 38,7'$ .

2. Вычисляем приращения координат  $\Delta t$  и  $\Delta \delta$  и заносим их в соответствующие регистры памяти; попутно заносим в регистры b и c соответственно  $t_{гр}$  и  $\delta$ , на 1.05.87  $T_{гр} = 0^h$ :

205 В† 43.1 В/0 С/П (205.71833);  
204 В† 56.7 В/0 С/П (204.945)  $x \rightarrow П b$ ;  
 $-24 \div 15 + (15.032222) x \rightarrow П d$ .  
4 В† 38,7 В/0 С/П (4.645);  
4 В† 33,4 В/0 С/П (4.5566667)  $x \rightarrow П a$ ;  
 $-24 \div (3.680554 \cdot 1 - 03) x \rightarrow П c$ .

3. Заносим счислимые координаты  $\varphi_c$  и  $\lambda_c$  в регистры 1 и 9 соответственно.

22 В† 10 В/0 С/П (22.166667)  $x \rightarrow П 1$ ;  
52 В† 17 В/0 С/П /-/ (-52.283333)  $x \rightarrow П 9$ .

4. Обсервованную высоту записываем в регистр 7:

55 В† 36.6 В/0 С/П (55.61)  $x \rightarrow П 7$ .

5. Гринвичское время наблюдений записываем в стековые регистры:

8 В† 40 В† 43.

6. Проводим вычисления

БП 04 С/П (9.9114 - 01).

После завершения цикла вычислений на индикаторе высвечивается перенос высотной линии положения в милях:

$h_0 - h_c = 1.0'$ .

7. Извлекаем из регистра 5 азимут:  $П \rightarrow x 5$  (124,69 ...).

8. Извлекаем из регистра 3 местный часовой угол:  $П \rightarrow x 3$  (387.68 ...). С помощью часового угла определяем наименование второй буквы азимута W. Следовательно,  $A_c = 124.7^\circ NW$ .

**Положение Луны.** Так как скорость изменения экваториальных координат Луны значительно больше по сравнению с Солнцем и планетами, то рекомендуется за начало отсчета принимать значения координат на начало очередного часа. Для расчета переноса азимута используется та же программа, что и для обработки наблюдений Солнца.

**Пример.** 10.05.87 г. судно находится в точке с координатами  $\varphi_c = 21^\circ 30,0' N$ ;  $\lambda_c = 51^\circ 16,0' W$ . В  $T_{гр} = 4^h 35^m 40^s$  измерена высота Луны:  $h_0 = 27^\circ 28,8'$ . Требуется рассчитать элементы высотной линии положения.

Решение.

Будем полагать, что микрокалькулятор включен и программа отлажена.

1. На  $T_{гр} = 0^h$  выбираем  $t_{гр} = 101^\circ 59,1'$  и заносим в регистр b: 101 В† 59,1 В/0 С/П (101.985)  $x \rightarrow П b$ .

2. На  $T_{гр} = 0^h$  выбираем  $\delta = 1^\circ 49,7' S$  и заносим в регистр a: 1 В† 49,7 В/0 С/П /-/ (-1.8283333)  $x \rightarrow П a$ .

3. Вычисляем приращение гринвичского часового угла и заносим в регистр d:  $\Delta t = 14^\circ 19' + 14,4' = 14^\circ 33,4'$ ; 14 В† 33,4 В/0 С/П (14.5566667)  $x \rightarrow П d$ .

4. Приращение склонения  $\Delta \delta$  заносим в регистр c: 0 В† 15,7 В/0 С/П /-/ (-2.6166666 - 01)  $x \rightarrow П c$ .

5. Широту заносим в регистр 1: 21 В† 30 В/0 С/П (21.5)  $x \rightarrow$  П 1.
  6. Долготу заносим в регистр 9: 51 В† 16 В/0 С/П /-/- (-51.266667)  $x \rightarrow$  П 9.
  7. Обсервованную высоту заносим в регистр 7: 24 В† 28.8 В/0 С/П (27.48)  $x \rightarrow$  П 7.
  8. Приращение  $\Delta T_{\text{ГР}}$  заносим в стековые регистры и проводим вычисления: 0 В† 35 40 БП 04 С/П (1.51398). После завершения цикла вычислений на индикаторе получаем перенос высотной линии положения в милях:  $h_0 - h_c = 1,5'$ .
  9. Извлекаем из регистра 6 азимут: П  $\rightarrow$  х 5 (104.27).
  10. Извлекаем из регистра 3 местный часовой угол: П  $\rightarrow$  х 3 (59.37).
- Так как практический часовой угол западный, то вторая буква азимута будет W.

Ответ:  $h_0 - h_c = +1,5$ ;  $A_c = 104,3^\circ \text{ NW}$ .

**П р и м е ч а н и е.** При традиционном способе расчета местного часового угла и склонения для расчета элементов высотной линии рекомендуется следующий прием: широту записать в регистр 1; местный часовой угол – в регистр 3; обсервованную высоту – в регистр 7; склонение светила – в регистр 2.

И после этого пустить программу на счет с адреса 24, т. е. нажать клавиши БП 24 С/П.

**Определение поправки компаса.** Задача по определению поправки компаса, как известно, состоит из двух этапов:

пеленгования светила с фиксацией гринвичского времени и пеленга светила, координат судна;

расчета истинного пеленга светила (азимута кругового счета), а затем поправки компаса по формуле

$$\Delta K = \text{ИП} - \text{КП}.$$

При выборе светила исходят, как правило, из того, чтобы его высота позволяла пеленговать светило без откидного зеркала. Что касается величины азимута, исходя из наимыгоднейших условий с точки зрения влияния погрешностей счисления, то этот вопрос имеет второстепенное значение. Дело в том, что погрешности в счисляемых координатах (при малых высотах светил) вызывают такие погрешности в азимуте, которые не превосходят погрешностей наблюдения. С точки зрения использования микрокалькулятора эта задача формулируется как определение азимута светила в круговом счете. В качестве иллюстрации приведем пример определения поправки компаса по Солнцу.

**Пример.** 12.05.87 г. Судно находится в точке с координатами  $\varphi_c = 53^\circ 10' \text{ N}$ ;  $\lambda_c = 35^\circ 40.0' \text{ W}$ . Судовые часы установлены по 2-му западному часовому поясу.  $T_{\text{суд}} = 19^{\text{ч}} 13^{\text{м}}$ , ИК =  $240.0^\circ$ ; измерили серию пеленгов светила, получили средний пеленг;  $\text{КП}_\odot = 290,4^\circ$ ; на средний момент наблюдений  $T_{\text{ГР}} = 21^{\text{ч}} 12^{\text{м}} 30^{\text{с}}$ . Следует определить поправку компаса.

**Р е ш е н и е.** Будем полагать, что микрокалькулятор готов к обработке наблюдений Солнца, поэтому остается выполнить следующие операции:

1. Счисляемую широту выразить в градусах и занести в регистр 1.
  2. Счисляемую долготу выразить в градусах и занести в регистр 9.
  3. Гринвичское время наблюдений занести в стековые регистры.
  4. Произвести пуск программы нажатием клавиш БП 04 С/П.
  5. После завершения цикла вычислений извлечь из регистра 5 азимут полу-
- кругового счета.

6. Определить наименование второй буквы азимута с помощью часового угла, находящегося в регистре 3.

7. Перевести азимут в круговой счет, пользуясь известными соотношениями. Так, например, для приведенных исходных данных после завершения цикла вычислений и извлечения из регистра 5 результата найдем  $A_c = 68,5^\circ$  NW. В данном случае для перевода азимута в круговой счет используется соотношение:

$$\text{ИП} = A_{\text{кр}} = 360^\circ - A_{\text{NW}} = 360^\circ - 68,5^\circ = 292,5^\circ.$$

8. Рассчитать поправку компаса:

$$\Delta K = \text{ИП} - \text{КП} = 291,5 - 290,4 = 1,1^\circ.$$

Ответ:  $\Delta K = +1,1^\circ$  на  $\text{КК} = 240^\circ$ .

**Примечание.** Момент наблюдений, исходя из ограничений по высоте светила, рекомендуется определять с помощью микрокалькулятора методом последовательных приближений.

**Использование микрокалькулятора "Электроника МК-52" для решения астрономических задач.** Отличительной особенностью по сравнению с микрокалькулятором "Электроника МК-56" является то, что у первого, как уже отмечалось ранее, имеются встроенные подпрограммы для перевода временных величин, выраженных в часах, минутах, секундах и долях секунд, в часы и обратно, а также угловых величин, выраженных в градусах, минутах и долях минут, в градусы и доли градуса и обратно. Здесь, вполне понятно, сопоставляется лишь сам процесс решения задачи. Отмеченные преимущества, естественно, сокращают как саму программу, так и процедуру вычислений в целом. В качестве иллюстрации приведем несколько примеров.

**Пример.** Дано  $\alpha = 120^\circ 34,7'$ . Требуется найти значение угла, выраженное в градусах и долях градуса.

**Решение.**

Нажимаемые клавиши	Индикация
120	120.
$\square$	120.
347	120.347
K +	120.57832

Ответ:  $\alpha = 120.57832^\circ$ .

**Пример.** Дано  $\alpha = 36.12345^\circ$ . Требуется найти значение угла в градусах, минутах и долях минут.

**Решение.**

Нажимаемые клавиши	Индикация
36	36.
$\square$	36.
12345	36.12345
K 6	36 07.407

Ответ:  $\alpha = 36^\circ 07,4'$ .

**Пример.**  $T_{\text{гр}} = 12^{\text{ч}} 37^{\text{м}} 42^{\text{с}}$ . Требуется найти значение гринвичского времени в часах и долях часа.

**Решение.**

*Нажимаемые клавиши      Индикация*

12	12.
□	12.
3742	12.3742
K ↔	12.628332

О т в е т:  $T_{гр} = 12.628332^ч$ .

Пример. Дано  $T_{гр} = 13.478971^ч$ . Требуется найти значение  $T_{гр}$  в часах, минутах и секундах.

Р е ш е н и е.

*Нажимаемые клавиши      Индикация*

13	13.
□	13.
478971	13.48971
K 3	13.292296

О т в е т:  $T_{гр} = 13^ч 29^м 23^с$ .

После решения этих несложных примеров перейдем к решению более сложных, т. е. к расчету элементов высотной линии положения и определению поправки компаса. Для этой цели воспользуемся теми примерами, которые были решены на микрокалькуляторе "Электроника МК-56". Это одновременно позволит более наглядно сравнить способ решения задачи.

Пример. Дано: 12.05.87 г. наблюдали Солнце.  $\varphi_c = 53^\circ 10.0' N$ ;  $\lambda_c = 35^\circ 40.0' W$ ;  $T_{гр} = 14^ч 50^м 40^с$ ;  $h_o = 54^\circ 23.0'$ . Требуется рассчитать элементы высотной линии положения.

Р е ш е н и е.

*Операции*

*Нажимаемые  
клавиши*

- |   |  |
|---|--|
| 1. Включают микрокалькулятор                            | ПГ                                       |
| 2. Переходят в режим "Программирование"                 | (В/0 F ПРГ)                              |
| 3. Записывают программу 22 в оперативную память         | См. программу 22                         |
| 4. Переходят в режим "Автоматическая работа"            | F АВТ                                    |
| 5. Записывают $\Delta t^\circ$ в регистр d              | 15.000208 x → П d                        |
| 6. Записывают $\Delta \delta$ в регистр c               | 1.048611 ВП 02 /-/<br>x → П c            |
| 7. Записывают $t_{гр}$ (на $T_{гр} = 0^ч$ ) в регистр b | 180.547 K + x → П b<br>(180.91167)       |
| 8. Записывают $\delta$ (на $T_{гр} = 0^ч$ ) в регистр a | 17.568 K + x → П a<br>(17.946667)        |
| 9. Записывают $\varphi_c$ в регистр 1                   | 53.10 K + x → П 1<br>(53.166667)         |
| 10. Записывают $\lambda_c$ в регистр 9                  | 35.30 K + /-/<br>x → П 9<br>(-35.666667) |
| 11. Обсервованную высоту $h_o$ записывают в регистр 7   | 54.23 K + x → П 7<br>(54.383332)         |
| 12. Гринвичское время наблюдений записывают в регистр x | 14.5040 K ↔<br>(14.844442)               |
| 13. Пуск программы на счет                              | В/0 C/П<br>(-8.74 -01)                   |

# Примечания.

1. После завершения цикла вычислений на индикаторе высветится перенос, равный  $-0,87'$ , т. е.  $-0,9'$ . Остальные величины хранятся в регистрах.

Параметры	$\delta$	$t_M$	$h_c$	$A_c$
Регистры	2	3	4	5

Здесь  $\delta$  — склонение на момент наблюдений.

2. Для удобства решения задачи необходимо иметь под рукой трафаретку наподобие приведенной ниже, к которой нужно добавить 3-ю строку для записи значений исходных данных:

Параметр	$\Delta t^\odot$	$\Delta \delta$	$t_{ГР}$	$\delta$	$\varphi_c$	$\lambda_c$	$h_0$	$T_{ГР}^H$
Регистр	d	c	b	a	1	9	7	x

Теперь рассмотрим пример расчета элементов высотной линии положения звезды.

Пример. Дано: 16.09.87 г.  $\varphi_c = 22^\circ 27.0' N$ ,  $\lambda_c = 54^\circ 06.0' W$ ,  $T_{ГР} = 8^h 36^m$ . Измерена высота звезды Капелла:

## Программа 22. Расчет $\Delta h$ и $A_c$

Адрес	00	01	02	03	04	05	06	07	08
Клавиши	B†	П → x d	x	П → x b	+	П → x 9	+	x → П 3	Г ⇄
Код	0E	6Г	12	6L	10	69	10	43	25
Адрес	09	10	11	12	13	14	15	16	17
Клавиши	П → x c	x	П → x a	+	x → П 2	F 7	П → x 1	F 7	x
Код	6□	12	6—	10	42	1□	61	1□	12
Адрес	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Клавиши	П → x 1	F 8	П → x 2	F 8	П → x 3	F 8	x	x	+
Код	61	1Г	62	1Г	63	1Г	12	12	10
Адрес	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Клавиши	F 4	x → П 4	F 7	П → x 1	F 7	x	П → x 2	F 7	↔
Код	19	44	1□	61	1□	12	62	1□	14
Адрес	36	37	38	39	40	41	42	43	44
Клавиши	—	П → x 1	F 8	П → x 4	F 8	x	÷	F 5	x → П 5
Код	11	61	1Г	64	1Г	12	13	1—	45
Адрес	45	46	47	48	49	50	51		
Клавиши	П → x 7	П → x 4	—	6	0	x	C/П		
Код	67	64	11	06	00	12	50		

Дополнительное условие: микрокалькулятор использовался для обработки дневных наблюдений, т. е. для расчета элементов высотной линии положения Солнца и расчета азимута для определения поправки компаса.

Решение.

## Операции

## Нажимаемые клавиши

- $\Delta t^T$  заносят в регистр d 15.041042 x → П d
- Производят очистку регистра c, так как там находилось  $\Delta \delta$  Солнца Cx x → П c

- |    |  |                                  |
|----|--|----------------------------------|
| 3. | $t_{\text{Гр}}^{\text{T}}$ (на $T_{\text{Гр}} = 0^{\text{ч}}$ ) заносят в регистр 8  | 354.246 K + (354.41°)<br>x → П 8 |
| 4. | Счислимую широту записывают в регистр 1  | 22.27 K + (22.45)<br>x → П 1     |
| 5. | Счислимую долготу записывают в регистр 9<br>( $\lambda_{\text{W}}$ имеет знак минус) | 54.06 K + (54.1) /-/<br>x → П 9  |

На этом предварительная работа заканчивается, и можно переходить к расчету элементов высотной линии положения первой звезды.

- |     |  |   |
|-----|--|---|
| 6.  | Вычисляют гринвичский часовой угол звезды Капелла на $T_{\text{Гр}} = 0^{\text{ч}}$ и записывают в регистр b | 281.033 K + (281.055)<br>П → x 8 + (635.465)<br>x → П b |
| 7.  | Склонение звезды записывают в регистр a  | 45.592 K + (45.986666)<br>x → П a                       |
| 8.  | Обсервованную высоту записывают в регистр 7  | 65.11 K + (65.183332)<br>x → П 7                        |
| 9.  | Гринвичское время наблюдений (в часах и долях часа) записывают на индикатор                                  | 8.3425 K + (8.573611)                                   |
| 10. | Пускают программу на счет с адреса 00. (после завершения цикла вычислений высвечивается перенос)             | B/0 C/П (6,7 -02)                                       |
| 11. | Извлекают из регистра 5 счислимый азимут   | П → x 5 (16.08)   |
| 12. | Извлекают из регистра 3 местный часовой угол   | П → x 3 (710. 32)                                       |

Так как  $t_{\text{M}} = 710,32^{\circ}$ , т. е.  $9,68^{\circ}$  E, то вторая буква азимута будет иметь наименование E.

О т в е т:  $h_0 - h_c = -0,07$ ;  $A_c = 16,1^{\circ}$  NE.

Теперь приступают к расчету второй и последующих линий положения. Для этой цели выполняют действия, изложенные в пп. 6–12.

Пример. Используя данные табл. 15 и предыдущего примера, рассчитать элементы высотной линии положения звезды Процион.

Р е ш е н и е.

#### Операции

#### Нажимаемые клавиши

- |    |  |   |
|----|--|---|
| 1. | Вычисляют гринвичский часовой угол звезды Процион на $0^{\text{ч}}$ гринвичского времени (в градусах и долях градуса) и записывают в регистр b | 245.203 K +<br>+ (245.33832) П → x 8 +<br>+ (599.74832) x → П b |
| 2. | Склонение звезды записывают в регистр a  | 5.157 K+ (5.2616666)<br>x → П a                                 |
| 3. | Обсервованную высоту (в градусах и долях градуса) записывают в регистр 7   | 43.165 K + (43.275)<br>x → П 7                                  |
| 4. | Гринвичское время наблюдений (в часах и долях часа) записывают в регистр x (индикатор)   | 8.3549 K ↔<br>(8.5969442)                                       |
| 5. | Пускают программу на счет с адреса 00 (после завершения цикла вычислений на индикаторе высвечивается перенос в милях)                          | B/0 C/П (1.06)  |
| 6. | Извлекают из регистра 5 $A_c$  | П → x 5 (104.62)  |
| 7. | Извлекают из регистра 3 местный часовой угол (в градусах и долях градуса)  | П → x 3 (674.95...)   |

Так как практический часовой восточный  $t_{\text{M}} = 45^{\circ}$  E, то, следовательно, вторая буква азимута будет E.

О т в е т:  $h_0 - h_c = 1.1'$ ;  $A_c = 104.6$  NE.

Пример. По данным табл. 15 и предыдущей задачи рассчитать элементы высотной линии положения звезды Хамаль.

# Решение.

Операции	Нажимаемые клавиши
1. Вычисляют гринвичский часовой угол звезды Хамаль на $T_{гр} = 0^h$ , в градусах и долях градуса и заносят в регистр b	328.226 K + + (328.37666) П → x 8 + + (682.78666) x → П b
2. Склонение звезды (в градусах и долях градуса) записывают в регистр a	23.244 K + (23.406666) x → П a
3. Обсервованную высоту (в градусах и долях градуса) записывают в регистр 7	54.517 K + (54.861666)
4. Гринвичское время наблюдений в часах и долях часа записывают в регистр X (индикатор)	8.3651 K ↔ (8.6141666)
5. Пускают программу на счет с адреса 00 (после завершения цикла вычислений на индикаторе высвечивается перенос высотной линии положения в милях)	B/0 C/П (8.45 -02)
6. Извлекают из регистра 5 счислимый азимут (в градусах и долях градуса)	П → x 5 (80.8)
7. Извлекают из регистра 3 местный часовой угол светила.	П → x 3

Так как практический часовой угол  $t_M = 38.25^\circ$  западный, то вторая буква азимута будет иметь наименование W.

О т в е т:  $h_0 - h_c = 0,1'$ ;  $A_c = 80,8^\circ$  NW.

Пример. По данным табл. 15 и предыдущего примера рассчитать элементы высотной линии положения звезды Ригель.

# Решение.

Операции	Нажимаемые клавиши
1. Вычисляют гринвичский часовой угол звезды Ригель на $0^h$ гринвичского времени (в градусах и долях градуса) и записывают в регистр b	281.308 K + + (281.51332) П → x 8 + + x → П b
2. Склонение звезды (в градусах и долях градуса) записывают в регистр a. Так как склонение разно-именно с широтой, изменяют знак на минус	8.126 K + /-/- (-8.21) x → П a
3. Обсервованную высоту (в градусах и долях градуса) заносят в регистр 7	58.195 K + (58.325) x → П 7
4. Гринвичское время наблюдений (в часах и долях часа) записывают в регистр x	8.3850 K ↔ (8.647222)
5. Пускают программу на счет с адреса 00. (После завершения цикла вычислений на индикаторе высвечивается перенос в милях)	B/0 C/П (-7.9 -02)
6. Извлекают из регистра 5 счислимый азимут (в градусах и долях градуса).	П → x 5 (164.57)
7. Извлекают из регистра 3 местный часовой угол светила.	П → x 3 (711.886)

Так как практический часовой угол восточный  $t_M = 8.1^\circ$  E, то вторая буква азимута будет иметь наименования E.

О т в е т:  $h_0 - h_c = -0,1'$ ;  $A_c = 164,6^\circ$  NE.

Для приведения линий положения к одному зениту предлагается дополнительная программа, составленная на основе формулы

$$\Delta h'_z = v \Delta T_i \cos(A_i - \text{ПУ}),$$

где  $\Delta h'_z$  – поправка переноса в минутах дуги (милях);  $v$  – скорость судна, уз.;

$\Delta T_i$  – промежуток времени приведения в долях часа ( $\Delta T_i = T_0 - T_i$ );  $A$  – азимут светила в круговом счете; ПУ – путевой угол судна;  $i = 1, 2 \dots (n - 1)$ . Здесь  $n$  – количество линий положения;  $T_0$  – момент времени, к которому приводятся линии положения.

Порядок размещения исходных данных, результат и программа приведены ниже.

Параметры Регистры		$v$ 2	ПУ 3	$T_0$ 4	$A_i$ Y	$T_i$ X	$\Delta h_z$ X
<i>Программа 23. Расчет поправки <math>\Delta h_z</math></i>							
Адрес	52	53	55	56	57	58	59
Клавиши	П → х 4	—	—	х → П е	F Ⓢ	П → х 3	—
Код	64	14	11	4E	25	63	11
<hr/>							
Адрес	60	61	62	63	64	65	
Клавиши	F 8	П → х е	х	П → х 2	х	С/П	
Код	1Г	6E	12	62	12	50	

Пример. Дано:  $v = 4,5$  уз; ПУ =  $223^\circ$ . Требуется произвести приведение к одному зениту 4 линии положения предыдущего примера. Приведение следует произвести к моменту последних наблюдений.

Решение.

После набора и отладки программы занесем исходные данные для первой линии положения.

Операции	Нажимаемые клавиши
1. Скорость движения судна в узлах записывают в регистр 2	4.5 х → П 2
2. Путевой угол в градусах – в регистр 3	223 х → П 3
3. $T_0$ в часах – в регистр 4	8.3904 К ↔ (8.651111) х → П 4
4. Азимут (в круговом счете) первой линии положения записывают в регистр у	16.1 В†
5. $T_1$ в долях часа – в регистр х	8.3419 К ↔ (8.5719442)
6. Пускают программу на счет с адреса 52	БП 52 С/П (-0,32)

О т в е т:  $-0,3'$ .

После этого переходят к расчету поправки для второй линии положения. Теперь необходимо выполнить только пп. 4–6.

Операции	Нажимаемые клавиши
1. Азимут (в круговом счете) второй линии положения записывают в регистр у	104,6 В†
2. Момент наблюдений (в долях часа) записывают в регистр х	8.3549 К ↔ (8.5969442)
3. Пускают программу на счет с адреса 52	БП 52 С/П (-0,12)

О т в е т:  $\Delta h_z = -0,12'$ .

И, наконец, рассчитывают поправку для третьей линии положения.



- |   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. Азимут (в круговом счете) записывают в регистр у       | 279.1 В†                |
| 2. Время наблюдений (в долях часа) записывают в регистр х | 8.3651 К<br>(8.6141666) |
| 3. Пускают программу на счет с адреса 52                  | БП 52 С/П               |
- О т в е т:  $\Delta h'_z = -0,12'$ .

Можно разработать программу, в которой автоматически производится приведение к одному зениту. Однако в этом случае, во-первых, существенно увеличивается количество команд, а во-вторых, как показала практика, в учебном процессе целесообразно использовать раздельный способ.

#### 4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА СУДНА ПО ИЗМЕРЕННЫМ ВЫСОТАМ СВЕТИЛ НАД ОГНЯМИ ДРУГИХ СУДОВ

Измерение высот светил над видимым горизонтом возможно лишь при хорошей видимости последнего, что ограничивает пределы наблюдения светил. Секстана с искусственным горизонтом, позволяющего проводить наблюдения с удовлетворительной точностью, пока нет. Вместе с тем известны случаи, когда высоты светил ночью измеряются относительно огней других судов, днем — относительно части корпуса (ватерлинии) другого судна.

Обширные наблюдения, проведенные в условиях промысла, показали, что при соблюдении определенных рекомендаций этот способ может быть применен судоводителями промысловых судов. Особую значимость он может иметь для курсантов судоводительской специальности, проходящих плавательскую практику.

Дело в том, что из-за неблагоприятной погоды (большая облачность в период сумерек и днем, плохая видимость горизонта и т. д.) период астрономических наблюдений существенно сокращается. Между тем данный способ дает возможность измерять высоты звезд и планет в течение всей ночи (при наличии вспомогательного судна). А поскольку почти на всех судах имеется спутниковая аппаратура, то имеется возможность произвести оценку точности измерений.

**Поправка высоты за наклонение зрительного луча.** Высоты светил, измеренные над огнями "вспомогательных" судов, в отличие от высот, измеренных над видимым горизонтом, исправляются поправками за наклонение зрительного луча вместо поправки за наклонение видимого горизонта. В остальном порядок исправления такой же. Поправка вычисляется по формуле

$$\Delta h'_\Delta = - (0,42 D - 1,856 \frac{e - H}{D}),$$

где  $\Delta$  — поправка за наклонение зрительного луча, дуг, мин;  $D$  — расстояние до

"вспомогательного" судна, мили;  $e$  — возвышение глаза наблюдателя над уровнем моря, м;  $H$  — возвышение огня "вспомогательного" судна над уровнем моря, м.

По этой формуле рекомендуется составить таблицу, используя программу [7]. Отметим, что при составлении табл. 11-б МТ-75 радиус Земли принят равным 6371116 м, поэтому коэффициент первого члена правой части получился равным 0,4136. Однако это различие не имеет практического значения.

**Пример.**

22 мая измерили высоту нижнего края Солнца относительно вспомогательного судна, находящегося на расстоянии  $D = 3,0$  мили; возвышение "точки"  $H = 8,6$  м;  $e = 9,1$  м;  $T = \pm 20^\circ \text{C}$ ;  $B = 740$  мм;  $\text{OC}_\odot = 31^\circ 37,3'$ ;  $i + S = +20$ . Найти обсервованную высоту.

**Решение.**

$\text{OC}_\odot$	$31^\circ 37,3'$	$e = 9,1$ м
$i + S$	$+2,0$	$H = 8,6$ м
$\Delta h_\Delta$	$-1,6$	
		<hr/>
		$e - H = +0,5$ м
$h_{\text{в}\odot}$	$31^\circ 37,7'$	
$\Delta h_\odot$	$+14,5'$ (табл. 8*)	
$\Delta h_T$	$+0,1'$ (табл. 14-а)	
$\Delta h_B$	$0,0'$ (табл. 14-б)	
		<hr/>
$h_\odot$	$31^\circ 52,3'$	

**Пример.**

Дано:  $e = 9,3$  м;  $H = 12,8$  м;  $D = 4,0$  мили;  $T = +18^\circ \text{C}$ ;  $B = 780$  мм;  $\text{OC}_* = 35^\circ 28,4'$ ;  $i + S = +0,9'$ .

Требуется найти обсервованную высоту.

**Решение.**

$\text{OC}_*$	$35^\circ 28,4'$	$e = 9,3$ м
$i + S$	$+0,9$	$H = 12,3$ м
$\Delta h_\Delta$	$-0,1$	
		<hr/>
		$e - H = -3,5$
$h_{B*}$	$35^\circ 29,2'$	
$\Delta h_\rho$	$-1,4$ (табл. 9-а)	
$\Delta h_T$	$0,0$ (табл. 14-а)	
$\Delta h_B$	$0,0$ (табл. 14-б)	
		<hr/>
$h_*$	$35^\circ 27,8'$	

**Оценка точности наблюдений.** Так как аргументы  $D$ ,  $e$  и  $H$ , от которых зависят величина и знак поправки  $\Delta h_\Delta$ , наблюдателю известны с некоторыми погрешностями, то, следовательно, и поправка  $\Delta h_\Delta$  получится с погрешностью. Поэтому произведем анализ и выявим условия, при которых имеется возможность смягчить влияние погрешностей

\* Ссылки даны на таблицы МТ-75

на конечный результат. Дифференцируя уравнение по переменным  $\Delta h_{\Delta}$ ,  $D$ ,  $e$  и  $H$  и переходя к конечным приращениям, получим

$$\delta h_{\Delta} = -(0,42D - 1,856 \frac{e - H}{D^2} \Delta D + 1,856 \frac{\Delta e - \Delta H}{D}).$$

Как видно из формулы, при прочих равных условиях погрешность  $\delta h_{\Delta}$  будет уменьшаться с увеличением расстояния и с уменьшением разности возвышений. Однако с увеличением расстояния, как правило, понижается точность определения расстояния и труднее опознать тип судна. Поэтому оптимальным следует считать 2–5 мили. Минимальное расстояние соответствует штилевой погоде, а максимальное — штормовой.

Покажем на примере, во что может обойтись несоблюдение рекомендаций относительно выбора разности возвышений.

**Пример.**  $D = 2$  мили;  $\Delta D = \pm 0,2$  мили;  $e = 67,1$  м;  $H_1 = 7,6$  м;  $H_2 = 16,0$  м. Найти  $\delta h_{\Delta 1}$  и  $\delta h_{\Delta 2}$ .

**Решение.**

$$\delta h_{\Delta 1} = \pm (0,42 \cdot 0,2 - 1,856 \frac{0,5}{4}) = \pm 0,1';$$

$$\delta h'_{\Delta 2} = \pm (0,42 \cdot 0,2 + 1,856 \frac{8,9}{4}) = 4,2'.$$

Из результатов примера видно, что при одних и тех же условиях наблюдений в первом случае (при соблюдении рекомендаций) погрешность практически мала, а во втором случае (при несоблюдении рекомендаций) недопустимо велика. Таким образом, если учесть, что наблюдатель выполнит рекомендации относительно выбора разности возвышений, глаза наблюдателя и огня, то практически можно считать, что погрешность в высоте будет весьма мала и, следовательно, можем принять

$$\delta h'_{\Delta} \approx \pm 1,856 \frac{\Delta e - \Delta H}{D}.$$

Если учесть, что возвышение глаза наблюдатель знает достаточно точно, а влияние волнения смягчено выбором соответствующего расстояния и возвышения огня (расположенного ближе к средней части корпуса вспомогательного судна), то окончательно можем принять

$$\delta h'_{\Delta} = \pm 1,856 \frac{\Delta H}{D}.$$

Ниже приведены величины погрешности в наклонении зрительного луча при ошибке в  $\pm 1$  м для различных расстояний.

$D$	1	2	3	4	5	6	7	8
$\delta h'_{\Delta}$	+1,9	0,9	0,6	0,5	0,5	0,3	0,3	0,2

Кроме перечисленных факторов, влияющих на точность получения обсервованной высоты, существенное влияние оказывает ошибка от вневертикального измерения, которая вычисляется по формуле

$$\delta h'_A = 0,52 (\delta A^\circ)^2 \operatorname{ctg} h,$$

где  $\delta A$  — разность азимутов светила и огня, град;  $h$  — высота светила.

Эта погрешность всегда положительна, т. е. увеличивает измеренную высоту светила.

Обработка 2000 наблюдений дала следующие результаты:

1. Диапазон высот 10–15°. Для 85 % всех наблюдений ошибка в высоте от вневертикальных не превышает 0,2'. Максимальная ошибка равна 0,6'.

2. Диапазон высот 15–20°. Для 85 % наблюдений ошибка в высоте не превышает 0,6'. Максимальная ошибка равна 2,0'.

3. Диапазон высот 20–30°. Для 82 % всех наблюдений ошибка в высоте не превышает 0,8'; 5 % всех наблюдений высот содержит ошибки 1,6–2,0'.

4. Диапазон высот 30–40°. Для 67 % всех наблюдений ошибка в высоте не превышает 0,8'. Ошибки в пределах 1,0–2,0' составляют 24 %, а 2,0–4,0' — 10 %.

5. Диапазон высот 40–50°. Для 50 % всех наблюдений ошибка в высоте не превышает 0,8'. Ошибки в пределах 0,9–3,0' составляют 26 %, а 3,0–5,6' — 13 %.

6. Диапазон высот 50–60°. Ошибки, не превышающие 0,8', составляют 18 %. Ошибки в пределах 0,9–0,3' составляют 21 %. Встречаются ошибки более 8,0'.

Как видно из результатов наблюдений, с увеличением высоты ошибка от вневертикального измерения увеличивается; оптимальным следует считать диапазон высот 10–30°.

С целью достижения большей точности получения обсервованной высоты за счет компенсации погрешности от вневертикального измерения рекомендуется:

при измерении высоты над огнем, расположенным (по мнению наблюдателя) вблизи горизонта, дважды отраженное изображение светила следует совмещать с центром ореола огня и считать огонь находящимся на горизонте, т. е. при исправлении вводить поправку высоты за наклонение горизонта;

при определении поправки высоты за наклонение зрительного луча принимать: наибольшее (с вероятностной точки зрения) значение расстояния и наименьшее значение возвышения огня (точки);

принимать меры для определения личной ошибки наблюдателя путем определения разности азимутов светила и огня.

**Определение погрешности в высоте от вневертикального измерения парными измерениями.** Сущность способа заключается в следую-

щем. В момент измерения высоты светила одним наблюдателем другой наблюдатель пеленгует огонь. После этого вычисляют азимут светила в круговом счете, а также находят значение истинного пеленга. Их разность будет представлять собой погрешность "створа". Затем по известной формуле вычисляется погрешность в высоте. Этот способ прост, однако поправка компаса должна быть известна с достаточной точностью.

Поскольку парные наблюдения не всегда возможны, то рекомендуется использовать частный случай, т. е. когда определяется только лишь ошибка "створа", а измерение высоты не производится. Сущность наблюдений заключается в том, что при наступлении "створа" светила и огня пеленгуется огонь и фиксируется момент времени. Это позволит рассчитать азимут светила (в круговом счете) и получить истинный пеленг огня, а следовательно, погрешность "створа".

Как видно из описания, в этом случае все делается одним наблюдателем. Польза от таких наблюдений двоякая:

приобретаются навыки в определении (установлении) момента "створа" с минимальной погрешностью;

устанавливается вероятное значение погрешности "створа" в зависимости от высоты светила и интенсивности качки судна.

#### 4.4. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В МАЛЫХ ШИРОТАХ

Расширение пределов графического способа прокладки изолиний. Определение места судна по измеренным высотам светил можно представить как определение места судна по измеренным сферическим расстояниям. "Маяком" является полюс освещения светила, а "измеренным расстоянием" — зенитное обсервованное расстояние светила.

Для получения обсервованного места судна необходимо провести отрезки высотных изолиний на карте или плане, например в меркаторской проекции. Изолинией в данном случае является изостадия, т. е. герметическое место точек на карте, расстояние от каждой из которой по дуге большого круга до "маяка" (полюса освещения) есть величина постоянная. С другой стороны, известно, что "радиусом" на меркаторской карте является отрезок локсодромии. Формула для определения разности между ортодромией и локсодромией с достаточной для практики точностью может быть представлена в следующем виде:

$$\Delta S = 0,756 \left( \frac{Z}{10^\circ} \right)^3 \operatorname{tg}^2 \varphi_{\text{ср}} \sin^2 A_{\text{лок}},$$

где  $\Delta S$  — разность между отрезками локсодромии и ортодромии, мили;  $Z$  — зенитное (обсервованное) расстояние, град;

$$\varphi_{\text{ср}} = \frac{1}{2} (\varphi + \delta).$$

Здесь  $\varphi$  — широта наблюдателя;  $\delta$  — склонение светила (при  $\varphi$  и  $\delta$  разноименных берется знак минус);  $A_{\text{лок}}$  — локсодромическое направление от "маяка" на наблюдателя.

Тогда радиус засечки выразится формулой

$$R = Z + \Delta S,$$

где  $R$  и  $Z$  — в милях.

Отметим, что  $R$  и  $A_{\text{лок}}$  являются полярными координатами изо-стадии (циклической кривой) на меркаторской карте.

Анализ показал, что даже для  $Z < 10^\circ$  ( $h \geq 80^\circ$ ), что соответствует условию  $\varphi < 33,5^\circ$ , максимальное значение разности не превышает  $0,4'$ .

**Использование таблиц ВАС-58 в обычном варианте при высотах более  $73^\circ$ .** Для обработки высот светил более  $73^\circ$  в описании к таблицам ВАС-58 рекомендуется использовать способ перемещенного места. Однако эта рекомендация не всегда выполнима на судах флота рыбной промышленности. Дело в том, что если прокладка ведется на промысловом планшете, то перемещенное место может оказаться за рамкой планшета. В связи с этим рассмотрим возможность использования таблиц ВАС-58 (при этих обстоятельствах) в обычном варианте. Анализ показал, что необходимость измерения высоты Солнца более  $73^\circ$  возникает тогда, когда светило находится вблизи меридиана наблюдателя, т. е. когда четвертной азимут имеет незначительную величину. А это означает, что вторые разности к поправкам высоты за широту и склонение будут сравнительно малы. Так, для высот до  $84^\circ$  и азимута до  $15^\circ$  допустимо выбирать поправки за широту и склонение из диапазона высот  $71-73^\circ$ . При этом максимальная погрешность не превысит  $0,2'$ , а вероятность ее возникновения не превысит 4% от всего количества наблюдений. Однако в поправке за часовой угол вследствие неточного учета поправок азимута за широту и склонение могут возникнуть погрешности, превышающие одну минуту дуги. Во избежание этого предлагается способ корректировки поправок азимута [7].

Как видно из изложенного, в целом способ решения задачи несущественно отличается от обычного.

**Расчет счислимых высоты и азимута Солнца при  $h > 73^\circ$  с помощью номограммы "Редукция азимута светила".** Заслуживает внимания способ определения счислимых высот и азимута с помощью номограммы. Схема для расчета  $h_c$  имеет вид:

$$\begin{array}{rcl} \pm \varphi_c = \dots & & \\ \delta = \dots & & \\ \hline Z_c = \dots & r_1 = \dots & \\ H_c = \dots & r_2 = \dots & \\ \hline r_c = \dots & r_c = \dots & \\ \hline h_c = \dots & & \end{array}$$

При  $\varphi < \delta$  и одноименных из большей величины вычитается меньшая.

При построении номограммы использованы формулы:

$$r_1 = \frac{(t_M^\circ)^2}{\operatorname{tg} \varphi_c \sim \operatorname{tg} \delta};$$

$$r_c = \frac{(A_c^\circ)^2}{\operatorname{tg} \varphi_c + \operatorname{tg} h_c},$$

где  $r_1$  — первый член редукции, дуг. мин;  $t_M$  — местный часовой угол, град;  $\varphi_c$  — счислимая широта;  $\delta$  — склонение светила;  $r_c$  — счислимая редукция, дуг. мин;  $A_c$  — счислимый азимут;  $h_c$  — счислимая высота.

Допустимые пределы: по  $r_1$  до  $60'$ ; с ошибкой метода  $\pm 0,1'$ ; по  $A_c$  до  $25-30^\circ$ ; с ошибкой метода  $\pm 0,5^\circ$ .

Приведем пример построения совмещенной номограммы и покажем порядок решения задачи.

Д а н о:  $K_{r_1} = 0,2'/\text{мм}$  (в 1 см 2 дуг. мин);

$$K_t = \frac{1^\circ}{30} / \text{мм} \text{ (в 1 см 20 дуг. мин);}$$

$$K_A = \frac{1^\circ}{5} / \text{мм} \text{ (в 1 см } 2^\circ \text{)}.$$

Этими масштабами мы задаемся сами, исходя из практических соображений точности получения конечного результата и размеров номограммы. Требуется построить номограмму.

Р е ш е н и е. Определяем масштаб тангенсной шкалы, служащей для нахождения отрезка, пропорционального значению  $\operatorname{tg} \beta$ :

$$K_N = 0,5236 \frac{K_t^2}{K_{r_1}} = \frac{0,5236}{180} \text{ ед/мм.}$$

Составляем уравнение тангенсной шкалы:

$$Z = \frac{\operatorname{tg} \beta}{K_N} = 343,8 \operatorname{tg} \beta \text{ (мм),}$$

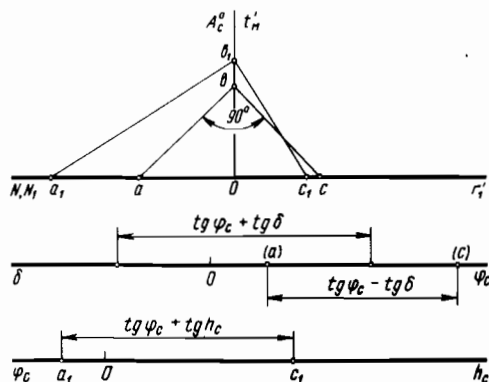
где  $\beta = \varphi, \delta$ .

Задаваясь значениями  $\beta = (1, 2, 3, \dots, 25^\circ)$ , находим значения  $Z_i$  (в мм).

Строим тангенсную шкалу по значениям  $Z_i$  (в мм).

Находим масштаб второй тангенсной шкалы, служащей для определения отрезка, пропорционального величине  $\operatorname{tg} \varphi_c + \operatorname{tg} h_c$ :

$$K_{N_1} = 0,52 \frac{K_A^2}{K_{r_1}} = \frac{0,52}{5} = 0,104 \text{ ед/мм.}$$



### 8. Определение редукции и азимута

Выполняем пункты 2—4. При этом значения  $Z_1 = 9,55 \operatorname{tg} \varphi$  (мм) откладываем влево от нуля шкалы.

Строим номограмму, разбиваем шкалы  $r_1$ ,  $t_M$  и  $A_c$  в соответствии с масштабами  $K_{r_1}$ ,  $K_t$  и  $K_A$  (рис. 8).

Теперь решаем задачу по определению  $h_c$  и  $A_c$ .

Дано:  $\varphi_c = 20^\circ 11,2' N$ ;  
 $\delta = 8^\circ 06,4' N$ ;  
 $t_M = 3^\circ 12,0' W$ .

Требуется определить  $h_c$  и  $A_c$ .

Решение.

1. Вычисляем  $H_c$ :

$$\begin{aligned} - \varphi_c &= 20^\circ 11,2' \\ \delta &= 8^\circ 06,4' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_c &= 12^\circ 04,8' \\ H_c &= 77^\circ 55,2' \end{aligned}$$

2. Определяем первый член редукции в следующем порядке: одну ножку измерителя ставим на число, соответствующее  $\delta$  (тангенсной шкалы  $\varphi - \delta$ ), а вторую на число, соответствующее  $\varphi_c$  (рис. 9);

полученный отрезок откладываем по шкале  $N$  влево от нуля, фиксируем точку  $a$ ;

на шкале  $t_M$  откладываем значение местного часового угла  $3^\circ 12,0'$  (точка  $b$ ); соединяем точки  $a$  и  $b$  отрезком прямой; в точке  $b$  восстанавливаем перпендикуляр до пересечения со шкалой (точка  $c$ ) и снимаем значение первого члена редукции:  $r_1 = 23,6'$ ;

по аргументам  $r_1$  и  $h_c$  определяем второй член редукции:  $r_2 = 0,4'$ ;

вычисляем редукцию  $r_c = 23,6' - 0,4' = 23,2'$ ;

вычисляем численную высоту светила:

$$\begin{aligned} H_c &= 77^\circ 55,2' \\ r_c &= 23,2 \end{aligned}$$

$$h_c = 77^\circ 32,0'$$



### 3. Определяем числимый азимут състила:

с помощью дополнительной тангенсной шкалы находим отрезок, пропорциональный значению  $\operatorname{tg} \varphi_c + \operatorname{tg} h_c$ ;

полученный отрезок откладываем влево от нуля по шкале (точка  $a_1$ );

на шкале  $r$  откладываем  $r$  (точка  $c_1$ );

находим точку  $b_1$  путем установки вершины прямого угла на шкале азимутов при условии, что стороны прямого угла будут проходить через точки  $a_1$  и  $c_1$ ;

снимаем значение  $A_c$ , равное  $14,8^\circ$ ;

определяем наименование азимута, пользуясь правилом: первая буква четвертого азимута противоположна наименованию широты (за исключением случая, когда при  $\varphi$  и  $\delta$  в одноименных  $\delta > \varphi$ ), вторая буква азимута одноименна с практическим часовым углом.

О т в е т:  $h_c = 77^\circ 32,0'$ ;  $A_c = 214,8^\circ \text{ SW}$ .

Если широта и склонение будут разноименными, то для нахождения  $r$  необходимо определять сумму отрезков. Практически этот элемент задачи можно решать двумя способами. В первом случае сначала определяют отрезок, пропорциональный  $\operatorname{tg} \delta$ , откладывают его влево от нуля тангенсной шкалы, а затем правую ножку измерителя устанавливают на число, соответствующее  $\varphi_c$ . В результате получают искомую величину. Во втором случае отрезок, пропорциональный  $\operatorname{tg} \delta$ , откладывают влево от нуля шкалы  $N$ , а затем от полученной точки влево откладывают отрезок, пропорциональный тангенсу  $\varphi_c$ . В результате получают точку  $a_1$ .

При выборе масштабов следует исходить из условий масштабных уравнений:

$$K_{r_1} = \frac{0,52 K_t^2}{K_N};$$

$$K_{r_1} = 0,52 \frac{K_A^2}{K_N}.$$

Таким образом, произвольно можно выбрать только два масштаба, а третий необходимо вычислить, используя формулы соответственно.

В заключение отметим, что с помощью номограммы можно определить ошибку в азимуте при определении широты способом  $\varphi_0$  по наибольшей высоте. Так, для приведенного в таблице МТ-75 примера (с. 28–29) по аргументам  $r = \Delta \varphi' = 2$  и  $H = 36^\circ$  получим  $A_c = 3^\circ \text{ SW}$ .

**Анализ способа определения места судна по соответствующим высотам.** Этот способ незаслуженно рекомендуется для определения координат судна в малых широтах при высотах Солнца от  $75$  до  $87^\circ$ . Детальный анализ мнимых преимуществ приведен в пособии [7]. Поэтому здесь кратко перечислим их. Так, утверждается, что обсервованная долгота, полученная этим методом, свободна от систематических ошибок, поскольку соответствующие высоты не используются в расчетах [12]. Однако при прокладке высотных линий для этих же наблюдений получится тот же результат. Дело в том, что в данном слу-

чае из-за равенства азимутов соответствующих высот точка пересечения высотных линий положения будет располагаться на меридиане обсервованной долготы. Следовательно, систематические погрешности только лишь сместят эту точку в ту или иную сторону, но точка останется на меридиане обсервованной долготы. Во-вторых, при использовании способа соответствующих высот в сочетании с наибольшей высотой систематическая ошибка в широте остается неисключенной, тогда как при прокладке высотных линий положения ее можно исключить традиционным способом. В-третьих, наблюдения существенно усложнены.

#### 4.5. АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ОШИБОК СЕКСТАНОВ С ИСКУССТВЕННЫМ ГОРИЗОНТОМ

Известны конструкции секстанов с искусственным горизонтом как в нашей стране, так и за рубежом, в которых в качестве индикатора вертикали применяется пузырьковый уровень (секстаны типа ИАС, ИМС) или гиromаятник (секстан типа ГИМС). Однако ни один из перечисленных типов секстанов не нашел практического применения из-за неудовлетворительной точности на качке.

Мнение о том, что достаточно наблюдателю провести только предварительную тренировку на берегу и тогда может быть обеспечена достаточная точность измерения высот светила, является несостоятельным. Дело в том, что у искусственного горизонта на качке возникают неустраняемые отклонения от вертикали, одним из которых является сдвиг нуля.

Отметим, что сдвиг нуля характеризует изменение среднего положения маятника, относительно которого он совершает гармонические колебания, т. е. является систематической ошибкой. Так, для пузырькового уровня даже при незначительных амплитудах качки (бортовой и вертикальной) сдвиг нуля достигает значения нескольких угловых минут [2].

**Пузырьковый уровень.** Его применяют в качестве индикатора вертикали в секстанах типа ИМС. В пузырьковом уровне отсутствует демпфирование (гашение колебаний каким-либо способом).

Рассмотрим случайные погрешности. При воздействии гармонических возмущений (качки) мгновенное значение угла отклонения уровня вертикали в случае только бортовой качки

$$\gamma = \gamma_0 \sin \omega t,$$

где  $\gamma_0$  — амплитуда колебаний, определяемая выражением

$$\gamma_0 = \operatorname{arctg} \theta_0 \frac{\omega^2}{g} e.$$

При незначительной величине  $\gamma_0$  можем принять

$$\gamma'_0 = \theta'_0 \frac{\omega^2}{g} e.$$

**Пример.**

Дано:  $\tau_k = 10,2$  с ( $\omega = 0,6161/\text{с}$ );  $e = 7,5$  мм;  $\theta_0 = 10^\circ$ ;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.

Требуется определить амплитуду колебаний индикатора вертикали.

**Решение.**

$$\gamma_0 = 600 \frac{0,616^2}{9,81} 7,5 = 174.$$

Это означает, что за время  $0,25\tau_k = 2,5$  с уровень будет изменять свое положение относительно вертикали на  $174'$ . Если учесть, что ответная реакция человека с момента подачи светового сигнала происходит в среднем через  $0,2$  с, то нетрудно подсчитать, что "зона нечувствительности" в среднем составит

$$\gamma_z = \pm \frac{174}{2,5} 0,2 = \pm 17'.$$

Теперь рассмотрим влияние квазиимпульсного ускорения, под которым будем подразумевать возмущающее ускорение, порожденное кратковременной силой (удар волны, зарыскивание судна и т. д.). При воздействии квазиимпульсного ускорения уровень будет индцировать вертикаль с ошибкой.

$$\gamma_w = \frac{w}{g},$$

где  $w$  — значение ускорения в импульсе.

Например, при  $w = 0,1$ ;  $g = 0,98$  м/с<sup>2</sup>;  $\Delta T = 2$  с получим  $\gamma_w = 0,1$  рад, или  $\gamma_w = 5^\circ$ ,  $73 = 344$ .

Так как в секстане типа ИМС применяется интегратор, то осредненная ошибка будет

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\Delta T}{T} \gamma_w,$$

где  $T$  — время интегрирования.

Если принять  $T = 120$  с, то  $\gamma_{\text{ср}} = \pm 5,7'$ .

Таким образом, с учетом перечисленных источников ошибок приходим к выводу, что пузырьковый уровень не может служить на судне в качестве индикатора вертикали.

**Гироскопический индикатор вертикали.** В секстанах типа ГИМС в качестве индикатора вертикали служит гиromаятник с периодом процессионных колебаний  $\tau_r = 60$  с. Гиromаятник по сравнению с уровнем имеет сдвиг нуля меньше примерно в 35 раз. Этот вывод полностью

относится и к гармоническим колебаниям. Следовательно, с точки зрения подавления возмущающих ускорений гармонического характера гиromаятник является хорошим фильтром.

Перейдем к анализу влияния квазиимпульсных ускорений на гиromаятник. С момента воздействия квазиимпульсного ускорения гиromаятник будет совершать уход от вертикали, а точнее, от начального положения по следующему закону:

$$\gamma_w = \frac{w}{g} \left( 1 - e^{-\frac{2\pi}{\tau_g} t} \right),$$

где  $\gamma_w$  — мгновенное значение угла отклонения гиromаятника от вертикали в радианах.

После прекращения воздействия ускорения гиromаятник будет совершать процессионные колебания с амплитудой, равной сумме начальной амплитуды и приращения за счет воздействия квазиимпульсного ускорения.

Величина динамической ошибки с учетом применения интегратора при тех же условиях, что и пузырьковый уровень, будет такой же.

Таким образом, гиromаятник вследствие незначительной величины периода процессионных колебаний является неустойчивым по отношению к квазиимпульсным ускорениям. Увеличение периода процессии гиromаятника (увеличение кинетического момента) практически не представляется возможным, так как соответственно должен быть увеличен период интегрирования. Напомним, что период интегрирования с целью исключения ошибок от начальной ориентировки оси гиromаятника должен быть кратен периоду прецессионных колебаний.

**Анализ динамических ошибок двухступенчатого индикатора вертикали.** Двухступенчатый индикатор вертикали представляет собой задемпфированный физический маятник, установленный на гиروطлатформе или повторителе вертикали. Это устройство представляет собой двухступенчатую систему стабилизации разомкнутого типа, в которой первая ступень служит для устранения высокочастотных наклонов основания маятника, а вторая — для фильтрации систематических и низкочастотных погрешностей гиروطлатформы, так как маятник обладает избирательностью по отношению к вертикали места. При волнении до 5 баллов суммарная динамическая погрешность в индикации вертикали не превышает 0,5 дуговой минуты с вероятностью около 80 % при интервале осреднения (интегрирования) 60 с.

Проведем краткий анализ динамических погрешностей индикатора вертикали. Низкочастотные колебания гиروطлатформы воспроизводятся маятником ФМ с коэффициентом, равным  $K/F$ , где  $K$  — круговая частота колебаний гиروطлатформы (ГП) ( $K \ll F$ );  $F$  — коэффициент динамичности маятника, показывающий, во сколько раз амплитуда колебаний демпфированного маятника меньше амплитуды недемпфированного.

При воздействии квазимпульсного ускорения максимальный угол отклонения ФМ от начального положения

$$\gamma_{\max} = \frac{w}{g} F \Delta t,$$

а изменение угла отклонения описывается формулой

$$\gamma = \gamma_{\max} e^{-F t_1},$$

где  $\Delta t$  — интервал действия ускорения, с.

При  $t_1 > 5/F$  угол отклонения ФМ от первоначального значения не будет превышать 1 %.

Анализ показывает, что индикатор вертикали с автоматической регулировкой степени демпфирования маятника по ускорению является оптимальным, а его техническая реализация не предъявляет жестких требований по точности к гироблоку.

#### 4.6. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАВИГАЦИОННОГО СЕКСТАНА

**Основы геометрической оптики. Общие положения.** Влияние наклона зеркал на точность измерения высоты светила рассматривают обычно с использованием вспомогательной сферы. При этом предполагается, что изображения совмещены, а затем "обратным ходом" определяют ошибку в высоте. Такой прием существенно сужает реальную картину процесса измерений. Способ анализа, основанный на базе векторной алгебры, лишен этого недостатка.

Условимся характеризовать направление луча единичным вектором, направленным вдоль луча в сторону распространения света (рис. 9), положение плоскостей зеркал определим также с помощью единичных векторов  $\vec{n}'$  и  $\vec{n}''$ , направленных по нормали к плоскости навстречу падающему лучу. Для определенности выберем правую прямоугольную систему координат (связанную с секстаном), оси которой определим единичными векторами  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ . Обозначим направляющие косинусы падающего луча (вектор  $A'$ ) через  $l_1, m_1, n_1$ , направляющие косинусы ребра двугранного угла, образованного пересечением плоскостей зеркал (вектор  $P$ ), — через  $\lambda, \mu, \nu$ , направляющие косинусы дважды отраженного луча (вектор  $A''$ ) через  $l_2, m_2, n_2$ :

Тогда

$$l_2 = l_1 (\cos 2\omega + 2\lambda^2 \sin^2 \omega) + m_1 (2\lambda\mu \sin^2 \omega - \nu \sin 2\omega + n_1 (2\lambda\nu \sin^2 \omega + \mu \sin 2\omega)); \quad (60)$$

$$m_2 = m_1 (\cos 2\omega + 2\mu^2 \sin^2 \omega) + n_1 (2\mu\nu \sin^2 \omega - \lambda \sin 2\omega) + l_1 (2\mu\lambda \sin^2 \omega + \nu \sin 2\omega); \quad (61)$$

$$n_2 = n_1 (\cos 2\omega + 2v^2 \sin^2 \omega) + l_1 (2v\lambda \sin^2 \omega - \mu \sin 2\omega) + m_1 (2\mu v \sin^2 \omega + \lambda \sin 2\omega), \quad (62)$$

где  $\omega$  — угол между плоскостями зеркал.

Для определения направляющих косинусов вектора  $P$  служат формулы:

$$\lambda = \frac{1}{\sin \omega} (n''_y n'_z - n''_z n'_y); \quad (63)$$

$$\mu = \frac{1}{\sin \omega} (n''_z n'_x - n''_x n'_z); \quad (64)$$

$$v = \frac{1}{\sin \omega} (n''_x n'_y - n''_y n'_x), \quad (65)$$

где  $n'_x, n'_y, n'_z$  — проекции вектора  $\vec{n}'$ , определяющего положение большого зеркала;  $n''_x, n''_y, n''_z$  — проекция вектора  $\vec{n}''$ , определяющего положение малого зеркала.

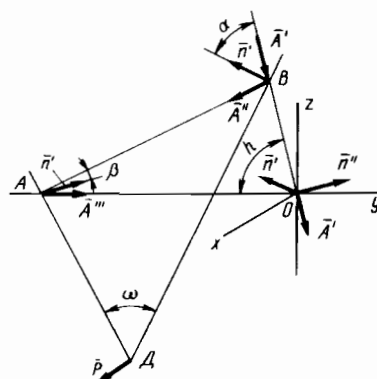
Для удобства рассмотрения вопроса, а также учитывая то обстоятельство, что светило находится на бесконечно большом расстоянии от наблюдателя, воспользуемся правой частью рис. 9. При этом предположим, что плоскость лимба секстана находится в плоскости вертикали светила, т. е. оптическая ось трубы секстана (ось  $OY$ ) совпадает с линией истинного горизонта, а ось  $OZ$  совпадает с отвесной линией. Тогда направляющий косинус  $n_2$  дважды отраженного луча будет характеризовать подъем изображения над истинным горизонтом, а  $l_2, m_2$  — отход дважды отраженного луча от плоскости вертикали светила ("азимутальный отход"). В дальнейшем будем оперировать только направляющим косинусом  $l_2$  или  $m_2$ .

Таким образом, решение задачи сводится к следующему.

1. Находим проекции векторов  $\vec{n}'$  и  $\vec{n}''$ .

2. Определяем направляющие косинусы  $\lambda, \mu, v$  вектора  $\vec{P}$  и направляющие косинусы  $l_1, m_1, n_1$  вектора  $\vec{A}$ .

3. Подставляем их значения в уравнения (60) и (61) и после решения уравнений получаем направляющие косинусы  $m_2$  и  $l_2$ . По величине и знаку направляющего косинуса определяем направление дважды отраженного луча. При этом следует учесть, что картина, наблюдаемая в поле зрения секстана, противоположна графическому



9. Ход лучей в секстане

представлению. Это вполне объяснимо. Так, на рис. 9 луч от светила направлен под горизонт, тогда как наблюдатель видит светило над горизонтом.

Определение направляющих косинусов падающего луча и вектора  $\vec{P}$ . Допустим, что плоскость лимба секстана находится в плоскости вертикали светила, но плоскости зеркал (векторы  $\vec{n}'$  и  $\vec{n}''$ ) наклонены к плоскости лимба на углы  $\varphi$  и  $\psi$  соответственно. Для падающего луча (рис. 9 вектор  $\vec{A}'$ ) уравнения направляющих косинусов будут иметь вид

$$l_1 = 0; m_1 = \sin z; n_1 = -\cos z. \quad (66)$$

Далее переходим к векторам  $\vec{n}'$  и  $\vec{n}''$ :

Из рис. 10 имеем

$$\left. \begin{aligned} n'_x &= \sin(z + \alpha) \sin \varphi; \\ n'_y &= -\sin(z + \alpha) \cos \varphi; \\ n'_z &= \cos(z + \alpha); \end{aligned} \right\} \quad (67)$$

$$\left. \begin{aligned} n''_x &= -\cos \beta \sin \psi; \\ n''_y &= \cos \beta \cos \psi; \\ n''_z &= \sin \beta. \end{aligned} \right\} \quad (68)$$

Тогда

$$\lambda = \frac{1}{\sin \omega} [\cos(z + \alpha) \cos \beta \cos \psi + \sin(z + \alpha) \sin \beta \cos \varphi]; \quad (69)$$

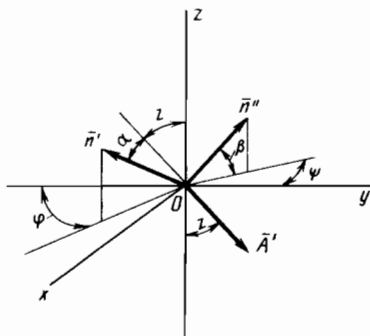
$$\mu = \frac{1}{\sin \omega} [\sin(z + \alpha) \sin \beta \sin \varphi + \cos(z + \alpha) \cos \beta \sin \psi]; \quad (70)$$

$$v = \frac{1}{\sin \omega} \sin(z + \alpha) \cos \beta \sin(\varphi - \psi). \quad (71)$$

Мы получили все необходимое для определения направления дважды отраженного луча. Следует иметь в виду, что знаки при проекциях справедливы для данного направления разворота зеркал, соответствующего рис. 10.

Определение направления дважды отраженного луча. Прежде всего рассмотрим простейший случай, когда плоскости зеркал перпендикулярны плоскости лимба, т. е.  $\varphi = \psi = 0$ .

Тогда из уравнений (69)–(71) получим:



#### 10. Наклон зеркал к плоскости лимба секстана

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= \frac{1}{\sin \omega} \cos (z + \alpha - \beta); \\ \mu &= 0; \\ \nu &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (72)$$

Учитывая, что

$$\omega = \alpha - \beta = \frac{h}{2}, \quad (73)$$

получим  $\lambda = 1$ .

Произведя подстановку (72) и (66) в (61) и (62), окончательно получим:

$$\left. \begin{aligned} l_2 &= 0; \\ m_2 &= 1; \\ n_2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (74)$$

Дважды отраженный луч будет направлен вдоль оси  $O_y$  в положительную сторону. Наблюдатель в этом случае будет видеть дважды отраженное изображение на линии истинного горизонта.

Рассмотрим случай, когда оба зеркала имеют наклон, как это указано на рис. 10, т. е. большое зеркало наклонено от плоскости лимба, а малое — к нему.

Из уравнений (69) — (71) при  $\varphi = \psi$  получим:

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= \cos \varphi; \\ \mu &= \sin \varphi; \\ \nu &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (75)$$

С учетом системы уравнений (75) уравнение (60), которое служит для определения азимутального отхода, примет вид

$$l_2 = 2 \sin z \sin \varphi \cos \varphi \sin^2 \frac{h}{2} - \cos z \sin \varphi \sinh.$$

Заменяем  $\cos \varphi = 1$ ;  $\sin \varphi = \varphi$ , подставим вместо зенитного расстояния высоту, тогда получим

$$l_2 = 2 \varphi \cosh \sin^2 \frac{h}{2} - \varphi \sin^2 \frac{h}{2}.$$

Заменяем  $\sinh$  через функцию половинного угла и вынесем выражение  $-2 \varphi \sin^2 \frac{h}{2}$  за скобки. Тогда

$$l_2 = -2 \varphi \sin^2 \frac{h}{2} (2 \cos^2 \frac{h}{2} - \cosh). \quad (76)$$

Но  $2 \cos^2 \frac{h}{2} - \cosh = 1$ , следовательно,



$$l_2 = -2\varphi \sin^2 \frac{h}{2} \quad (77)$$

или

$$\Delta A_0 = -2\varphi \sin^2 \frac{h}{2}, \quad (78)$$

где  $\Delta A_0$  — азимутальный отход, выраженный в тех же единицах, что и  $\varphi$ .

Из формулы (78) видно, что при данном направлении разворота зеркал дважды отраженное изображение будет усматриваться наблюдателем в прозрачной части малого зеркала.

Значения азимутального отхода для  $\varphi = 30'$  приведены ниже.

$h_0$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$\Delta A'_0$	0	0	2	4	7	11	15	20	30	25

Теперь выведем формулу для "подъема" изображения, используя уравнение (62), в котором произведем замену согласно уравнениям (66) и (75). В результате получим

$$n_2 = -\sin h \cosh + \cosh \sin h \cos \varphi.$$

Проведем замену:

$$\cos \varphi = 1 - 2 \sin^2 \frac{\varphi}{2};$$

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{\varphi}{2}.$$

Тогда

$$n_2 = \frac{\varphi^2}{2} \sin 2h. \quad (79)$$

Минус указывает на то, что вектор  $\vec{A}'''$  (дважды отраженный луч) будет направлен под горизонт, а наблюдатель, естественно, будет усматривать дважды отраженное изображение над горизонтом. Таким образом, мы пришли к выводу, что при наклоне зеркал к плоскости лимба дважды отраженное изображение получит боковое смещение, которое мы называли "азимутальным отходом", и смещение в вертикальной плоскости, так называемый "подъем" изображения. Для определения "подъема" и "азимутального отхода" изображения в случае, отличном от рассмотренного, необходимо в уравнения (69)–(71) подставить соответствующие значения углов наклона зеркал. В остальном порядок решения задачи остается прежним. Так, если решается задача о влиянии наклона большого зеркала, то принимаем  $\psi = 0$ .

Тогда

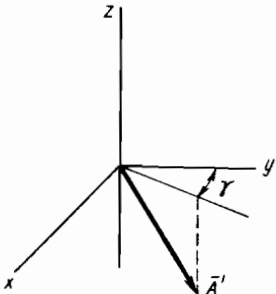
$$\left. \begin{aligned} \lambda &= 1; \\ \mu &= \operatorname{cosec} \frac{h}{2} \sin(z + \alpha) \sin \beta \sin \varphi; \\ \nu &= -\operatorname{cosec} \frac{h}{2} \sin(z + \alpha) \cos \beta \sin \varphi. \end{aligned} \right\} \quad (80)$$

Остается выяснить, какое влияние оказывают "подъем" изображения и "азимутальный отход" на точность измерения высоты.

Влияние наклона зеркал секстана к плоскости лимба секстана на точность измерения высот небесных светил. Обратимся к практике измерения высоты светила, точнее, к способу отыскания вертикали. Нам известно, что наблюдатель при совмещении изображений покачивает секстан, в результате чего дважды отраженное изображение описывает дугу относительно линии горизонта. Если зеркала не имеют наклона к плоскости лимба, то точка касания "дуги" с линией горизонта будет находиться на вертикале светила. Соответственно и плоскость лимба секстана (в момент касания) будет находиться в плоскости вертикали светила.

Очевидно, что картина изменится, если зеркала (зеркало) будут иметь наклон. Для удобства анализа рассмотрим процесс измерения высоты светила на два этапа. Вначале предположим, что зеркала не имеют наклона и совмещения изображений, как это было описано выше, произведено в центре поля зрения трубы. Затем введем наклон зеркал и будем продолжать процесс измерения высоты до совмещения изображений. Отметим, что практически возможно покачивание секстана вокруг одной из трех осей или комбинированным способом. Однако для простоты и наглядности мы будем покачивать секстан вокруг оси  $Oz$ . При этом предположим, что вращается (сканирует) луч света, а секстан (система координат  $ZxOy$ ) остается неподвижным (рис. 11).

Тогда, как это показано на рис. 11, получим



$$\left. \begin{aligned} l_1 &= -\sin z \sin \gamma; \\ m_1 &= \sin z \cos \gamma; \\ n_1 &= -\cos z, \end{aligned} \right\} \quad (81)$$

где  $\gamma$  — угол между плоскостью вертикали светила и плоскостью лимба секстана.

Так как угол  $\gamma$  мал, то для решения задачи по определению  $\Delta A$  допустимо считать  $\sin \gamma = \gamma$ ;  $\cos \gamma = 1$ .

11. Вращение секстана вокруг отвесной линии

Далее предположим, что зеркала имеют одинаковые наклоны, тогда

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= 1; \\ \mu &= \sin \varphi \approx \varphi; \\ \nu &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (82)$$

Подставляя значения из систем уравнений (81) и (82) в уравнение (60), после несложных выкладок получим

$$l_2 = \Delta A = -\gamma \sin z + \Delta A_0, \quad (83)$$

где  $l_2$  — суммарный "азимутальный отход";  $\Delta A_0$  — "азимутальный отход", возникший от наклона зеркал.

Выражение  $-\gamma \sin z$  характеризует азимутальный отход светила вследствие вращения плоскости лимба. Имея в виду, что вращение совершается в обе стороны от вертикала светила, формулу (83) выразим так:

$$\Delta A = \pm \gamma \cosh + \Delta A_0. \quad (84)$$

При этом подчеркнем, что условию  $\gamma = 0$  соответствует положение, когда плоскость лимба секстана совпадает с плоскостью вертикала светила.

Теперь перейдем к выводу формулы для расчета "подъема" изображения. Проведем следующую замену:

$$\left. \begin{aligned} \sin \gamma &= \gamma; \\ \cos \gamma &= 1 - 0,5\gamma^2 \end{aligned} \right\} \quad (85)$$

Тогда с учетом систем уравнений (81), (82) и (85) после несложных выкладок получим

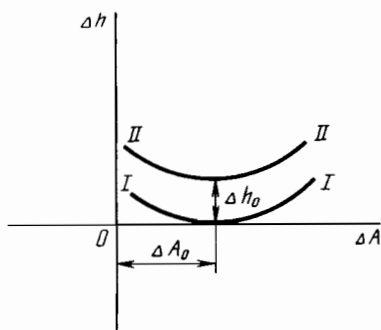
$$n_2 = \Delta h_0 - 0,5\gamma\varphi \sin 2h - 0,5\gamma^2 \sin 2h, \quad (86)$$

где  $\Delta h_0$  — подъем изображения вследствие наклона зеркал, а остальные два члена характеризуют "подъем" изображения, возникающий при покачивании секстана.

С помощью формул (84) и (86) полностью определяется закон движения дважды отраженного изображения светила, т. е. картина, которую видит наблюдатель в поле зрения трубы при измерении высоты светила. Так, при изменении угла  $\gamma$  по определенному закону изменяются  $\Delta A$  и  $\Delta h$ . Уравнения (83) и (86) удобно интерпретировать графически (рис. 12). Выберем систему координат  $\Delta h 0 \Delta A$ , начало которой расположим в центре зрения трубы. Из рисунка видно, что дважды отраженное изображение описывает дугу, вершина которой располагается в точке с координатами  $\Delta h_0, \Delta A_0$ .

Затем, следуя принятой методике, рассмотрим влияние ошибок наклона зеркал на точность измерения высоты светила. Сначала предположим, что наклон зеркал отсутствует, т. е.  $\varphi = 0$ , тогда получим

## 12. Подъем и азимутальный отход изображения



$$\left. \begin{aligned} \Delta A &= \pm \gamma \cosh h; \\ \Delta h &= -\frac{\gamma^2}{2} \sinh h. \end{aligned} \right\} \quad (87)$$

Это означает что дуга, описываемая дважды отраженным изображением, при  $\gamma=0$  коснется линии горизонта в точке с координатами  $\Delta A=0$ ;  $\Delta h=0$ , т. е. в центре поля зрения трубы секстана (ЦПЗ).

Допустим, что мы произвели касание, а затем ввели наклон. При этом возникает "азимутальный отход"  $\Delta A_0$  и "подъем" изображения  $\Delta h_0$ . Для того чтобы измерить высоту светила, необходимо повернуть большое зеркало на угол  $\Delta h_0$  (в делениях Мемба). Однако изображения, как это показано на рис. 12, совместятся не в центре зрения трубы, а на угловом расстоянии  $\Delta A_0$  от него. Следовательно, если изображения совмещать не в центре зрения трубы, а в точке касания "дуги" с линией видимого горизонта, то "азимутальный отход" не будет влиять на точность измерения высоты светила. В противном случае возникает ошибка, величина которой будет зависеть при прочих равных условиях от способа покачивания секстана. Тогда общая ошибка в высоте

$$\Delta h = \Delta h_0 + \Delta h_\gamma, \quad (88)$$

где  $\Delta h_\gamma$  — ошибка в высоте от "азимутального отхода".

Действительно, как следует из рис. 12, если дважды отраженное изображение будет находиться над центром поля трубы, то для совмещения изображений понадобится повернуть большое зеркало на угол, соответствующий величине  $\Delta h_\gamma$ .

Однако при развороте зеркал в противоположные стороны (см. рис. 12) дважды отраженное изображение сместится в непрозрачную часть малого зеркала. Теперь совмещение возможно лишь в том случае, если наблюдатель выведет дважды отраженное изображение в прозрачную часть малого зеркала. Это потребует наклона (поворота) плоскости секстана к плоскости вертикала светила и, как следствие, ввода ошибки в высоту. Далее, если зеркала не имеют наклона, то, как следует из системы уравнений (87) или рис. 12, изображения совмещаются в центре зрения трубы. Фактически это означает, что в момент совмещения дважды отраженное изображение должно усматриваться в двух частях малого зеркала одновременно. Действительно, чтобы совместить линию видимого горизонта с дважды отраженным изображением, необходимо, чтобы оба изображения были видимы в прозрачной части малого зеркала. Но так как лучи, падающий и отраженный, лежат в од-

ной плоскости с нормалью  $n''$ , то видеть изображение в прозрачной части малого зеркала (при условии, что плоскость лимба секстана находится в плоскости светила) теоретически невозможно. Поэтому наблюдатель, чтобы "улучшить" условия совмещения изображений, наклоняет секстан к плоскости вертикала светила. По исследованиям этот наклон достигает одного градуса. Это приведет к ошибке

$$\Delta h_{\gamma} = 0,52' \sin 2h \text{ и при } h = 40 \div 50^{\circ} \Delta h_{\gamma} \approx 0,5'. \quad (89)$$

Разумеется, такой ошибкой пренебрегать нельзя. Поэтому рассмотрим случай намеренного разворота зеркал на одинаковые углы.

Так, например, если развернем зеркала на  $30'$ , то получим:

$$\Delta h_0 = -0,07' \sin 2h; \quad (90)$$

$$\Delta A_{\varphi} = 1,0^{\circ} \sin^2 \frac{h}{2}. \quad (91)$$

Как видно из уравнения (90), "подъем" изображения будет меньше  $0,1$ , а "азимутальный отход" определится значениями:

$h_0$	0	20	40	45	60	80
$\Delta A_0$	0	2	7	9	15	25

В данном случае при совмещении изображений будет наблюдаться картина, аналогичная рис. 12.

Способ разворота зеркал относительно плоскости лимба секстана на равные углы. 1. Устанавливаем секстан так же, как и при выверке большого зеркала с помощью диоптров. 2. Вращением алидады совмещаем изображения краев прямовидного и отраженного диоптров. 3. Вращением регулировочного винта наклоняем большое зеркало к плоскости лимба так, чтобы отраженное изображение оказалось выше прямовидного на  $1,5-2,0$  мм. При этом наклон будет составлять  $30-40'$ . 4. Действуя так же, как и при выверке малого зеркала, совмещаем прямовидное и дважды отраженное изображение удаленной "точки". При этом малое зеркало будет развернуто параллельно большому. 5. Определяем поправку индекса секстана.

Таким образом, при наклоне зеркал возникает "подъем" изображения и азимутальный отход дважды отраженного изображения от вертикала светила. "Подъем" дважды отраженного изображения представляет собой погрешность в высоте светила, а азимутальный отход лишь смещает точку касания дважды отраженного изображения с линией видимого горизонта, поэтому целесообразно намеренно наклонить зеркала секстана к плоскости его лимба на равные углы.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адамченко В. Н. Обработка радионавигационных измерений (Б-чка судоводителя). — М.: Транспорт, 1983. — 56 с.
2. Баранов Ю. К. Определение места судна с помощью навигационных спутников (Б-чка судоводителя). — М.: Транспорт, 1984. — 112 с.
3. Богданов В. А., Сорочинский В. А., Якшевич Е. В. Спутниковые системы морской навигации. — М.: Транспорт, 1987. — 200 с.
4. Василенко В. А. и др. Радионавигационные приборы и системы (В.А. Василенко, Б.С. Розен, В.В. Серегин). — М.: Агропромиздат, 1986. — 319 с.
5. Дьяконов В. П. Справочник по расчетам на микрокалькуляторах. — 2-е изд., испр. — М.: Наука, 1986. — 224 с.
6. Ермаков В. И. Использование программируемых микрокалькуляторов в промысловом судождении. Уч. пособие. — Калининград: ВИПК Минрыбхоза СССР, 1986. — 53 с.
7. Ермаков В. И. Повышение эффективности методов мореходной астрономии при ведении промысла и промысловой разведки. Уч. пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — Калининград: ВИПК Минрыбхоза СССР, 1985. — 65 с.
8. Ермаков В. И. Современные способы промыслового судождения. Конспект лекций. — Калининград: ВИПК Минрыбхоза СССР, 1983. — 76 с.
9. Захаров В. К., Севастьянов Б. А., Чистяков В. П. Теория вероятностей. — М.: Наука, 1983. — 160 с.
10. Кожухов В. П., Григорьев В. В., Лукин С. М. Математические основы судождения. — М.: Транспорт, 1987. — 208 с.
11. Корблевождение / Под ред. Шандыбалова М. О. СССР ГУНиО. 1972. — 645 с.
12. Красавцев Б. И. Мореходная астрономия. Учебник для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1986. — 255 с.
13. Лесков М. М., Баранов Ю. К., Гаврюк М. И. Навигация. — М.: Транспорт, 1986. — 344 с.
14. Новые международные стандарты точности для навигации // Морской сборник. 1986. № 2. С. 68—69.
15. Орлов В. А., Алыбин А. И. Наставление по эксплуатации спутниковых судовых систем. Ч. II. Минрыбхоз СССР. — ВРПО "Севрыба": Мурманск, 1985. — 113 с.
16. Пул Л. Работа на персональном компьютере. — М.: Мир, 1986. — 383 с.
17. Пухначев Ю. В. и др. Микрокалькуляторы для всех. — М.: Знание, 1986. — 189 с.
18. Розен Н. Б. Микро-ЭВМ, использующиеся в АСУОР. Конспект лекций. — Калининград: ВИПК Минрыбхоза СССР, 1986. — 18 с.
19. Руководство по практическому использованию программируемых микрокалькуляторов в штурманских расчетах. — Л.: Гипрорыбфлот, 1984. — 216 с.
20. Скворцов М. И. Систематические погрешности в судождении. — М.: Транспорт, 1980. — 168 с.
21. Тарасенко Ф. П. Непараметрическая статистика. Изд-во Томского ун-та, 1976. — 294 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	3
1. Программируемые микрокалькуляторы и микрокомпьютеры . . . . .	4
1.1. Общие сведения . . . . .	4
1.2. Использование микрокалькулятора в режиме "Автоматическая работа" . . . . .	5
1.3. Использование микрокалькулятора в режиме "Вычисление по программам" . . . . .	11
1.4. Работа с постоянным запоминающим устройством (ППЗУ) . . . . .	38
1.5. Рекомендации по повышению эффективности использования микрокалькулятора . . . . .	41
1.6. Персональный компьютер "Электроника МК-85" . . . . .	41
2. Использование микро-ЭВМ СМ-1800 для решения штурманских задач . . . . .	47
2.1. Краткие сведения о микро-ЭВМ СМ-1800 . . . . .	47
2.2. Общие сведения об алгоритмическом языке Бейсик . . . . .	50
2.3. Принципы организации диалогового режима . . . . .	57
2.4. Составление программы . . . . .	58
2.5. Использование программы для решения задач . . . . .	61
2.6. Расчет элементов высотной линии положения . . . . .	62
2.7. Расчет тормозных характеристик судна при пассивном и активном торможении . . . . .	65
2.8. Программа для расчета координат центра масс судна . . . . .	67
3. Современные методы оценки точности промыслового судовождения . . . . .	68
3.1. Классификация погрешностей измерений . . . . .	68
3.2. Закон распределения случайных погрешностей . . . . .	69
3.3. Числовые характеристики случайных погрешностей . . . . .	71
3.4. Оценка точности результатов наблюдений методами непараметрической статистики . . . . .	76
3.5. Оценка точности обсервованного места судна . . . . .	80
3.6. Оценка точности радионавигационных измерений . . . . .	87
3.7. Оценка точности обсерваций, полученных с помощью спутниковой навигационной системы . . . . .	92
3.8. Оценка точности счисления пути судна . . . . .	100
4. Повышение эффективности использования инструментов и методов мореходной астрономии . . . . .	105
4.1. Общие сведения . . . . .	105
4.2. Использование программируемых микрокалькуляторов для решения задач мореходной астрономии . . . . .	105
4.3. Определение места судна по измеренным высотам светил над огнями других судов . . . . .	121
4.4. Повышение эффективности обработки астрономических наблюдений в малых широтах . . . . .	125
4.5. Анализ динамических ошибок секстанов с искусственным горизонтом . . . . .	130
4.6. Повышение эффективности использования навигационного секстана . . . . .	133
Список рекомендуемой литературы . . . . .	142

**Ермаков Василий Иванович**

**ПРОМЫСЛОВОЕ СУДОВОЖДЕНИЕ: РАСЧЕТЫ**

Зав. редакцией **Л. В. Корбут**  
Художественный редактор **Т. И. Мельникова**  
Технический редактор **М. С. Ашиткова**  
Корректор **В. А. Лебедева**

**ИБ № 6062**

Сдано в набор 29.12.88. Подписано в печать 5.05.89. Т-03307. Формат 60×88<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная № 2. Гарнитура Пресс-Роман. Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,82.  
Усл. кр-отт. 9,06. Уч. изд. л. 10,04. Изд. № 541. Тираж 3800 экз. Заказ № 1788  
Цена 35 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени ВО "Агропромиздат",  
107807, ГСП-6, Москва, Б-78, ул. Садовая-Спасская, 18.

Московская типография № 9 НПО "Всесоюзная книжная палата" Госкомиздата,  
109033, Москва, Волочаевская, 40