

448 =
40 коп.

В. И. ЕРМАКОВ

Использование программируемых микрокалькуляторов в судовых условиях



СПРАВОЧНИК



ЛЕНИНГРАД
„СУДОСТРОЕНИЕ“
1990

629.12

ББК 32.844

Е 72

УДК 681.321 : 629.12

Рецензент д-р воен. наук, проф. Р. А. Скубко

Ермаков В. И.

Использование программируемых микрокалькуляторов в судовых условиях: Справочник. — Л.: Судостроение, 1990. — 104 с.: ил.
ISBN 5-7355-0224-7

Кандидат технических наук с большим стажем преподавательской работы составил практическое руководство по эксплуатации программируемых микрокалькуляторов отечественного производства для решения задач, связанных с судовождением, с контролем остойчивости судна, определением его инерционно-турмозных характеристик. В пособии обобщен опыт использования таких приборов на судах флота и в учебных заведениях. При разработке программ учитывались по возможности следующие требования: удобство ввода исходных данных и получения конечных результатов; краткость и лаконичность программ; высокая степень автоматизации способа расчета часовых углов солнца и звезд и склонения сопниц; полнота сведений по оптимальному использованию микрокалькулятора. Все программы прошли детальную проверку и одобрены экипажами судов рыбопромыслового флота.

Для судоводителей. Полезна также преподавателям и курсантам морских учебных заведений.

Е 2705140300-055 31-90
048 (01)-90

ББК 32.844

ISBN 5-7355-0224

© Ермаков В. И., 1990

ПРЕДИСЛОВИЕ

В справочнике содержатся сведения о реализации возможностей программируемого микрокалькулятора „Электроника МК-52” для решения навигационных, астронавигационных и эксплуатационных задач в судовых условиях.

Каждая программа имеет инструкцию по ее использованию, а также сопровождается примерами и комментариями. В справочнике дана информация по применению блоков расширения памяти микрокалькулятора. В книге приводятся также сведения об использовании микрокомпьютера „Электроника МК-85”, служащего для выполнения научных, инженерных и статистических расчетов и прикладных задач с помощью программ, составленных на языке Бейсик.

Книга предназначена для судоводителей транспортного и промыслового флотов. Однако она может быть полезна преподавателям и учащимся судоводительской специальности. Для тех, кто желает пополнить свои знания, рекомендуется обратиться к пособиям [4, 5, 7, 9].

Большую помощь в составлении программ и ценные замечания по улучшению содержания книги внес профессор Роман Андреевич Скубко, к сожалению, недавно ушедший из жизни.

Отзывы и предложения можно присыпать по адресу: 191065, Ленинград, ул. Гоголя, 8, издательство „Судостроение”.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРА В НЕПРОГРАММИРУЕМОМ ВАРИАНТЕ

Геометрия и остойчивость судна

- L – длина судна, м
 B – ширина судна, м
 d – осадка судна (средняя), м
 C_B – коэффициент общей плотности судна
 Δ – массовое водоизмещение, т
 ∇ – объемное водоизмещение, м³
 x_G – абсцисса центра массы судна
 z_G – аппликата центра массы судна
 I_0 – плечо статической остойчивости, м
 I_X, I_P, I_M – плечи остойчивости формы относительно основной, произвольного полосы, метацентра соответственно, м
 h – начальная поперечная метацентрическая высота, м
 θ – угол крена
 c – инерционный коэффициент, с · м^{1/2}
 T – период собственных бортовых колебаний судна, с

Астронавигация

- φ – широта наблюдателя
 λ – долгота наблюдателя
 δ – склонение светила, девиация компаса
 t_m – местный часовой угол
 h – высота небесного светила
 A – азимут светила
 t^* – часовой угол точки Овна
 τ^* – звездное дополнение
 S – расстояние, мили
 K – курс судна, град.
 ΔT – интервал времени, ч

Кинематика и динамика судна

- v – скорость судна
 K – гидродинамический коэффициент
 S – тормозной путь, м
 D – расстояние, измеренное радиолокатором, мили
 m – масса судна, кг
 F – сила упора винта, м
 t – интервал времени, с

1.1. Назначение клавиш

Пульт управления микрокалькулятора содержит 32 клавиши с двойным или тройным управлением. В непрограммируемом варианте используются следующие клавиши (рис. 1): F, K – префиксные; 0 ... 9 – цифровые; □ – отделение целой части от дробной; $\nabla \uparrow$ – разделение вводимых чисел и передвижение информации в регистрах стека; +, -, ÷, X – арифметические операции; ↔ – операция обмена содержимым между регистрами X и Y; СХ – сброс содержимого регистра X (индикатора); /-/- – операция смены знака мантиссы или порядка числа; ВП – подготовительная клавиша для ввода порядка числа; X → П – запись числа в регистры памяти; П → X – вызов из регистра памяти.

Префиксные клавиши F и K используются для реализации так называемых совмещенных функций. Это означает, что при нажатии, например, клавиши F и 8 реализуется функция конусина угла, а K и ↔ – функция перевода угла, выраженного в градусах в минутах, в градусы и доли градуса. Подробно об этом указано в руководстве по эксплуатации микрокалькулятора.

1.2. Выполнение одноместных операций

Одноместными называются операции, в которых используется одно число: например, отыскание значения тригонометрической функции,

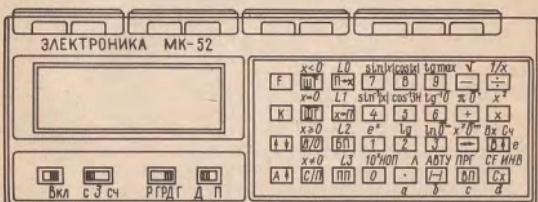


Рис. 1. Внешний вид микрокалькулятора „Электроника МК-52“

логарифма или числа по логарифму, вызов числа π и др. Рассмотрим изложенное на примере нахождения синуса угла.

Отметим, что при последовательном нажатии клавиши F и другой реализуется операция, указанная над соответствующей клавишей. В этом случае нужно писать то обозначение, которое написано над клавишей. Для удобства клавиши F и надклавишного обозначения имеют одинаковый цвет — желтый. Так, например, при нажатии клавиши F и 7 реализуется функция синуса. Для нахождения синуса 20° необходимо: переключатель ГР/ГРД перевести в положение Г (крайнее левое положение); набрать на индикаторе число 20; нажать клавиши F и 7 и ждать результата. Через несколько секунд на индикаторе высветится число 3,4202014—01, равное 0,34202014.

Следует помнить, что если число по абсолютному значению меньше единицы, то оно представляется в форме плавающей запятой. Так как любое число можно представить в виде $N = m \cdot 10^n$, где m — мантисса, а n — порядок числа на основании 10, то число 0,34202014 будет записано как 3,42020 $\cdot 10^{-1}$. Однако на индикаторе высвечивается только порядок.

Рассмотрим другой пример. Пусть на индикаторе находится число $N = 3,4202014 - 01$ и нужно найти его \arcsin . Для этого необходимо нажать клавиши F и 4. Тогда после завершения цикла на индикаторе высветится число 20. Поскольку переключатель находится в положении Г, то, следовательно, мы получили 20° .

Приведем еще несколько комбинаций клавиши с пояснениями: F B↑ — восстановление (на индикаторе) предыдущего результата. Так, для предыдущего примера после нажатия клавиши на индикаторе получим число 3,42202014—01; F □ — кольцевое перемещение чисел в стековых регистрах; F C F — сброс действия клавиши F.

1.3. Занесение чисел в регистры памяти и извлечение из них

Микрокалькулятор имеет 15 регистров памяти. Запись числа в регистры памяти производится с индикатора следующим образом: набирается число (если оно не является результатом предыдущей операции); нажимаются клавиши X → П и символ адресуемого регистра (числовые 0 ... 9, буквенные а ... е). 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 нажатием клавиши П → Х и символа регистра. Для 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 → П (при записи числа в регистр памяти) ошибочно нажимают клавишу П → X. В этом случае ошибку также можно обнаружить сличением ошибочно вызванного числа (нажата клавиша П → X)

с числом, вводимым в регистр памяти. Однако, как показывает опыт учебной работы, первый способ более надежен.

Пример. Требуется занести число 1 2 3 в 4-й регистр памяти.

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

1) нажать клавишу ←, т. е., вызвать заданное число из регистра Y, так как после нажатия клавиши П → X 4 число, находившееся в регистре X, переместится в регистр Y;

2) набрать заново, после чего нажать клавиши X → П 4.

Примечание. При наборе чисел необходимо четко нажимать клавиши и задерживать клавишу на долю секунды в нижнем положении.

Для вычисления тригонометрических функций микрокалькулятору требуется около 2 с, поэтому необходимо выдержать паузу перед очередной операцией (например, перед операцией умножения синуса угла на число и т. д.).

1.4. Выполнение двухместных операций

Арифметическая операция выполняется следующим образом: набирается первое число; нажимается клавиша B↑ (число, находящееся на индикаторе, т. е. в регистре X, переводится в регистр Y); набирается второе число; нажимается клавиша, соответствующая арифметической операции; с индикатора (регистр X) снимается результат.

Пример. Требуется найти сумму двух чисел: $N_1 = 5, N_2 = 7$.

Решение.

Нажимаемые клавиши	5	B↑	7	+
Индикация	5	5	7	12

Если хотя бы одно из чисел вводится вызовом из памяти или получается как результат одноместной или предыдущей арифметической операции, то клавиша B↑ нажимать не надо.

Возведение числа X в степень Y, т. е., нахождение числа $N = X^Y$, производится так: на индикатор вводится показатель степени Y; нажимается клавиша B↑ (число переводится в регистр Y); на индикатор число X; нажимаются клавиши F X Y.

Пример. Дано: $Y = 2/3$; $X = 2500$. Требуется найти $N = 2500^{2/3}$.

Решение.

Нажимаемые клавиши	2	B↑	3	÷	2500	F X Y
Индикация	2	2	3	6.666 . . .	01 2500	184.20157

Ответ: $N = 184.20157$.

Если при выполнении сложной арифметической операции необходимо запомнить промежуточные результаты, их надо занести в регистры памяти.

Использование стековой памяти. Стековая память микрокалькулятора содержит 4 регистра: T, Z, Y, X, из которых X и Y являются операционными, т. е. в арифметической операции участвуют числа, находящиеся в регистрах X и Y (отметим, что делитель и вычитаемое находятся в регистре X). Дополнительно к ним имеется регистр предыдущего результата — X1.

Ввод числа нажатием цифровых клавиш или вызовом из соответствующего регистра памяти, как указано ранее, всегда производится в регистр X.

После ввода очередного числа информация в стеках перемещается на один регистр вверх. Если нажимается только клавиша B↑, то число, находившееся в регистре X, сохраняется, а его копия перейдет в регистр Y. Схематически перемещение чисел в стеках будет выглядеть так:

Клавиши	Схема перемещения
Цифровые.	X → Y → Z → T → исчезает
B↑	X → Y → Z → T → исчезает

После выполнения арифметической операции числа перемещаются на один регистр вниз. Схематически это выглядит так: T → Z → Y → |*| → X → X↓.

Знак * здесь означает результат арифметической операции, произведенной с содержимым регистров X и Y.

При нажатии клавиши FΩ происходит колыцевое перемещение чисел: X → T → Z → Y → X.

В качестве примера работы стека рассмотрим перемещение информации в регистрах стека.

T	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Z	0	0	0	1	1	2	2	1	2	1	1	-6
Y	0	1	1	2	2	3	3	2	3	2	1	-6
X	1	1	2	2	3	3	4	3	5	8	-6	1
Нажимаемая клавиша	1	B↑	2	B↑	3	B↑	4	FΩ	5	+	-	↔

Отметим, что умелое использование возможностей стековых регистров позволит избежать лишних действий при составлении программы вычислений.

Решение вспомогательных задач. Микрокалькуляторы „Электроника МК-52 и МК-61” имеют 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. Рассмотрим несколько примеров.

Пример. Дано: $a = 120^\circ 34.7'$. Требуется найти значение угла, выраженное в градусах и долях градуса.

Индикация
120.
120.
120.347
120.57832

Ответ: $a = 120.57832^\circ$.

Пример. Дано $a = 36.12345^\circ$. Требуется найти значение угла в градусах, минутах и долях минуты.

Решение.
Нажимаемые клавиши

3 6	36.
□	36.
1 2 3 4 5	36.12345
K 6	36.07.407

Ответ: $a = 36^\circ 07.407'$.

Пример. Дано: $T_{\text{тр}} = 12 \frac{1}{4} 37 \frac{1}{2} \text{ м } 42 \text{ с}$. Требуется найти значение Гринвичского времени в часах и долях часа,

Решение.

Нажимаемые клавиши	Индикация
1 2	12.
□	12.
3 7 4 2	12.3742
K ↔	12.628332

Ответ: $T_{\text{тр}} = 12.628332 \text{ ч}$.

Пример. Дано: $T_{\text{тр}} = 13.48971 \text{ ч}$. Требуется найти значение $T_{\text{тр}}$ в часах, минутах и секундах,

Решение.

Нажимаемые клавиши	Индикация
1 3	13.
4 8 9 7 1	13.48971
K 3	13.292296

Ответ: $T_{\text{тр}} = 13 \frac{1}{4} 29 \frac{1}{2} \text{ м } 23 \frac{1}{2} \text{ с}$.

Глава 2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРА В РЕЖИМЕ „ВЫЧИСЛЕНИЕ ПО ПРОГРАММАМ”

2.1. Общие положения

В режиме „Вычисление по программам” дополнительно используются следующие клавиши, реализующие соответствующие команды:

F ПРГ – перевод в режим программирования;
 F АВТ – перевод в режим автоматических вычислений (выход из режима программирования);

F (X < 0, X = 0, X ≥ 0, X ≠ 0) – ввод операций условных переходов;

БП – ввод операции безусловного перехода;

ПП – ввод подпрограмм (и потактовое прохождение программы);

ШГ – смещение программы на один шаг „вперед”;

- ШГ** – смещение программы на один шаг „назад”;
- В/0** – установка программы по нулевому адресу и ввод операции возврата из подпрограммы;
- С/П** – операция *Останов* и пуск вычислений по программе;
- F L (0 1 2 3)** – ввод операций для организации циклов;
- К НОП** – ввод команды НЕТ ОПЕРАЦИИ (исключение ошибочной команды);
- К** – реализация косвенной адресации (совместно с клавишами $\Pi \rightarrow X$ и $X \rightarrow \Pi$ и номерами адресуемых регистров).

Программа представляет собой последовательность кодов операций (команд), которые микрокалькулятор выполняет автоматически в процессе вычисления. При этом имеется виду, что исходные данные занесены в соответствующие регистры микрокалькулятора.

2.2. Программирование задачи

Рассмотрим простейшую задачу, которая, однако, имеет практическое значение при решении астрономических задач на микрокалькуляторе „Электроника МК-56”. Речь идет о переводе угла, выраженного градусами и минутами, в градусы. Формула в этом случае имеет вид

$$a^\circ = a_1^\circ + \frac{1}{a_2'}, \quad (2.1)$$

где a_1° – число градусов; a_2' – число минут с десятыми долями.

Прежде всего проанализируем формулу и выявим константы и переменные. Из формулы видно, что в исходных данных содержатся одна константа – число 60 и две переменные, одна из которых (a_1) выражена в градусах, другая – в минутах.

После этого необходимо определить регистры, в которых будут находиться исходные данные перед началом решения задачи, а также регистр, где будет храниться результат (любом случае он прежде всего попадает в регистр X). Для этой цели составим таблицу.

Из табл. 2.1 видно, что число 60 занесено в регистр 0, это позволит использовать его многократно. Часть угла, выраженного в градусах,

Таблица 2.1. Исходные данные и результаты перевода угла в градусы

Параметр	Обозначения	Символ регистра
Константа		60
Часть угла, выраженная в градусах	a_1	Y
Часть угла, выраженная в дуговых минутах	a_2	X
Угол, выраженный в градусах и долях градуса	a	X

будет находиться в регистре Y, другая часть, 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 (2.1) и табл. 2.1, составим программу для перевода углов в градусы.

Программа 1

00	01	02	03
$\Pi \rightarrow X_0$	\div	$+$	C/P
60	13	10	50

Здесь первая строка – адреса команд, вторая – нажимаемые клавиши, третья – коды команд. По адресу 03 записана команда ОСТАНОВ.

Затем следует составить инструкцию по использованию программы, т. е. подробный перечень последовательных действий, необходимых для получения результата.

Инструкция по использованию Программы 1

Нажимаемые клавиши

- | | | |
|---|-------------|---------|
| 1. Включить микрокалькулятор | | |
| 2. Перейти в режим „Программирование” | | F ПРГ |
| 3. Занести программу | | |
| 4. Перейти в режим „Автоматическая разбивка | | F АВТ |
| 5. Занести исходные данные в регистры: | | |
| 60 в регистр 0 | 60 X → P 0 | |
| a_1 в регистр Y | a_1 , В ↑ | |
| a_2 в регистр X | a_2 , Г ↓ | |
| 6. По трем параметрам, занесенным в регистры в качестве исходных данных, определить угол, выраженный в градусах | | B/0 C/P |

При м е р ч а с т и е . В действительности рассматриваемая задача является вспомогательной и для ее решения инструкцию не составляют. Более того, в микрокалькуляторах „Электроника МК-54”, „Электроника МК-52”, „Электроника МК-61” имеются встроенные подпрограммы, служащие для решения такой задачи (см. примеры на с. 18). Однако в качестве иллюстрации этапов вычисления по программам она удобна.

2.3. Ввод и редактирование программы

Этот этап работы выполняется в соответствии с Инструкцией по использованию программы. Перед включением микрокалькулятора необходимо убедиться в том, что переключатель Г/Р/ГРД находится в левом положении, т. е. в положении Г.

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

При выполнении п. 3 Инструкции на индикаторе последовательно будут появляться коды 60, 13, 10, 50, которые соответствуют адресам

00, 01, 02, 03. После появления кода 50 код 60 исчезает, 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 допущена ошибка и замечена сразу (последовательно кодов в Программе I и на индикаторе), то нажимают клавишу **ШГ** (перемешают программу „назад” на один шаг) и далее нужную клавишу. Если же ошибка находится далеко от текущего адреса, то данный способ (перемещение по одному шагу) будет неэффективным. В этом случае поступают следующим образом:

переводят микрокалькулятор в режим „Автоматическая работа” нажатием клавиш **F АВТ**;

устанавливают счетчики 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, ее устраниют 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 предпоследней команды вместо клавиши **Ф** была нажата клавиша **ЕЦ**. Тогда при слиянии кодов вместо числа 10 на индикаторе микрокалькулятора будет обнаружено число 11. Для исправления ошибки дважды нажимают клавишу **ШП**, а затем клавишу **Ф**. Для отработки навыка можно нажать последовательно следующие клавиши: **F АВТ; БП 02; F ПРГ; +**.

После выполнения указанных действий ошибка будет устранена.

2.4. Занесение исходных данных и решение задачи

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.

Для проверки можно решить следующую задачу. Известно, что $20^{\circ}30' = 20,5^{\circ}$. Поэтому, задав $a = 20^{\circ}30'$ и выполнив п. 5.6 Инструкции, т. е., нажав последовательно клавиши **20 В↑ 30 В/0 С/П**, получим $20,5^{\circ}$. Это будет свидетельствовать о правильности решения контрольного примера и об исправности микрокалькулятора. Последний этап мало отличается от предыдущего по составу операций. Разница заключается в том, что ответ неизвестен и мы считываем его с индикатора. При этом константа 60 заново не вводится. Теперь решим примеры на микрокалькуляторе МК-52.

Пример. Дано: $\varphi_c = 38^{\circ}38'N$; $\delta = 16^{\circ}19,9'S$; $t_m = 3^{\circ}11,8'W$. Требуется выразить исходные данные в градусной мере и изменить знак δ .

Решение,

Нажимаемые клавиши	Индикация
38.38 K +	38.633333
16.19 9 K + / -	-16.331667
3.11,8 K +	3.196667

2.5. Оптимизация программы командами переходов и организации циклов

2.5.1. Использование команды условного перехода. Рассмотрим составление более сложной программы, в которой используется команда условного перехода, – программы для расчета сличимой высоты и азимута светила.

Исходные формулы [2]:

$$\operatorname{tg} A_c = \sin t_m / (\operatorname{tg} \delta \cdot \cos \varphi_c - \cos t_m \cdot \sin \varphi_c);$$

$$\cos h_c = \sin t_m \cos \delta \operatorname{cosec} A_c,$$

где A_c – счислимый азимут светила в полуокруговом счете; h_c – счислимая высота светила; φ_c – счислимая широта наблюдателя; δ – склонение светила; t_m – практический часовой угол светила.

Отметим, что азимут получается в полуокруговом счете, а счислимая высота светила вычисляется через азимут. При этом синус (косеканс) азимута определяется через функцию его тангенса, а здесь содержится „ловушка”. Дело в том, что при $A_c > 90^\circ$ тангенс азимута имеет знак минус. Следовательно, мы получим вместо азимута его дополнение до 180° знаком минус.

Последующее вычисление синуса азимута, где в качестве аргумента будет использоваться полученный угол, приведет к ошибочному результату. Поясним это на примере.

Нажимаемые клавиши	Индикация
1. Включаем микрокалькулятор, переключатель ставим в положение Г	
2. 120	120.
3. F9	-1.732058
4. F6	-59,99999
5. F7	-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 для вычисления $\sin A_c$ использовать аргумент $A_c = 120^\circ$, то $\sin A_c = 0,86602544$.

Следовательно, для исправления указанной ошибки надо ввести в программу такое условие: если азимут получится отрицательным, то к нему надо прибавить 180° . Забегая вперед, укажем, что в программе (см. далее Программу 2) это условие реализовано по адресам 20...25. Фрагмент программы выглядит так:

20	21	22	23	24
FX < 0	24	$\Pi \rightarrow X_c$	+	$X \rightarrow \Pi$
SC	24	6C	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 22-го адреса; извлекает содержимое из регистра C (180°), складывает его с полученным значением угла (т. е. вычисляет азимут) и заносит его копию в регистр 5. 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 21, т. е. занесет азимут в регистр 5. Иложенный должно насторожить пользователей, желающих самостоятельно составить программу для решения задачи с использованием тригонометрических функций и их комбинаций.

Теперь перейдем к написанию программы, предварительно выделив для констант, переменных, а также полученных результатов соответствующие регистры памяти.

Затем на основе исходной формулы и табл. 2.2 составляем программу с учетом необходимости использования условного перехода и целесообразности наличия программы для перевода углов в градусную меру, о чем говорилось ранее. Для того чтобы безошибочно составить программу, рекомендуется использовать „развертки” стековых регистров так, как это показано ниже в схеме передвижения информации в стековых регистрах:

T	0	0	0	0	0
Z	0	0	0	0	0
Y	0	0	$\cos \varphi_c$	$\cos \varphi_c$	0
X	φ_c	$\cos \varphi_c$	δ	$\operatorname{tg} \delta$	$\cos \varphi_c \operatorname{tg} \delta$
Клавиша	$\Pi \rightarrow X_1$	F8	$\Pi \rightarrow X_2$	F9	X

Из фрагмента схемы видно, как перемещается информация в регистрах стековой памяти в ходе реализации программы. Поскольку при составлении программы, как правило, возникают „опечатки”, рекомендуется пользоваться в записях мягкими карандашами.

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

Таблица 2.2. Исходные данные и результаты вычислений
счислимой высоты и азимута

Параметр	Обозначение (значение)	Символ регистра
Константа	60	0
Константа	180	c
Широта счислимая	φ_c	1
Склонение светила	δ	2
Местный часовой угол светила	t_m	3
Азимут светила	A_c	5
Высота счислимая	h_c	X/6

Для оперативного контроля при записи программы полезно запомнить формулу наиболее употребительных кодов. Так, например, формула кода записи числа в какой-либо числовой регистр памяти имеет вид $N_k = 4N_p$, где N_k — номер кода; 4 — цифра, означающая запись в регистр памяти; N_p — номер числового регистра.

Так, например, код записи числа в 5-й регистр памяти соответствует числу 45. Код извлечения числа из числового регистра памяти соответствует формуле $N_k = 6N_p$, где N_k — номер кода; 6 — цифра, означающая извлечение числа из регистра памяти; N_p — номер числового регистра.

Арифметические коды запоминаются легко: + — 10; X — 12; - — 11; ÷ — 13.

Коды записи и извлечения из буквенных регистров памяти соответственно имеют вид

X → П	a	-	4	-	$\Pi \rightarrow X$	a	-	6	-
X → П	b	-	4	L	$\Pi \rightarrow X$	b	-	6	L
X → П	c	-	4	C	$\Pi \rightarrow X$	c	-	6	C
X → П	d	-	4	G	$\Pi \rightarrow X$	d	-	6	G

Далее представлена программа расчета счислимой высоты и азимута светила,

Программа 2									
00	01	02	03	04	05	06	07	08	
$\Pi \rightarrow X$ 0	÷	+	C/P	$\Pi \rightarrow X$ 1	F8	$\Pi \rightarrow X$ 2	F9	X	
60	13	10	50	61	1Г	62	1E	12	
09	10	11	12	13	14	15	16	17	
$\Pi \rightarrow X$ 3	F8	$\Pi \rightarrow X$ 1	F7	X	-	$\Pi \rightarrow X$ 3	F7	÷	
63	1Г	61	1C	12	11	63	1C	13	
18	19	20	21	22	23	24	25	26	
F ÷	F6	$\Pi \rightarrow X$ < 0	24	$\Pi \rightarrow X$ c	+	$\Pi \rightarrow X$ 5	$\Pi \rightarrow X$ 3	F7	
23	1L	5C	24	6C	10	45	63	1C	
27	28	29	30	31	32	33	34	35	
$\Pi \rightarrow X$ 2	F8	X	$\Pi \rightarrow X$ 5	F7	÷	F5	X → P	6	C/P
62	1Г	12	65	1C	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 адресом 03 по адрес 24, т. е., когда азимут записывается в регистр 5. Для вычисления счислимой высоты используется оставшаяся часть программы с адресом 25.

Инструкция по использованию Программы 2

Нажимаемые клавиши

1. Включить микрокалькулятор, переключатель установить в положении Г (градусы)

F ПРГ

2. Перейти в режим „Программирование“

F АВТ

3. Занести в программу

4. Перейти в режим „Автоматическая работа“

F П

5. Занести исходные данные для решения контрольного примера:

для микрокалькулятора „Электроника МК-56“:

60 в регистр 0

60 X → П 0

180 в регистр С

180 X → П с

φ_c в регистр 1

$\varphi^o \cdot \varphi' K + X \rightarrow \Pi 1$

δ в регистр 2

$\delta^o \cdot \delta' K + X \rightarrow \Pi 2$

r_m в регистр 3

$t^o \cdot t' K + X \rightarrow \Pi 3$

6. Вычислить счислимую высоту и азимут светила

БП 04 С/П

7. Сложить полученные данные с контурными значениями и, если они совпадут, перейти к решению задачи, начиная с третьей позиции п. 5.

При мечани 1. Для перевода дробной части высоты необходимо вычесть целое число градусов, а оставшуюся часть умножить на 60; число 60 вызывается из регистра 0.

2. Широта считается всегда положительной. Склонение считается положительным, если оно одновременно с широтой φ , и отрицательным, если разноименно с φ . Пример. Дано: $\varphi_c = 38^\circ 38' 0'' N$; $\delta = 16^\circ 19' 9'' W$; $r_m = 3^\circ 11' 8'' W$. Требуется вычислить h_0 и A_c .

Решение 1. Предположим, что выполнены п. 1–4. Инструкции. Поэтому перед нами в соответствующие регистры памяти (60 X → П для МК-56):

38, 38 K + (38,633333) X → П 1

16, 199 K + (16,331667) X → П 2

3, 188 K + (3,1966667) X → П 3

После ввода исходных данных нажимаем клавиши БП 04 С/П и ждем завершения цикла вычислений (примерно 25 с). На индикаторе высвечивается значение счислимой высоты: $h_0 = 67,52286$. Для отделения десятых долей градуса и перевода в дуговые минуты поступаем следующим образом: нажимаем клавиши К 6; индикация – 67 . 31 37. Следовательно, $h_0 = 67^\circ 31' 34''$.

Для вызова азимута из регистра 5 на индикаторе нажимаем клавиши П → X 5, тогда на индикаторе высвечивается число 171,96377. Следовательно, $A_c = 172^\circ$. Поскольку первая буква азимута полукругового счета одноименна с широтой, а вторая – с наименованием полукругового часового угла, то окончательно получим $A_c = 172^\circ NW$.

Теперь рассмотрим программу, в которой вместо обсервованной высоты высчитывается 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 ниже:

60	180	φ_c	δ	r_m	h_0	A_c	П
с	с	1	2	3	4	5	X

Здесь в первой строке указаны исходные данные и конечные результаты; во второй – регистры.

Программа вычислений переноса высотной линии положения будет отличаться наличием дополнительных команд, а именно:

35	36	37	38	39	40
P → X 4	**	**	P → X 0	X	C/P
64	14	11	60	12	50

Видно, что программа увеличилась на 5 адресов, но обрела иное качество – удобство пользования, которое уменьшает вероятность возникновения ошибки при расчете переноса высотной линии положения обычным способом.

В инструкции по использованию этой (модифицированной) программы в п. 5 добавится одна строка (для ввода h_0) – h_0 – в регистр 4: $h_0 \cdot h_0' K + X \rightarrow \Pi 4$. После завершения цикла вычислений на индикаторе высветится перенос высотной линии положения, выраженный в дуговых минутах.

Если для предыдущего примера примем $h_0 = 67^\circ 33', 4'$, то после выполнения п. 6 Инструкции получим: $P = +2,0'$.

2.5.2. Использование команды безусловного перехода. Команда безусловного перехода реализуется клавишами БП и адреса перехода. При выполнении команды безусловного перехода прерывается последовательность выполнения команд в возрастающем порядке адресов и микрокалькулятор переходит на выполнение команды по указанному в программе адресу перехода. Наиболее часто безусловный переход используется для облегчения работы пользователя исключением „лишних“ нажатий клавиш при решении задачи. Так, например, если в программе 1 после адреса 03 написать команду безусловного перехода БП 00, то при решении второго и последующих примеров клавишу В/0 нажимать не надо.

2.5.3. Использование команды организации цикла. Команда организации цикла используется при многократном выполнении одинаковых и тех же операций. Она реализуется с помощью клавиш F L (0 ... 3), как было указано ранее, и адресов перехода. Команда, записанная по адресу перехода, является началом цикла, а команда F L (0 ... 3) вместе с адресом перехода – концом цикла. При каждом обращении к концу цикла из числа, находящегося в регистре 0 ... 3 (смотря по тому, который из них использован), вычитается единица, и если разность не равна

нулю, то процесс вычислений начинается снова с выполнения команды, записанной в адрес перехода. Количество циклов равно количеству единиц, содержащимся в упомянутом регистре. После этого микроКалькулятор, игнорируя адрес перехода, перейдет к выполнению команды, находящейся за адресом перехода. Более подробно эта процедура описана в комментариях к программе „Расчет средней квадратической погрешности“.

Глава 3

РЕШЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЗАДАЧ, СВЯЗАННЫХ С КОНТРОЛЕМ ПЛАВУЧЕСТИ И ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА

3.1. Расчет координат центра массы судна

Первый вариант. Исходные формулы [4] имеют вид

$$x_G = \frac{\Delta_0 x_{G_0} + \sum_{i=1}^n p_i x_i}{\Delta_0 + \sum_{i=1}^n p_i} = \frac{1}{\Delta} = \frac{M_x}{\Delta}; \quad (3.1)$$

$$z_G = \frac{\Delta_0 z_{G_0} + \sum_{i=0}^n p_i z_i}{\Delta_0 + \sum_{i=1}^n p_i} = \frac{0}{\Delta} = \frac{M_z}{\Delta}; \quad (3.2)$$

$$\Delta = \Delta_0 + \sum_{i=1}^n p_i, \quad (3.2)$$

где x_G, z_G — абсцисса и ордината центра массы судна в данном случае нагрузки, м; x_{G_0}, z_{G_0} — абсцисса и ордината центра массы судна порожнем, м; Δ_0, Δ — массовое водоизмещение судна порожнем и в данном случае нагрузки соответственно, т; p_i — массы статей нагрузки судна, т; x_i, z_i — координаты центра массы соответствующих статей нагрузки, м; n — количество статей нагрузки; M_{x_i} — статический момент i -й статьи нагрузки относительно миделя, т · м; M_{z_i} — статический момент i -й

статьи нагрузки относительно основной, м; M_x — статический момент массы судна относительно миделя, т · м; M_z — статический момент массы судна относительно основной, т · м.

В данном варианте программы (см. Программу 3) ввод исходных данных (p_i, x_i, z_i) производится пользователем в адресуемые регистры памяти (1, 2, 3 соответственно). По сравнению со вторым вариантом (см. Программу 4) при решении задачи следует в каждом цикле вычислений выполнять на 4 действия больше, т. е. производить больше нажатий на клавиши. Однако, как показала практика обучения работе на микроКалькуляторе, этот вариант программы, поскольку он проще, воспринимается пользователями на начальной стадии обучения лучше. В табл. 3.1 представлено распределение исходных данных, промежуточных и конечных результатов.

Таблица 3.1. Распределение исходных данных, промежуточных и конечных результатов по соответствующим регистрам памяти

Параметр	Обозначение	Регистр
Масса i -й статьи нагрузки, м	p_i	1
Абсцисса i -й статьи нагрузки, м	x_i	2
Аппликата i -й статьи нагрузки, м	z_i	3
Статический момент массы i -й статьи нагрузки относительно миделя, т · м	M_{x_i}	4
Статический момент массы i -й нагрузки относительно основной миделя, т · м	M_{z_i}	5
Статический момент массы судна относительно основной миделя, т · м	M_x	6
Статический момент массы судна относительно основной, т · м	M_z	7
Абсцисса центра массы судна, м	x_G	8
Аппликата центра массы судна относительно основной, м	z_G	9
Массовое водоизмещение судна, т	Δ	а

Расчет координат x_G и z_G центра масс судна приведен в Программе 3.

Программа 3								
00	01	02	03	04	05	06	07	08
$\Pi \rightarrow X$ 1	$\Pi \rightarrow X$ 2	$\cdot X$	$X \rightarrow P$ 4	$\Pi \rightarrow X$ 6	$+$	$X \rightarrow P$ 6	$\Pi \rightarrow X$ 1	$\Pi \rightarrow X$ 3
61	62	12	44	66	10	46,	61	63
09	10	11	12	13	14	15	16	17
X	$X \rightarrow P$ 5	$\Pi \rightarrow X$ 7	$+$	$X \rightarrow P$ 7	$\Pi \rightarrow X$ 1	$P \rightarrow X$ a	$+$	$X \rightarrow P$ a
12	45	67	10	47	61	6—	10	4—
18	19	20	21	22	23	24	25	26
C/P	$\Pi \rightarrow X$ 6	$\Pi \rightarrow X$ a	÷	$X \rightarrow P$ 8	$\Pi \rightarrow X$ 7	$\Pi \rightarrow X$ a	÷	$X \rightarrow P$ 9
50	66	6—	13	48	67	6—	13	49
27	C/P	50						

Инструкция по использованию первого варианта Программы 3

Нажимаемые клавиши

1. Включить микрокалькулятор
2. Перевести микрокалькулятор в режим „Программирование”
3. Занести в память микрокалькулятора программу

4. Перевести микрокалькулятор в режим „Автоматическая работа”

5. Произвести очистку регистров 6, 7, а (для приобретения навыка выполнения этой операции в необходимых случаях, например при повторном решении задачи и т. д.)

6. Произвести первый (контрольный) цикл вычислений

Ввести исходные данные в соответствующие регистры памяти

Произвести цикл вычислений

Проверить содержимое 4-го регистра памяти и сличить со значением M_{x_0}

Проверить содержимое 5-го регистра памяти и сравнивать его со значением M_{z_0}

Проверить содержимое 6-го регистра памяти и сличить его со значением M_{x_0}

Проверить содержимое 7-го регистра памяти и сличить его со значением M_{z_0}

Произвести цикл вычислений координат и сличить полученное значение со значением z_{G_0}

Извлечь содержимое 8-го регистра памяти и сличить его со значением x_{G_0}

7. Произвести второй цикл вычислений

Ввести исходные данные в соответствующие регистры памяти

Вычислить моменты и массу
Извлечь из соответствующих регистров памяти M_x и M_z для записи в таблицу расчетов (по форме, принятой в Информации об остойчивости судов)

8. Выполнить, как указано в п. 7, операции для всех статей нагрузки, имея в виду, что статья „Судно порожнем” уже введена

9. Извлечь значения M_x и M_z для записи в таблицу

10. Произвести расчет x_G и z_G

11. Извлечь значения x_{G_0} , z_{G_0} и Δ

П р и м е ч а н и е. При снятии груза (или для исключения ошибочного цикла вычислений) масса груза вводится со знаком минус, а координаты вводятся со своими знаками. Затем производятся циклы вычислений нажатием клавиш B/0 C/P. В результате описанная выше операция будет выполнена,

F ПР

F АВТ

C_X X → П 6
X → П 7 X → П а

Δ_x X → П 1

x_{G_0} X → П 2

z_{G_0} X → П 3

B/0 C/P

П → X 4

П → X 5

П → X 6

П → X 7

БП 19 C/P

П → X 8

p_1 X → П 1

x_1 X → П 2

z_1 X → П 3

B/0 C/P

П → X 4 (M_{x_1})

П → X 5 (M_{z_1})

p_2 X → П 1

x_2 X → П 2

z_2 X → П 3

B/0 C/P

П → X 4 (M_{x_2})

П → X 5 (M_{z_2})

П → X 6 (M_{x_2})

П → X 7 (M_{z_2})

БП 19 C/P

П → X 8 (x_G)

П → X 9 (z_G)

П → X a (Δ)

2. При пересчете координат центра массы судна после расходования части груза, а также в случае пополнения запасов рекомендуется следующий способ:

при выполнении п. 6 Инструкции использовать данные судна в предыдущем случае нагрузки (Δ_x x_G z_G);

снять те же статьи нагрузки (с их прежними данными), которые подвергнуты изменениям;

ввести снова те же статьи нагрузки с данными по состоянию на момент расчета; вычислить координаты центра массы судна после коррекции нагрузки.

Второй вариант. Рассмотрим другой вариант программы для расчета координат центра массы судна.

Программа 4

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
X → П 3	→	X → П 2	–	F X = 0	09	F	X → П 2	F	X → П 1
43	14	42	11	5 E	09	25	42	25	41
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
P → X 3	X	X → П 5	P → X 7	+	X → П 7	P → X 1	P → X 2	X	X → П 4
63	12	45	67	10	47	61	62	12	44
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
P → X 6	+ X → П 6	P → X 1	P → X a	+ X → П a	P → X 4	C/P	P → X 7		
66	10	46	61	6 –	10	4 –	64	50	67
30	31	32	33	34	35	36	37		
P → X a	÷ X → П 9	P → X 6	P → X a	+ X → П 8	C/P				
6 –	13	49	66	6 –	13	48	50		

Таблица 3.2. Распределение исходных данных и промежуточных результатов

Параметр	Обозначение	Регистр
Масса i -й статьи нагрузки, т	p_i	Z/1
Абсцисса i -й статьи нагрузки, м	x_i	Y/2
Аппликата i -й статьи нагрузки, м	z_i	X/3
Статический момент массы i -й нагрузки относительно миделя, т · м	M_{x_i}	4
Статический момент массы i -й нагрузки относительно основной, т · м	M_{z_i}	5
Статический момент массы судна относительно основной, т · м	M_X	6
Статический момент массы судна относительно основной, т · м	M_Z	7
Абсцисса центра массы судна в грузу, м	x_G	8
Аппликата центра массы судна в грузу, м	z_G	9
Массовое водоизмещение судна, т	Δ	а

Инструкция по использованию программы 4

1. Включить микрокалькулятор (переключатель в любое положение)

2. Перейти в режим „Программирование”

3. Записать программу в память микрокалькулятора

4. Перейти в режим „Автоматическая работа”

Нажимаемые клавиши

F ПР

F АВТ

5. Произвести очистку регистров 6, 7, а

$X_8 X \rightarrow H\bar{6}$
 $X \rightarrow \bar{7} \quad X \rightarrow \bar{8}$
 $A_8 \uparrow B \uparrow z_{T_0} \uparrow \uparrow z_{T_1}$

6. Произвести первый (он же контрольный) цикл вычислений

Ввести исходные данные в соответствующие стековые регистры памяти калькулятора

Произвести пуск программы с адресом 00

Проверить содержание регистров памяти 1 ... 3 (в них должны содержаться соответственно

A_0, x_{G_0}, z_{G_0})

Проверить содержимое регистров 4 и 5 (в них должны содержаться M_{x_0} и M_{z_0} , соответственно)

Проверить содержимое регистров 6 и 7

Произвести пуск программы с адресом 29

Снять с индикатора значение x_{G_1}

Извлечь из регистра 9 значение z_{G_1}

7. Произвести второй и последующие циклы вычислений

Ввести исходные данные в стековые регистры памяти

Произвести пуск программы с адресом 00

Снять с индикатора значение M_{x_1}

Извлечь содержимое регистра 5

8. Извлечь содержимое регистров 6 и 7

9. Произвести расчет x_G и z_G

10. Снять с индикатора значение x_G

11. Извлечь из регистра 9 значение z_G

12. Извлечь из регистра а значение Δ

Краткое пояснение к программе. Исходные данные (p_1, x, z_1) вводятся в стековые регистры (X, Y, Z) и сохраняются в регистрах 1, 2, 3 соответственно до следующего цикла вычислений. Это сделано с той целью, чтобы можно было осуществить контроль после вычисления статических моментов. Следует иметь в виду, что очистка регистра X перед вводом данных не требуется, а если после ввода z_1 будет ошибочно нажата клавиша $B \uparrow$, то сработает блокировка и ошибка будет устранена без вмешательства пользователя. Сущность блокировки сводится к следующему. Если содержимое регистра X (команда по адресу 03) будет равно нулю, то, следовательно, в регистрах X и Y содержались одинаковые числа — z_1 . В этом случае команда $F(\downarrow)$ (адрес 06) будет перемещен в регистр T , а в регистр X переместится x_1 в регистр $Y - z_1$, т. е. ошибка будет исключена, процесс вычислений не прервается. Если же исходные данные будут введены правильно, то разность будет отлична от нуля (за исключением случая, когда $x_1 = z_1$, что практически исключено), следовательно, команда по адресом 06 ... 08 выполниться не будет.

Для исключения ошибочного цикла вычислений необходимо ввести массу p_1 со знаком минус, а координаты со своими знаками и произвести пуск программы с адресом 00. Эти же операции выполняются при снятии груза.

Для отработки навыков по обоим вариантам программы рекомендуется использовать типовые варианты расчета координат центра массы, имеющиеся в информации об остойчивости судна, т. е. примеры с готовыми ответами.

3.2. Расчет координат центра массы судна при приеме (снятии) и перемещении грузов

При решении задачи, связанной с определением координат центра массы судна при различных вариантах нагрузки, можно использовать любую из приведенных программ. Поскольку в процессе производственной деятельности не все статьи нагрузки подвергаются изменению, рекомендуется следующее:

з исходные координаты центра масс и массовое водоизмещение брать результаты, полученные при предыдущем расчете;

предыдущие значения масс статий нагрузок, подвергшихся изменению (например, топлива, воды), вписать в таблицу со знаками минус, а их координаты без изменения знаков;

текущие значения масс указанных статий и их координаты записать в таблицу по фактическим данным;

произвести расчеты обычным путем, вводя исходные данные с их знаками. Этим обеспечивается универсальность решения задачи.

Отметим, что подобную задачу приходится решать при балластировке судна, комбинируя различные варианты, обеспечивающие и остойчивость, и надлежащую посадку судна. Особенно удобно для этой цели использовать микрокалькулятор „Электроника МК-52”, который обеспечивает сохранность программы при отключенном питании.

3.3. Расчет плеч статической остойчивости судна

Плечо статической остойчивости судна нормируется Правилами Регистра СССР. Рассмотрим задачу расчета плеча применительно к использованию микрокалькулятора. В качестве исходной выберем следующую формулу [6]:

$$l_\theta = l_K - z_G \sin \theta, \quad (3.4)$$

где l_θ — плечо статической остойчивости, м; l_K — плечо остойчивости формы относительно основной, м; z_G — аппликата центра массы, м; θ — угол крена, град.

Исходную формулу представим в следующем виде:

$$l_\theta = l_K - z_G \sin (\theta_{n-1} + \delta \theta), \quad (3.5)$$

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

Ниже представлены табл. 3,3 и Программа 5 вычислений плеч статической остойчивости судна.

Таблица 3,3. Размещение исходных данных при расчете статической остойчивости судна

Параметр	Обозначение	Символ регистра
Плечо остойчивости формы	I_K	X
Аппликата центра массы судна	z_G	0
Приращение угла крена	$\delta\theta$	1
Угол крена	θ	2
Плечо статической остойчивости судна	I_θ	X

Программа 5								
00	01	02	03	04	05	06	07	08
П → X 0	П → X 1	П → X 2	+	X → П 2	F 7	X	-	C/P
60	61	62	10	42	1C	12	11	50

Инструкция для работы с Программой 5

- Включить микрокалькулятор, переключатель поставить в положение Г (градусы)
- Перейти в режим „Программирование“
- Занести программу
- Перейти в режим „Автоматическая работа“
- Занести константы z_G и $\delta\theta$ в регистры 0 и 1 соответственно
- Произвести очистку регистра 2 (в целях отработки навыка выполнения этой операции в необходимых случаях)
- Занести в регистр X (на индикатор) плечо остойчивости формы для $\theta = 10^\circ$
- Произвести первый цикл вычислений
- После завершения цикла вычислений снять с индикатора значение плеча статической остойчивости для $\theta = 10^\circ$
- Произвести второй и последующий циклы вычислений, выполнив п. 7 ... 9 Инструкции

Так как программой предусмотрен автоматический способ вычисления угла крена с приращением $\delta\theta$, то повторное нажатие клавиш B/0 С/П приводит к увеличению угла θ . Следовательно, если нажатие произведено до ввода очередного значения I_K , то получится ошибочный результат.

В целях проверки правильности результата (значение I_θ) для произвольного угла θ необходимо занести в регистр 2 угол, равный $\theta - \delta\theta$, в регистр X – I_K , соответствующее углу θ , и произвести пуск программы нажатием клавиш B/0 С/П. После завершения цикла вычислений на индикаторе высветится искомый результат.

Для расчета плеч статической остойчивости при данной аппликате центра массы судна, но при других значениях объемного водоизмещения необходимо выполнить п. 6 ... 10 Инструкции. Если же аппликата также будет другой, необходимо занести ее значение в регистр 0.

Пример. Дано: судно типа БАТ „Спрут“, Плечи остойчивости формы даны относительно основной, учтены коэффициенты выступающих частей; объемное водоизмещение $\nabla = 5500 \text{ м}^3$; аппликата центра массы судна $z = 7,12 \text{ м}$; углы крена 10° .

Решение. Будем полагать, что программа набрана и отлажена, и микрокалькулятор находится в режиме „Автоматическая работа“. Поэтому переходим к выполнению п. 5 Инструкции.

Нажимаемые клавиши	Индикация
7, 12 X → П 0	7,12
10 X → П 1	10,
C _X X → П 2	0,
1, 34	1,34
B/0 С/П	1,036 – 01
2, 72	2,72
B/0 С/П	2,848 – 01
4, 14	4,14
B/0 С/П	5,8 – 01
5, 46	5,46
B/0 С/П	8,83 – 01
6, 5	6,5
B/0 С/П	1,045
7, 22	7,22
B/0 С/П	1,053
7, 6	7,6
B/0 С/П	9,094 – 01
7, 6	7,6
B/0 С/П	5,881 – 01

Плечи статической остойчивости БАТ „Спрут“ при $\nabla = 5500 \text{ м}^3$, $z_G = 7,12 \text{ м}$ имеют следующие значения:

θ°	10	20	30	40	50	60	70	80
$I_K, \text{ м.}$	1,34	2,72	4,14	5,46	6,50	7,22	7,60	7,60
$I_\theta, \text{ м.}$	0,10	0,28	0,58	0,88	1,04	1,05	0,91	0,59

3.4. Расчеты, связанные с построением универсальной диаграммы статической остойчивости

Регистр СССР рекомендует иметь в информации об остойчивости судна универсальную диаграмму статической остойчивости для определения значений нормируемых параметров статической остойчивости в критической ситуации, т. е. когда нагрузка судна необычна, а остойчивость на пределе. „Необычность“ нагрузки по Регистру следует понимать в том смысле, что критическая (допустимая) аппликата центра массы судна в данной ситуации становится недействительной, например, при существенном увеличении площади парусности вследствие принятого палубного груза, или учете массы льда при обледении судна по нормам, отличающимся от принятых Регистром СССР, и т. д.

Достоинством универсальной диаграммы статической остойчивости (УДСО) является то, что она позволяет определить значения параметров статической остойчивости графическим способом по следующим аргументам: аппликата центра массы судна (или начальная поперечная метацентрическая высота судна), водоизмещение (массовое или объемное) и угол крена. В настоящее время наиболее употребительными являются два варианта УДСО: со шкалой аппликат центра массы судна z_G ; со шкалой начальных поперечных метацентрических высот.

В связи с этим ограничимся рассмотрением упомянутых вариантов диаграммы.

Прежде всего отметим, что особенностью любого варианта УДСО является синусная шкала углов крена, т. е. шкала, точка которой рассчитана в соответствии с уравнением

$$x = x_0 \sin \theta, \quad (3.6)$$

где x — абсцисса точки синусной шкалы, мм; x_0 — база шкалы углов крена, мм; θ — угол крена, град.

Ниже представлена программа для расчета абсцисс точек синусной шкалы УДСО.

Программа б

0	01	02	03	04	05	06	07	08	09
П → X0	П → X1	П → X2	+	Х П 2	7	X	C/P	B/P	00
60	61	62	10	42	1	12	50	51	00

Краткая инструкция по работе с программой. После набора программы и перехода в режим „Автоматическая работа“ необходимо записать: x_0 — в регистр 0; $\delta\theta$ — в регистр 1; 0 — в регистр 2. После этого произвести первый цикл вычислений нажатием клавиш В/0 С/П. Второй и последующий циклы произвести нажатием клавиши С/П.

Пример. Дано: $x_0 = 200$ мм; $\delta\theta = 10^\circ$; $\theta = 0 - 90^\circ$. Требуется вычислить значения x для указанного диапазона углов.

Решение. Будем полагать, что микрокалькулятор готов к выполнению первого цикла вычислений (переключатель в положении Г).

Нажимаемые клавиши	Индикация
В/0 С/П	34.73 (мм)
С/П	68.40
С/П	100.
С/П	128.56
С/П	153.21
С/П	173.20
С/П	187.94
С/П	196.96
С/П	200.

Ниже представлены значения абсцисс синусной шкалы углов крена для соответствующих углов крена:

$\theta^\circ \dots$	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$x, \text{мм} \dots$	34,7	68,4	100	128,6	153,2	173,2	187,9	197	200

Теперь рассмотрим каждый вариант УДСО отдельно.

3.4.1. УДСО со шкалой аппликат центра масс судна. Схематически

этот вариант диаграммы выглядит так, как показано на рис. 2. Здесь θ — синусная шкала углов крена; l_p — шкала плеч остойчивости формы относительно произвольного полюса; z_G — шкала аппликат центра массы судна. Отметим, что шкалы l_p и z_G имеют одинаковый масштаб, а точка пересечения шкалы θ со шкалой z_G соответствует аппликате $z_G = z_p$, где z_p — аппликата произвольного полюса. В основе этого варианта УДСО формула

$$l_\theta = l_K - (z_G - z_p) \sin \theta, \quad (3.7)$$

где l_θ — плечо статической остойчивости судна; l_K — плечо остойчивости формы относительно основной; z_p — аппликата произвольного полюса.

Эта формула формально может быть получена из исходной (3.4) следующей комбинацией: $l_\theta = (l_K - z_p \sin \theta) - (z_G - z_p \sin \theta)$, где

$$l_K - l_p \sin \theta = l_p, \quad (3.8)$$

Переход от исходной к формуле (3.7) необходим для того, чтобы исключить нерабочую часть диаграммы, а, следовательно, сделать ее компактной. При выборе z_p рекомендуется руководствоваться следующим правилом: исходя из типовых случаев расчета z_G , имеющихся в информационной об остойчивости судна, найти среднее значение, округленное до десятых долей метра, и принять его за z_p . Для этой цели можно также использовать среднее значение допустимой аппликаты центра масс судна, найденное из информации об остойчивости судна (из графиков или таблиц). После этого необходимо произвести пересчет плеч остойчивости формы, т. е. перейти от l_K к l_p . Поскольку формула пересчета аналогична формуле расчета плеч статической остойчивости, для этой цели можно использовать рассмотренную ранее программу. Ниже приведены значения l_K и l_p БАТ „Спрут“ при $z_p = 7,0$ м для различных значений объемного водоизмещения.

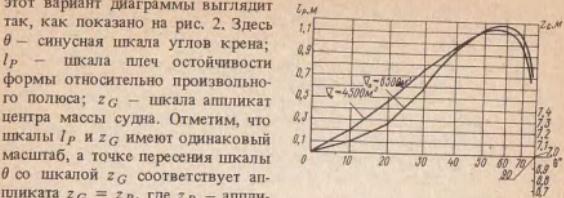


Рис. 2. Универсальная диаграмма статической остойчивости

$\theta^\circ \dots$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	$\nabla, \text{м}^3$
$l_K \dots$	0	1,42	2,86	4,26	5,46	6,48	7,24	7,62	7,62	4500
$l_p \dots$	0	0,20	0,47	0,76	0,96	1,12	1,18	1,04	0,73	—
$l_K \dots$	0	1,34	2,72	4,14	5,46	6,50	7,22	7,60	7,60	5500
$l_p \dots$	0	0,12	0,33	0,64	0,96	1,14	1,16	1,02	0,71	—
$l_K \dots$	0	1,32	2,66	4,08	5,44	6,48	7,18	7,52	7,56	6500
$l_p \dots$	0	0,10	0,27	0,58	0,94	1,12	1,12	0,94	0,67	—
$l_K \dots$	0	1,30	2,64	4,06	5,40	6,44	7,10	7,44	7,49	7500
$l_p \dots$	0	0,08	0,25	0,56	0,90	1,08	1,04	0,86	0,60	—

Сопоставительный анализ показывает, что после пересчета плечи уменьшились в 5–6 раз. Как указывалось, это позволяет выбрать при тех же размерах диаграммы больший масштаб. После выполнения процедуры пересчета плеч переходят к построению диаграммы (см. рис. 2). Сначала, пользуясь вычисленными значениями абсцисс, разбивают синусную шкалу. Затем, восстановив перпендикуляр в точке, соответствующей нулю синусной шкалы, разбивают (оцифровывают) шкалу l_p . После этого выбранные для заданного водоизмещения и различных углов крена значения l_p наносят на диаграмму, соединяют плавной кривой, надписывают значение водоизмещения. После нанесения всех кривых l_p производят привязку шкалы z_G следующим образом. В точке $\theta = 90^\circ$ восстанавливают перпендикуляр к синусной шкале углов крена и разбивают его в масштабе шкалы l_p . Поскольку в точке пересечения шкал z_G и $\theta z_G - z_p = 0$, точке пересечения двух шкал соответствует аппликата $z_G = z_p$, то и фиксируется на шкале z_G . В нашем примере $z_p = 7,0$ м. Отметим, что вниз от шкалы $\theta z_G < z_p$, а вверх – $z_G > z_p$. Как видно из описания, построение УДСО со шкалой аппликат центра масс не предстает трудности.

П р и м е ч а н и я. 1. Определение l_θ с помощью УДСО заключается в следующем (рис. 3): на шкале z_G откладывают аппликату центра массы судна, вычисленную обычным способом; полученную точку a соединяют прямой с началом синусной шкалы; в точке b синусной шкалы, соответствующей заданному углу крена θ , восстанавливают перпендикуляри и продолжают его до пересечения с кривой плеч l_p (для заданного водоизмещения) и вспомогательной прямой Oa ; снимают отрезок cd перпендикуляра от вспомогательной прямой (она называется прямой плеч статической остойчивости) до кривой l_p ; с помощью шкалы l_p переводят в метры, получают плечо статической остойчивости l_θ .

2. Если участок кривой плеч l_p окажется ниже прямой плеч остойчивости массы, это будет означать, что имеет место отрицательная остойчивость и, следовательно, судно получит статический крен, угол которого соответствует точке пересечения прямой и кривой плеч. Действительно, в этом случае $l_\theta = 0$, тогда как левее этого угла $-l_\theta < 0$.

3. Определение максимального плеча статической остойчивости, угла заката, метacentрической высоты и их регулирования являются частными вариантами первого примера, поэтому здесь не рассматриваются. Однако отметим, что аппликату начального поперечного метацентра определяют проведением касательной к начальному участку кривой l_p и продолжением его до пересечения со шкалой z_G . В точке пересечения $z_G = z_m$. Это легко поясняется следующим примером. Метacentрическая формула

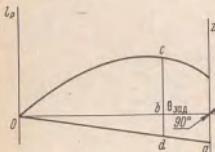


Рис. 3. Схема определения плеча статической остойчивости

остойчивости, как известно, имеет вид $l_\theta = h \sin \theta$. Так как в случае касательной $l_\theta = 0$ при $\theta \neq 0$, то, следовательно, $h = 0$. Получаем, что $z_m = z_G$.

Таким образом, с помощью УДСО вследствие простоты способа решения задач можно (дополнительно) успешно проводить техническую учебу.

3.4.2. Универсальная диаграмма статической остойчивости со шкалой h . Этот вариант диаграммы базируется на формуле

$$l_\theta = l_M + h \sin \theta, \quad (3.9)$$

где l_M – плечо остойчивости формы относительно начального поперечного метацентра; h – начальная поперечная метацентрическая высота; θ – угол крена.

Для пересчета плеч остойчивости формы служит формула

$$l_M = l_K - z_m \sin \theta, \quad (3.10)$$

где l_K – плечо остойчивости формы относительно основной; z_m – аппликата метацентра (водоизмещение, м^3), выбираемая из гидростатических кривых по аргументу.

Ниже приведены исходные данные значений плеч остойчивости формы относительно начального поперечного метацентра БАТ „Спрут“ для объемного водоизмещения $\nabla = 4500 \text{ м}^3$ и $z_m = 8,18 \text{ м}$ и результаты.

0°	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$l_K, \text{м.}$	0	1,42	2,86	4,26	5,46	6,48	7,24	7,62	7,62
$l_M, \text{м.}$	0	0,00	0,07	0,17	0,21	0,22	0,16	-0,05	-0,43

П р и м е ч а н и я. 1. Перерасчет плеч для другого водоизмещения производится аналогично. При этом z_m выбирается, естественно, для этого водоизмещения.

2. Синусная шкала углов крена может быть выбрана такого же размера, как и в первом случае построения УДСО.

3. Нанесение кривых плеч остойчивости формы производится аналогично.

4. Привязка шкалы h к диаграмме производится на основании правила: в точке пересечения синусной шкалы углов крена ($\theta = 90^\circ$) значение h равно нулю; вверх значения h имеют знак минус, вниз – плюс.

5. Для лучшей ориентации диаграммы в некоторых случаях производят пересчет плеч по формуле

$$l_{M_1} = l_M + b \sin \theta, \quad (3.11)$$

где l_{M_1} – новое значение плеча остойчивости формы; b – отрезок, на который точка нуль шкалы h поднимается вверх относительно первоначального положения. Так, если принять $b = 0,6 \text{ м}$, то получим соответственно следующие значения:

θ°	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$I_{M_1, M}$	0	0,10	0,28	0,47	0,60	0,68	0,68	0,51	0,16

Следует отметить, что УДСО со шкалой z_G имеет некоторые преимущества перед диаграммой со шкалой h с точки зрения как построения ($z_p = \text{const}$), так и использования аргумента z_G . Однако суда ГДР, например, имеют второй вариант УДСО.

3.5. Расчет плеч динамической остойчивости

Диаграмма динамической остойчивости представляет собой график работы восстанавливающего момента или плеч динамической остойчивости в зависимости от угла крена. При вычислении работы восстанавливающего момента используют формулу

$$A_\theta = 0,56\theta(M_0 + 2M_1 + \dots + 2M_{n-1} + M_n), \quad (3.12)$$

где $\delta\theta$ — интервал угла на ДСО между смежными моментами, выраженный в радианной мере; M_0, \dots, M_n — восстанавливающие моменты для соответствующих углов крена.

Разделив обе части уравнения (3.12) на Δ , получим

$$l_d = A_\theta/\Delta = 0,56\theta(l_0 + 2l_1 + \dots + 2l_{n-1} + l_n), \quad (3.13)$$

где l_d — плечо динамической остойчивости, м.

Если принять $\delta\theta = 10^\circ$ и выражение в скобках обозначить через Σ' (интегральная сумма), то окончательно получим

$$l_d = 0,0873 \Sigma'. \quad (3.14)$$

Сначала рассмотрим способ расчета плеч динамической остойчивости судна с помощью калькулятора в непрограммируемом варианте.

Предположим, что l_d уже найдены с помощью УДСО. Дано: судно типа БМРТ пр. 394; $\Delta = 3100$ т (30411 кН); $V_0 = 3000$ м³; $z_G = 5,67$ м; $\theta = 0 \dots 90^\circ$; $\delta\theta = 10^\circ$.

Расчет ведем с использованием микрокалькулятора „Электроника МК-56”, результаты которого приведены ниже:

Нажимаемые клавиши	Индикация
1, Включить МК	0.
2, 5 В 57,3	8.726 ... -02
Х → П 0	
3, 0,09 В ↑	9. -02
4, +	1,8 -01
5, 0,23 +	4,1 -01
6, F Bx + 0,47 +	1,11
7, F Bx + 0,78 +	2,36

Нажимаемые клавиши	Индикация
8, F Bx + 1,12 +	4,26
9, F Bx + 1,40 +	6,78
10, F Bx + 1,43 +	9,61
11, F Bx + 1,35 +	12,39
12, F Bx + 1,13 +	14,87

После расчета Σ' переходим к вычислению l_d .

Нажимаемые клавиши	Индикация
1, 0,09 П → X 0 X	7,853 ... -03
2, 0,41 П → X 0 X	3,57 ... -02
3, 0,11 П → X 0 X	9,68 ... -02
4, 2,36 П → X 0 X	2,059 -01

Аналогично выполняют п. 5 ... 10.

$$10, 14,87 \Pi \rightarrow X 0 X \quad 1,297$$

Значения плеч статической и динамической остойчивости судна даны ниже:

θ°	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$I_B, \text{м}$	0	0,09	0,23	0,47	0,78	1,12	1,40	1,43	1,35	1,13
$\Sigma, \text{м}$	0	0,09	0,41	1,11	2,36	4,26	6,78	9,61	12,39	14,87
$I_d, \text{м}$	0	0,01	0,04	0,10	0,21	0,37	0,59	0,84	1,08	1,30

По данным θ и I_d (см. Программу 3) построена диаграмма динамической остойчивости (ДДО).

Теперь рассмотрим способ определения динамического угла крена по ДДО (рис. 4).

Динамический угол крена, как известно, определяется исходя из равенства

$$A_\theta = A_d = M_d \theta_d. \quad (3.15)$$

Разделив обе части уравнения (3.15) на Δ , получим

$$l_d = l_{dkp} = \frac{M_d}{\Delta} \theta_d, \quad (3.16)$$

где l_{dkp} — плечо динамически приложенного кренящего момента.

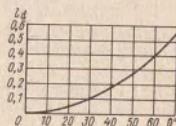


Рис. 4. Диаграмма динамической остойчивости

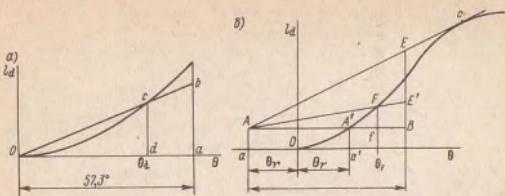


Рис. 5. Определение динамического угла крена (а) и I_d (б)

Нетрудно заметить, что график ($I_{d\text{кр}}$) представляет собой прямую, проходящую через начало координат. Следовательно, чтобы нанести ее на поле диаграммы, необходимо найти координаты второй точки. Для этой цели надо, например, задаться значением угла θ_d и вычислить $I_{d\text{кр}}$. Если принять $\theta_d = 1$ рад, то получим

$$I_{d\text{кр}} = M_d / \Delta. \quad (3.17)$$

Следовательно, координатами второй точки будут $\theta = 1$ рад; $I_{d\text{кр}} = M_d / \Delta$.

Таким образом, определение динамического угла крена сводится к следующему.

На шкале углов крена (рис. 5, а) откладывают вправо от нуля угол, равный одному радиану (точка a). В полученной точке a восстанавливают перпендикуляр, а по нему измерителем откладывают отрезок $a b$, равный в масштабе $I_{d\text{кр}}$ для $\theta_d = 1$ рад.

Через точки 0 и b проводят отрезок прямой.

Из точки пересечения прямой с ДДО с опускают перпендикуляр на шкалу углов крена 0θ . В точке d снимают значение динамического угла крена.

Пример. Дано: $\Delta = 3100$ т (30411 кН); $z_G = 5,67$ м; $M_d = 592,0$ т · м (5807,5 кН · м). Требуется определить θ_d .

Решение. Находим $I_{d\text{кр}} = 592/3100 = 0,19$ м.

Произведя необходимые построения на ДДО, получим $\theta_d = 30^\circ$. Определение момента M_d по динамическому углу крена производится в обратном порядке.

Рассмотрим табл. 3, 4 и Программу 6 расчета плеч статической и динамической остойчивости.

Таблица 3.4. Размещение исходных данных и результата при расчете плеч статической и динамической остойчивости

Параметр	Обозначение	Символ регистра
Плечо остойчивости формы	I_K	X
Аппликата центра массы судна	z_G	0
Приращение угла крена	$\delta\theta$	I
Угол крена	θ	2
Половина приращения угла крена в радианной мере	$\delta\theta/2$	3
Плечо статической остойчивости	I_θ	4
Плечо динамической остойчивости	I_d	X

Программа 6

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
P → X 1	2	F 9	X → P 3	F	P → X 1	P → X 2	+		X → P 2
61	02	13	1 E	43	25	61	62	10	42
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
F 7	P → X 0	x	—	P → X 4	→	X → P 4	+	P → X 5	+
1 C	60	12	11	64	14	44	10	65	10
20	21	22	23	24	25				
X → P 5	P → X 3	x	C/P	B/P	06				
45	63	12	50	51	06				

Краткая инструкция по работе с программой. После набора программы и перехода в режим „Автоматическая работа“ выполняют следующие операции:

заносят константы z_G и $\delta\theta$ в регистры 0 и 1 соответственно;

производят очистку регистров 2, 4 и 5 (хотя после включения микрокалькулятора эти регистры памяти нет необходимости очищать, все же эту операцию необходимо выполнить в целях приобретения навыка); при повторном решении примера или решения другого примера очистка регистров 2, 4 и 5 обязательна;

заносят в регистр X (на индикатор) значение плеча остойчивости формы для угла крена 10° ;

производят первый цикл вычислений путем нажатия клавиш B/0 C/P; после завершения цикла вычислений с индикатора снимают значение плеча динамической остойчивости I_d , а из регистра 4 извлекают значение плеча статической остойчивости для $\theta = 10^\circ$. Второй и последующий циклы вычислений производят нажатием клавиши C/P (в программе предусмотрена команда пуска БП 06), после ввода на индикатор I_K .

Причесание. Если по каким-либо причинам не удалось снять значение I_d , то рекомендуется повторить вычисление части программы: произвести очистку регистра X нажатием клавиши Cx; нажать клавиши БП 18 C/P.

После завершения цикла вычислений на индикаторе высветится значение I_d . При этом содержимое регистров 2, 4, 5 не изменится.

При решении второго примера, как указано выше, необходимо произвести очистку регистров 2, 4, 5.

Для отработки навыка по использованию программы рекомендуется использовать данные плеч статической и динамической остойчивости судна, приведенные ранее.

3.6. Расчеты, связанные со снятием судна с мели (камня)

При посадке судна на мель уменьшается осадка судна, вследствие чего возникает реакция грунта, равная по массе потерянной плавучести (части массового водоизмещения):

$$N = 100(d_{ab} - d), \quad (3.18)$$

где N — реакция грунта, кН; d_{ab} — средняя осадка судна после посадки на мель, м; d — средняя осадка судна до посадки на мель; q — число килоньютонов на один сантиметр осадки при осадке, равной d_{ab} .

Если судно получило пробоину, то реакция грунта увеличивается на значение массы влившейся воды. При посадке судна на риф (камень) и сохранении герметичности корпуса реакцию грунта определяют по формуле $N = -\rho S \delta d$, где N — реакция грунта, кН; δd — изменение средней осадки в районе центра тяжести площади действующей ватерлинии, м; S — площадь действующей ватерлинии, м^2 ; ρ — плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Значение тягового усилия, необходимого для снятия судна с мели, определяют по формуле

$$F = fN, \quad (3.19)$$

где N — реакция грунта, кН; f — коэффициент трения скольжения корпуса судна о грунт.

Коэффициент трения скольжения о грунт зависит от материала корпуса судна, степени его шероховатости, наличия деформаций и структуры грунта. Ниже приведены ориентировочные данные в зависимости от упомянутых параметров:

Характер грунта	Коэффициент трения	
	Корпус деревянный	Корпус с сталмой
Жидкая глина	0,15	0,20
Мягкая глина	0,20	0,30
Глина с песком	0,30	0,35
Песок	0,35	0,40
Галька	0,38	0,42
Каменная плита	0,60	0,35 ... 0,40
Камень	0,70	0,40 ... 0,50

Иногда перед снятием судна с мели производят расчеты по уменьшению реакции грунта путем предполагаемого снятия или продольного перемещения груза. Далее следует иметь в виду изменение глубины в районе посадки судна вследствие прилива и отлива моря. При увеличении глубины акватории реакция грунта будет уменьшаться, при уменьшении, наоборот, — возрастать.

Пример 1. Судно, имеющее массовое водоизмещение $\Delta = 36297 \text{ кН}$ (3700 т), село на мель. Расчеты после замера осадок носом и кормой позволили получить значения: $\delta d = -0,3 \text{ м}$; $q = 87,4 \text{ кН}/\text{см}$ (8,9 т/см). Требуется рассчитать реакцию грунта.

Решение. $N = -100 \cdot 87 \cdot 4 \cdot 0,3 = -2620 \text{ кН}$ (267 т · с).

Пример 2. Рассчитать значение тягового усилия, необходимого для снятия судна, с мели по данным предыдущего примера, если грунт представляет собой глину с песком, а корпус судна стальной.

Решение. $F = fN = 0,35 \cdot 2620 \text{ кН} = 917 \text{ кН}$ (93,45 · с).

Пример 3. Определить уменьшение метacentрической высоты судна, используя данные примера 1.

Решение. Уменьшение метacentрической высоты судна h вычисляют по формуле

$$\delta h = \frac{N}{\Delta + N} \left(d + \frac{\delta d}{2} - h \right), \quad (3.20)$$

где δh — изменение метacentрической высоты, м; d — осадка судна до посадки на мель, м; h — метacentрическая высота судна до посадки судна, м; N — реакция грунта, кН; Δ — массовое водоизмещение судна до посадки на мель, кН.

Пример 4. Дано: $\Delta = 36297 \text{ кН}$ (3700 т); $d = 5,75 \text{ м}$, $h = 0,25 \text{ м}$, $\delta d = -0,3 \text{ м}$; $N = -2620 \text{ кН}$ (267 т). Требуется рассчитать δh .

Решение. Подставив в формулу (3.20) исходные данные, получим

$$\delta h = \frac{-2620}{36297 - 2620} \cdot \left(5,75 - \frac{0,3}{2} - 0,25 \right) = -0,08 \text{ м}.$$

Следовательно, метacentрическая высота уменьшится на 8 см.

3.7. Расчет опрокидывающего момента по методике Регистра СССР

Опрокидывающий момент M_c является максимально возможным кренящим моментом, приложенным динамически, который с учетом энергии качки наклоняет судно, не опрокидывая, а при наличии угла залипания наклоняет судно на угол, меньший угла залипания θ_f .

Ситуация 1. Судно находится лагом к волне, без хода, с выключенными успокоителями качки (если таковые имеются). В момент наклонения

судна наветренным бортом на угол, равный θ_r (амплитуда качки с обеспеченностью около 2%, т. е. максимальная из 50 колебаний), на него налекают шквал.

Эта ситуация для судна является наихудшей, так как и креняющий и восстанавливающий моменты будут действовать в одном направлении.

Определение M_c при отсутствии угла залиивания. На ДДО (рис. 5, б) вправо от нуля откладывают угол, равный θ_r (точка a'). В полученной точке восстанавливают перпендикуляр к шкале углов крена и продолжают его до пересечения с ДДО (точка A').

Через полученную точку A' проводят прямую, параллельную шкале углов крена, а по ней влево от нуля откладывают угол, равный θ_f , получают так называемую исходную точку A . Из этой точки проводят касательную AC к ДДО, которая представляет собой график плеч опрокидывающего момента для данной ситуации.

Далее по прямой, проходящей через точки AA' , откладывают в масштабе отрезок AB , равный 1 радиан ($57,3^\circ$). В точке B восстанавливают перпендикуляр и продолжают его до пересечения с касательной AC (точка E). Снимают отрезок BE , переводят с помощью масштаба плеч в метры, получают l_c . Опрокидывающий момент вычисляют по формуле

$$M_c = \Delta l_c \quad (3.21)$$

Определение опрокидывающего момента при наличии угла залиивания. В этом случае вместо касательной AC производится секущая AF , так как диаграмма обрывается на угле залиивания θ_f . В остальном задача решается аналогично (см. рис. 5, б).

Рекомендуется использовать аналитический способ расчета l_c . Для пояснения обратимся к рис. 5, б, в частности, к прямоугольным подобным треугольникам AFF и $A'E'B$, произведем элементарные выкладки, после чего получим

$$BE' = l_c = (I_d - a'A') \cdot \frac{57,3^\circ}{\theta_f + \theta_r}, \quad (3.22)$$

где I_d — плечо динамической остойчивости судна, соответствующее углу залиивания θ_f ; $a'A'$ — плечо динамической остойчивости, соответствующее амплитуде качки θ_r .

Пример. Дано: $\Delta = 3100 \text{ т}$; $\theta_r = 20^\circ$; $\theta_f = 50$. Требуется рассчитать l_c .

Решение. Соответственно находим: $a'A' = 0,04 \text{ м}$; $I_d = 0,37 \text{ м}$.

Подставив исходные данные в формулу, получим:

$$l_c = (0,37 - 0,04) \cdot \frac{57,3^\circ}{70^\circ} = 0,33 \cdot \frac{57,3^\circ}{70^\circ} = 0,27 \text{ м.}$$

Ответ: $l_c = 0,27 \text{ м.}$

3.8. Расчет поперечной метацентрической высоты по измеренному периоду собственных бортовых колебаний судна

Сущность способа, рекомендованного ИМКО (ныне ИМО) в 1965 г. для судов длиной до 70 м, заключается в следующем. Соответствующим способом на тихой воде или на волнении измеряется серия (не менее 5) периодов собственных бортовых колебаний судна, затем вычисляется среднее значение.

После этого вычисляют h по формуле

$$h = (cB/\tau_\theta)^2, \quad (3.22)$$

где h — начальная поперечная метацентрическая высота, м; c — инерционный коэффициент, $\text{с} \cdot \text{м}^{-0.5}$ (определяется при креновании судна); B — ширина судна, м; τ_θ — среднее значение измеренного периода собственных бортовых колебаний судна, с.

Пример. Дано: $B = 9,8 \text{ м}$; $c = 0,79 \text{ с} \cdot \text{м}^{-1/2}$; $\tau_\theta = 10,3 \text{ с}$. Требуется определить h .

Решение. $h = (0,79 \cdot 9,8/10,3)^2 = 0,56 \text{ м.}$

В целях упрощения расчетов используют различного рода графики, в том числе номограмму, предложенную ИМКО. Удобными для использования следует считать графики, построенные на основе формулы (3.22).

Для расчета точек кривой $h = f(\tau_\theta)$ при фиксированных значениях B и c рекомендуется использовать программируемый микрокалькулятор. Ниже приведены Программа 7 расчета метацентрической высоты по измеренному периоду собственных бортовых колебаний судна и пример этого расчета.

Программа 7

00	01	02	03	04	05	06	07	08
$\Pi \rightarrow X_1$	$\Pi \rightarrow X_2$	$+ \quad X \rightarrow \Pi_2$	$\Pi \rightarrow X_0$	$\rightarrow +$	$F \quad X$	C/P		
61	62	10	42	60	14	13	22	50

Распределение исходных данных и результата по соответствующим регистрам памяти приведено ниже:

Параметры $c \cdot B \quad \delta\tau_\theta \quad \tau_\theta$

Регистры 0 1 2

Примечание. $\delta\tau_\theta$ — приращение периода τ_θ

Пример. Дано: судно типа БМРТ; $B = 14,0 \text{ м}$; $c = 0,76 \text{ с} \cdot \text{м}^{1/2}$; $\tau_\theta = 10 \div 30 \text{ с}$; $\delta\tau_\theta = 0,5 \text{ с}$. Требуется вычислить значения h в заданном интервале τ_θ .

Решение представлено в виде последовательных операций,

1. Включить МК
2. Перевести МК в режим „Программирование“

Нажимаемые клавиши

П РГ (В/0 F ПРГ)

3. Записать программу
 4. Перевести МК в режим „Автоматическая работа“
 5. Вычислить произведение чисел $N = C \times X \cdot B$ и записать в регистр 0
 6. Занести приращение периода (0,5 с) в регистр 1
 7. Число 9,5 занести в регистр 2
 8. Произвести необходимое количество циклов вычислений

Программа 7, строка 2
 F ABT
 $X \rightarrow \Pi 0$
 $0,5 X \rightarrow \Pi 1$
 $9,5 X \rightarrow \Pi 2$
 $B/0 C/P$

Ниже приведен фрагмент результатов вычислений

τ_0, \dots	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	...	30
h, m, \dots	1,13	1,02	0,94	0,86	0,79	0,72	0,67	0,62	0,58	...	0,13

П р и м е ч а н и я . 1. При расчете метacentрических высот для другого значения с необходимо предварительно выполнить действия, изложенные впп. 5 и 7 примера, а затем перейти к п. 8.

2. При определении метacentрической высоты на волнении следует выбирать такие эпизоды, когда собственные колебания судна существенно преобладают над вынужденными.

3. В целях повышения точности измерения периода собственных бортовых колебаний необходим индикатор вертикали на базе простейшего гиромаятника с бесконтактным способом записи колебаний на бумаге (например, электроискровым). Исследования автора показали, что при наличии регистратора качки можно просто определить период собственных колебаний судна.

4. Так как инерционный коэффициент зависит как от момента инерции массы судна, так и от массового водоизмещения, то необходимо иметь значения с для некоторых (характерных) значений водоизмещения с учетом способа размещения статей нагрузки относительно диаметральной плоскости.

3.9. Построение универсальной диаграммы динамической остойчивости

Как указывалось, Регистр СССР рекомендует иметь в „Информации об остойчивости судна“ или в приложении к ней справочные материалы „для более точного определения всех показателей остойчивости и посадки судна при необычных случаях нагрузки судна, когда остойчивость его может оказаться на пределе“. К таким материалам с полным основанием можно отнести универсальную диаграмму динамической остойчивости (УДДО). Как известно, одним из нормируемых параметров является критерий погоды

$$K = M_c / M_v, \quad (3.23)$$

где M_c — опрокидывающий момент, определяемый по методике Регистра СССР; M_v — момент шквала, определяемый также по методике Регистра СССР.

Отметим, что M_c можно определить как по диаграмме статической остойчивости (глазомерной оценкой равенства двух площадей, одна из которых имеет, как правило, сложную конфигурацию), так и с помощью диаграммы ДДО. Второй способ является более точным, так как исключаются ошибки, возникающие от неточности глазомерной оценки равенства площадей, которые имеют место в первом способе. Однако он гораздо сложнее, поскольку в классическом варианте, как мы убедились, требуется сначала найти плечи статической остойчивости, потом рассчитать плечи динамической остойчивости. При использовании УДДО плечи динамической остойчивости находятся графическим способом по аргументам: водоизмещение (весовое или объемное); аппликата центра величины для прямого положения судна z_{c0} ; аппликата центра тяжести судна для данного случая нагрузки z_G ; углы крена θ .

УДДО строится на основе формулы [6]

$$l_d = y_{c0} \sin \theta - (z_c - z_{c0}) \cos \theta - (1 - \cos \theta)(z_G - z_{c0}), \quad (3.24)$$

где y_{c0}, z_c — координаты центра величины, соответствующие углу крена θ и фиксированному значению угла дифферента,

Уравнение (3.24) представим в следующем виде:

$$l_d = l_{d1} - l_{d2}, \quad (3.25)$$

тогда

$$l_{d1} = y_{c0} \sin \theta - (z_c - z_{c0}) \cos \theta - (1 - \cos \theta) z_p, \quad (3.26)$$

$$l_{d2} = (1 - \cos \theta)(z_G - z_p - z_{c0}), \quad (3.27)$$

где z_p — число, соответствующее точке пересечения шкалы $(z_G - z_{c0})$ со шкалой углов крена и служащее для ориентировки диаграммы (рис. 6).

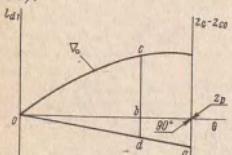


Рис. 6. Схема универсальной диаграммы динамической остойчивости

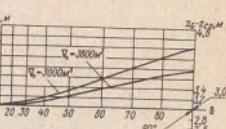


Рис. 7. Универсальная диаграмма динамической остойчивости

Из уравнения (3.26) видно, что значения l_d , можно вычислить еще на стадии проектирования судна, так же как и плечи остойчивости формы, и представить их в виде кривых $l_d = f(\nabla_o, \theta)$, где ∇_o – теоретическое объемное водоизмещение. Что касается l_d , то для его нахождения графическим способом необходимо, по аналогии с универсальной диаграммой статической остойчивости, иметь две шкалы: горизонтальную, пропорциональную значениям $1 - \cos \theta$, вертикальную, проходящую через точку $\theta = 90^\circ$ для значений $z_G - z_p - z_{c0}$. Отметим, что z_p имеет постоянное значение и служит для устранения нерабочей части, а также ориентировки диаграммы. Поэтому целесообразно в качестве входного аргумента шкалы принять разность

$$z_G - z_{c0}. \quad (3.28)$$

Для выбора z_p рекомендуется использовать уравнение

$$z_p = (z_G - z_{c0})_{cp},$$

где z_{Gcp} – среднее значение допустимой (критической) аппликаты центра масс судна, взятое из всех возможных значений водоизмещения и условий плавания; z_{c0cp} – среднее значение аппликаты центра величины для прямого положения судна, взятое из возможных значений водоизмещения судна.

На рис. 6 схематически показаны УДДО и принцип определения l_d . Для большей наглядности приведены только одна кривая плеч динамической остойчивости.

Из изложенного видно, что построение УДДО аналогично построению УДСО.

Теперь рассмотрим второй способ построения УДДО [6, с. 35]. Сущность его заключается в том, что сначала вычисляют l_d для нескольких значений водоизмещения при одной и той же аппликате центра массы судна, а потом „вмешают” их в каркас диаграммы. В качестве иллюстрации приведем пример, ограничившись двумя значениями водоизмещения (рис. 7).

Пример. Дано: судно типа БМРТ пр. 394; $\nabla_{o_1} = 3000 \text{ м}^3$; $\nabla_{o_2} = 3600 \text{ м}^3$; $z_G = 5,67 \text{ м}$. Требуется построить две ветви УДДО.

Решение. 1. Принимаем $x_o = 200 \text{ мм}$ и по формуле

$$x = 200 \cdot (1 - \cos \theta) = 400 \cdot \sin^2 (\theta/2) \quad (3.29)$$

вычисляем x_i ; заносим эти значения в таблицу, которая представлена ниже.

2. С помощью аргументов $\nabla_o = 3000 \text{ м}^3$; $\nabla_o = 3600 \text{ м}^3$ и $z_G = 5,67 \text{ м}$ находим сначала плечи статической остойчивости, а затем плечи динамической остойчивости и заносим их в третью и четвертую строки таблицы соответственно.

θ°	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	$\nabla_o, \text{м}^3$
$x, \text{мм.}$	0	3,0	12,1	26,8	46,8	71,4	100	131,6	165,3	200	–
$l_d, \text{м.}$	0	0,01	0,05	0,12	0,23	0,40	0,61	0,84	1,06	1,25	3600
$l_d, \text{м.}$	0	0,01	0,04	0,10	0,21	0,37	0,59	0,84	1,08	2,30	3000

3. По аргументам $\nabla_{o_1} = 3000 \text{ м}^3$ и $\nabla_{o_2} = 3600 \text{ м}^3$ находим аппликаты центра величины: $z_{c0_1} = 2,72 \text{ м}$; $z_{c0_2} = 3,15 \text{ м}$.

4. Находим разности: $z_G - z_{c0_1} = 5,67 - 2,72 = 2,95 \text{ м}$; $z_G - z_{c0_2} = 5,67 - 3,15 = 2,52 \text{ м}$.

5. Принимаем $z_{c0cp} = 2,8 \text{ м}$, а $z_{Gcp} = 5,8 \text{ м}$, находим $z_p: z_p = 5,8 - 2,8 = 3,0 \text{ м}$.

6. По данным таблицы строим шкалу углов крена диаграммы, одна из которых (левая) представляет собой шкалу l_d , а вторая – шкалу $z_G - z_p - z_{c0}$. Общие шкалы имеют одинаковый масштаб. При этом левая шкала оцифровывается от нуля: положительные значения – вверх, отрицательные – вниз от шкалы углов крена.

Правая шкала оцифровывается следующим образом. Точка пересечения со шкалой углов крена соответствует значению z_p . Вверх от шкалы θ числа будут возрастать, вниз – уменьшаться. При этом шкала оцифровывается в значениях $z_G - z_{c0}$. На этом построение каркаса диаграммы заканчивается.

8. Откладываем разности $z_G - z_{c0} = 2,95 \text{ м}$ по правой шкале и проводим прямую ba (см. рис. 6). От прямой ba откладываем (в масштабе) вверх, перпендикулярно шкале углов крена, значения l_d (отрезок cd) для соответствующих углов крена (третья строка таблицы). Полученные точки соединяем плавной кривой, надписываем значение водоизмещения (см. рис. 7): $\nabla_o = 3000 \text{ м}^3$.

9. Аналогично производится построение второй кривой для $\nabla_o = 3600 \text{ м}^3$.

Использование УДДО рассмотрим на примере.

Пример. Дано: судно типа БМРТ пр. 394; $\Delta = 3093 \text{ т}$; $KV = 1006$; $\rho = 1,025 \text{ т/м}^3$; $z_G = 5,97 \text{ м}$; $\theta = 0 \div 60^\circ$. Требуется найти l_d .

Решение. Находим теоретическое объемное водоизмещение

$$\nabla_o = \frac{3093}{1,025} = 3000 \text{ м}^3.$$

2. По аргументу $\nabla_o = 3000 \text{ м}^3$ находим $z_{c0} = 2,72 \text{ м}$.

3. Вычисляем разность $z_G - z_{c0} = 5,97 - 2,72 = 3,20 \text{ м}$.

4. Откладываем $z_G - z_{c0} = 3,20$ по правой шкале, а затем проводим прямую, соединяющую начало координат с полученной точкой.

5. С помощью измерителя снимаем l_d ($\Delta = 3093 \text{ т}$; $z_G = 5,97 \text{ м}$):

θ°	0	10	20	30	40	50	60
$l_d, \text{м.}$	0	0	0,02	0,06	0,13	0,27	0,45

Приложение. 1. Второй способ построения УДДО прост и может быть реализован даже в учебном процессе.

2. Учет влияния дифферента на плечи динамической остойчивости может быть реализован в виде поправок.

3. Наличие УДДО в информации об остойчивости судна и пособиях позволит повысить эффективность технической учебы по наиболее сложному разделу динамической остойчивости судна.

Для удобства расчета точек шкалы углов крена приводим программу для микрокалькулятора „Электроника МК-56”.

Константы и переменные по регистрам памяти распределяются следующим образом:

Параметры	x_0	$\delta \theta$	θ
Регистры	0	2	3

Далее дана программа для расчета x_i .

Программа 8

1	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
2	П→Х0	П→Х2	П→Х3	+ X-П3	F8	П→Х1	1	+	-	X	C/P	
3	60	62	63	10	43	1Г	61	01	14	11	12	50

В ней предусмотрено автоматическое вычисление угла (как и в программе, служащей для пересчета плеч остойчивости формы). Результат вычислений выводится на индикаторе.

Если принять $x_0 = 150$ мм, то получим следующие значения:

θ°	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$x, \text{мм.}$	2,3	9,0	20,1	35,1	53,1	75	98,7	124,0	150

Глава 4

РАСЧЕТ ИНЕРЦИОННО-ТОРМОЗНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДНА В УСЛОВИЯХ ПРОМЫСЛА

Общие сведения. В правила б МППСС-72 указывается, 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“. При выборе безопасной скорости учитывают следующие факторы: 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 обратстия корпуса, состояние нагрузки и посадки судна), особенно при плавании в условиях большой плотности судопотока. Если суда морского флота практически ежемесячно могут производить испытания на мерной мили, 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 позволит ему самостоятельно определять инерционно-тормозные характеристики судна опытно-расчетным путем в открытом море при различных загрузке и степени обратстия корпуса.

Как известно, существуют методы определения маневренных элементов судна, основанные на „абсолютной“ привязке судна относительно береговых ориентиров, однако они непригодны для применения в открытом море. В основном судоводители пользуются данными о маневренных элементах, полученнымими 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 наблюдений, выполненных в ходе эксплуатации. В связи с этим необходимо определение 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 двигателя на задний ход, во втором – инерция судна гасится сопротивлением воды движению судна. Активное торможение, в свою очередь, делят на два этапа:

1) предварительный – с момента подачи команды (машинным телеграфом) до момента времени, когда двигатель 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.

Для 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 диффера, движение судна в период торможения прямолинейное; сила упора винта (фиксированного шага) при заданном режиме движения судна на заднем ходу остается практически постоянной.

4.1. Пассивное торможение

Исходные уравнения:

$$v = v_0 e^{(-K/m)S}; \quad (4.1)$$

$$t = \frac{m}{Kv_0} (e^{(K/m)S} - 1). \quad (4.2)$$

Приводим их следующему виду:

$$v/v_0 = e^{(-K/m)S}; \quad (4.3)$$

$$v_0 t = m(e^{(K/m)S} - 1)/K, \quad (4.4)$$

где v_0 — начальная скорость судна, м/с; v — мгновенная скорость судна; e — основание натуральных логарифмов; S — тормозной путь судна, м; m — масса судна с учетом присоединенной массы воды, кг; K — гидродинамический коэффициент, Н · м⁻¹.

Для учебных целей коэффициент K рекомендуется определять по следующей формуле:

$$K = \Delta^2/3g; \quad (4.5)$$

где Δ — массовое водоизмещение судна, т; g — ускорение свободного падения.

Так, для $\Delta = 3200$ т получим $K = 217,1534 \cdot 9,81 = 2130,3$ Н · м⁻¹.

Определение коэффициента K в натурных условиях сводится к замеру скорости судна при пассивном торможении через интервал времени, когда скорость уменьшается примерно наполовину, и расчету K по формуле

$$K = \frac{m}{t} \left(\frac{1}{v} - \frac{1}{v_0} \right). \quad (4.6)$$

Здесь K — гидродинамический коэффициент, Н · м; t — интервал времени торможения, соответствующий уменьшению скорости с v_0 до v , м/с.

Пример. Дано: $m = 3520 \cdot 10^3$ кг; $v_0 = 10$ уз = 5,14 м/с; $v = 5,5$ уз = 2,83 м/с; $t = 266$ с.

Требуется рассчитать K .

$$\text{Решение. } K = \frac{3520 \cdot 10^3}{2,83} \left(\frac{5,14 - 2,83}{2,83} \right) = 2101,5 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}.$$

Ниже представлены программы для расчета инерционно-тормозных характеристик и распределение исходных данных (табл. 4.1).

Таблица 4.1. Размещение исходных данных и результата при расчете инерционно-тормозных характеристик судна при пассивном торможении

Параметр	Обозначение (значение)	Символ регистра
Константа для перевода скорости в узлы	1,94	0
Гидродинамический коэффициент	K	1
Масса судна с учетом присоединенной массы воды	m	2
Приращение тормозного пути	δS	3
Текущее значение тормозного пути	S	4
Отношение гидродинамического коэффициента к массе судна с учетом присоединенной массы воды	K/m	5
Отношение текущей скорости к начальной	v/v_0	6
Произведение начальной скорости на интервал времени торможения	$v_0 t$	X/7

Программа 9									
00	01	02	03	04	05	06	07	08	
P → X 1	P → X 2	÷	X → P 5	P → X 5	P → X 3	P → X 4	÷	X → P 4	
61	62	13	45	65	63	64	10	44	
09	10	11	12	13	14	15	16		
X	/ -	F 1	X → P 6	P → X 0	P → X 5	÷	P → X 6		
12	0L	16	46	60	65	13	66		
17	18	19	20	21	22	23	24		
F ÷	1	—	X → P 7	C/P	БП	04			
23	01	11	12	47	50	51	04		

Инструкция по работе с программой 9

Нажимаемые клавиши

1. Включить МК
2. Перейти в режим „Программирование”
3. Занести программы
4. Перейти в режим „Автоматическая работа”
5. Занести исходные данные в соответствующие

регистры памяти:

- 1,94 — в регистр 0
- K — в регистр 1
- m — в регистр 2
- 500 — в регистр 3

6. Произвести очистку регистра 4 (если до этого МК был в работе)

7. Произвести первый цикл вычислений

8. Занести с индикатора в таблицу полученное значение v/v_0

9. Извлечь из регистра 6 на индикатор полученное значение $v_0 t$

10. Занести полученное значение в таблицу

11. Произвести второй и последующие циклы вычислений

Пример. Дано: $\Delta = 3200$ т; $m = 3520 \cdot 10^3$ кг; $K = 2101,5$ Н · м⁻¹; $S = 0 - 3500$ м. Требуется рассчитать $v_0 t$ и v/v_0 .

Решение. 1. Принимаем $\delta S = 500$ м.

2. Выполняем операции, указанные в пп. 1 ... 4. Инструкции, регламентирующие работу с этой программой.

3. Заносим исходные данные в соответствующие регистры памяти и производим очистку регистра 4.

Нажимаемые клавиши

- 1,94 X → P 0
- 2101,5 X → P 1
- 3520 ВП 03 X → P 2
- 500 X → P 3
- C/X X → P 4

4. Производим первый цикл вычислений.

Нажимаемые клавиши

- B/0 C/P

Индикация

- 1,94
- 2101,5
- 3520000
- 500.
- 0.

Индикация

- 1130. (число округлено до целых секунд)

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

Нажимаемые клавиши

$\Pi \rightarrow X 6$

Индикация

7,4 ... -0,1 (округление
производится до сотых
доляй)

6. Производим последующие циклы вычислений. Результаты инерционно-тормозных характеристик судна при пассивном торможении следующие:

$S_{\text{а},m}$	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
v/v_0	1	0,74	0,55	0,40	0,30	0,22	0,17	0,12
$v_0 f, \text{уз.с.}$	0	1130	2654	4707	7475	11206	16234	23010

Полученные данные используются при оценке ситуации.

4.2. Активное торможение

Расчетные формулы

$$v_a = \sqrt{F/K} \operatorname{tg}[\arctg(\sqrt{Kv_0^2/F}) - (\sqrt{KF}/m)t_a];$$

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

где v_a — мгновенное значение скорости движения судна, м/с; v_0 — скорость движения судна в начальный момент активного торможения, м/с; t_a — интервал времени активного торможения, с; S_a — тормозной путь, м; F — сила упора вина на заднем ходу, Н.

Расчет инерционно-тормозных характеристик судна при активном торможении представлен в Программе 10.

Программа 10

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
$\Pi \rightarrow X 2$	$\Pi \rightarrow X 0$	$\Pi \rightarrow X 1$	\div	$F - X \rightarrow \Pi d$	\div	$F 6$	$X \rightarrow \Pi c$	$\Pi \rightarrow X 1$	
62	60	61	13	21	4 Γ	13	1L	4C	61
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$\Pi \rightarrow X 0$	X	$F -$	$\Pi \rightarrow X 3$	\div	$\Pi \rightarrow X 7$	\div	$X \rightarrow \Pi b$	$\Pi \rightarrow X c$	$\Pi \rightarrow X b$
60	12	21	63	13	67	13	4L	6C	6L
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
$\Pi \rightarrow X 4$	$\Pi \rightarrow X 5$	$+ X \rightarrow \Pi 4$	X	$-$	$F 9$	$\Pi \rightarrow X d$	X	$X \rightarrow \Pi 6$	
64	65	10	44	12	11	1E	6G	12	46
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
F x	$\Pi \rightarrow X d$	F x	$+$	$F B x$	$\Pi \rightarrow X 2$	F x	$+$	\leftrightarrow	\div
22	6 Γ	22	10	0	62	22	10	14	13
40	41	42	43	44	45	46			
F 3	$\Pi \rightarrow X 3$	X	2	\div	$\Pi \rightarrow X 1$	\div			
18	63	12	02	13	61	13			
47	48	49	50						
$X \rightarrow \Pi 9$	C/P	B/P	18						
49	50	51	18						

Размещение исходных данных и результатов вычислений приведены ниже:

Параметры	F	K	v_0	m	t_a	δt_a	v_a	$\pi/180$	S_a
Регистры	0	1	2	3	4	5	6	7	X/9

Инструкция по работе с программой 10

Нажимаемые клавиши

1. Включить МК
2. Перейти в режим „Программирование“
3. Занести программу
4. Перейти в режим „Автоматическая работа“
5. Занести исходные данные в соответствующие

регистры памяти:

$F -$ в регистр 0	$F \rightarrow \Pi 0$
$K -$ " 1	$K \rightarrow \Pi 1$
$v_0 -$ " 2	$v_0 \rightarrow \Pi 2$
$m -$ " 3	$m \rightarrow \Pi 3$
$\delta t_a -$ " 5	$\delta t_a \rightarrow \Pi 5$
$\pi/180 -$ в регистр 7	$\pi/180 \rightarrow \Pi 7$

6. Произвести очистку регистра 4 (если МК был в работе)

7. Произвести первый цикл вычислений

8. Снять с индикатора значение S_a для первого цикла

9. Произвести индикацию v_a первого цикла

10. Произвести второй и последующие циклы вычислений

11. Снять значение S_a

12. Произвести индикацию v_a , как указано в п. 9

$\Pi \rightarrow X 6$

П р и м е ч а н и е. Первый цикл вычислений длится 18 ... 20 с, второй — 9 ... 11 с. Если за указанный период вычисления не завершатся, необходимо нажать клавишу С/П и найти ошибку, допущенную при записи программы или при занесении исходных данных.

2. При отрицательном значении v_a необходимо:
занести в регистр 4 прежнее значение δt_a , т. с. на δt_a меньшее последнего значения, при котором получен отрицательный результат;

выбрать новое значение δt_a , в несколько раз меньшее δt_a , и занести его в регистр 5;

продолжить вычисления.

П р и м е р. Дано: $\Delta = 3200$ т; $K = 2101,5 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}$; $v_0 = 10 \text{ уз} = 5,14 \text{ м/с}$; $F = 13200 \text{ кгс} = 129492 \text{ Н}$; $m = 3520 \cdot 10^3 \text{ кг}$. Требуется рассчитать v_a и S_a до полной остановки судна.

Р е ш е н и е. Принимаем $\delta t_a = 60$ с. Выполняем операции, указанные в пп. 1 ... 4. Инструкции. Заносим исходные данные в соответствующие регистры памяти:

Нажимаемые клавиши

Индикация
129492 X → П0
2101,5 X → П1
5,14 X → П2
3520 B/P 0 3
X → П3
60 X → П5
F π/180 → X → П7
C/X X → П4
60.
1,7453 -02
0.

Производим очистку регистра 4 и первый цикл вычислений:

В/О С/П

Снимаем значение $S_{\text{в}}$

Производим индикацию v_a

$\Pi \rightarrow X$

6

223

2,41

Производим второй цикл вычислений:

С/П

На индикаторе $S_{\text{в}}$, м

Производим индикацию v_a , м/с

$\Pi \rightarrow X$

6

298

1,3 -0,1

Производим третий цикл вычислений, получаем отрицательное значение v_a . Поэтому задаемся $\delta t_{\text{в}} = 1$ с и нажимаем следующие клавиши:

Нажимаемые клавиши

120

$X \rightarrow \Pi$

1

БП 18 С/П

$\Pi \rightarrow X$

Индикация

120.

1.

298.

1,29 -01

Ниже представлены результаты вычислений, которые могут быть использованы в качестве контрольных чисел при отладке программы:

$t_{\text{в}}, \text{с.}$	60	120	121	122	123
$v_a, \text{м/с.}$	2,41	0,13	0,092	0,056	0,02
$S_{\text{в}}, \text{м.}$	223	298	298	298,1	298,2

Примечания. 1. Тормозной путь $S_{\text{в}}$ до полной остановки судна (скорость равна 0,02 м/с) составляет 298 м.

2. Задаваясь исходными данными для других режимов, получим соответствующие значения v_a и $t_{\text{в}}$.

4.3. Пассивное торможение судна при движении с тралом

Расчетные формулы:

$$v = \frac{K_t v_0}{K_t + v_0 t} ; S = K_t \ln \frac{v_0}{v} ,$$

где v_0 — начальная скорость движения судна с тралом, м/с; v — текущее значение скорости судна, м/с; K_t — инерционный коэффициент, характеризующий интенсивность торможения судна (определяется при натурных испытаниях); t — интервал времени торможения, с; S — тормозной путь, пройденный судном за промежуток времени t , м.

Расчет тормозных характеристик судна с тралом при пассивном торможении представлен в Программе 11.

Программа 11

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
$\Pi \rightarrow X$	0	$\Pi \rightarrow X$	1	$X \rightarrow \Pi$	6	$P \rightarrow X$	3	$+ \rightarrow X$	$\Pi \rightarrow X$
60	61	12	46	62	63	10	43	61	12

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

$\Pi \rightarrow X$	0	+	$\Pi \rightarrow X$	6	\rightarrow	\div	$X \rightarrow \Pi$	4	$\Pi \rightarrow X$	1	\rightarrow	\div	F 3
60	10	66	14	13	44	61	14	-	-	-	-	-	18
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	-	-	-	29
$\Pi \rightarrow X$	0	$X \rightarrow \Pi$	5	$P \rightarrow X$	4	1	.	9	4	$X \rightarrow \Pi$	4	X	$X \rightarrow \Pi$
60	12	45	64	01	0-	09	04	12	44	-	-	-	-
30	31	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C/П	BП	04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	51	04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Размещение исходных данных и результатов дано ниже:

Параметры	K_t	v_0	δt	t	v	S
Регистры	0	1	2	3	4/X	5/Y

Инструкция по использованию программы. После набора программы и перевода микрокалькулятора в режим „Автоматическая работа“ необходимо исходные данные занести в регистры 0, 1, 2 в любой последовательности, а затем произвести очистку регистра 3 нажатием клавиш $C_X X \rightarrow \Pi 3$. После этого перейти к вычислению искомых параметров v и S : первый цикл — нажатие клавиши B/P и C/P ; второй и последующие циклы — нажатие клавиши C/P .

После каждого цикла вычислений на индикаторе высвечивается значение текущей скорости судна в узлах (множитель 1,94 записан по адресам 24 . . . 27, а операция умножения — по адресу 28), а в регистре Y (и в регистре 5) хранится значение тормозного пути в метрах. Отметим, что значение текущей скорости в узлах хранится в регистре 4.

Пример. Дано: $v_0 = 4,5$ уз = 2,32 м/с; $K_t = 68,52$ м; $S_t = 20$ с. Требуется рас считать значения v и S для $t = 0 \dots 240$ с.

Решение. Будем полагать, что калькулятор готов к решению задачи, поэтому приступим к вводу данных и решению задачи.

Операция	Нажимаемые клавиши	Индикация
Ввод K_t в регистр 0	$68,52 X \rightarrow \Pi 0$	68,52
Ввод v_0 в регистр 1	$2,32 X \rightarrow \Pi 1$	2,32
Ввод S_t в регистр 2	$20 X \rightarrow \Pi 2$	20.
Очистка регистра 3	$C_X X \rightarrow \Pi 3$	0.
Первый цикл вычислений	$B/P C/P$	2,68
Индикация S	$F \square$	35,43
Второй цикл вычислений	C/P	1,91
Индикация S	$F \square$	58,67

Примечание. Остальные циклы вычислений производятся аналогично. Если необходимо уточнить текущее значение t , следует нажать клавиши $\Pi \rightarrow X$.

Ниже даны значения тормозных характеристик судна с тралом при пассивном торможении ($K_t = 68,52$ м; $v_0 = 4,5$ уз):

$t, \text{с.}$	20	40	60	80	100	120	140	160	180
$v, \text{уз.}$	2,7	1,9	1,5	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
$S, \text{м.}$	35	59	7,6	90	101	111	120	127	134

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРА
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЗАДАЧ
СУДОВОЖДЕНИЯ**

5.1. Определение места судна по импульсно-фазовым РНС

Для повышения точности получения обсервованных координат и упрощения процедуры графических построений предлагается программа расчета обсервованных координат посредством координат точек, выбранных из таблиц. Принято считать широту точки C наибольшей, а широту точки A меньшую широты точки C .



Рис. 8. Схема определения обсервованных координат по двум радионавигационным линиям положения

Схема определения обсервованных координат представлена на рис. 8, где AB — первая линия положения, CD — вторая; M_0 — обсервованное место (точка пересечения линий положения).

Отметим, что обсервованные координаты определяются относительно координаты точки C .

Из схемы на рис. 8 видно, что разность широт (РШ) равна отрезку CG , а отношение (OTШ) — отрезку M_0G , т. е.

$$\text{РШ} = M_0C \cos a_2; \quad \varphi_0 = \varphi_C - M_0G = \varphi_C - \text{РШ};$$

$$\text{OTШ} = M_0C \sin a_2; \quad \Delta\lambda = \text{OTШ} \cdot \sec \left(\varphi_C - \frac{\text{РШ}}{2} \right); \quad \lambda_0 = \lambda_c \pm |\Delta\lambda|,$$

где a_2 — угол пересечения второй линии положения с меридианом; $M_0C = M_0E + CE$.

Отрезок M_0E определяется из треугольника M_0EA .

Учитывая различные ситуации, для определения отрезков AE и M_0E можем записать следующие формулы:

$$AE = AF \pm CF \tan a_2;$$

$$M_0E = AE \sin a_1 / \cos (a_2 \pm a_1).$$

Ниже приведена вспомогательная таблица, служащая для определения знаков:

$\lambda_A - \lambda_B$	$\lambda_C - \lambda_D$	a_1	CF	$\Delta\lambda$
—	—	+	+	+
—	+	—	—	—
+	+	+	+	—
+	—	—	—	+

При мечание. Долготы (разность долгот) имеют знаки: „+“ — восточная (к востоку); „-“ — западная (к западу).

В необходимых случаях (например, при плавании в восточном полушарии, или в южных широтах) судоводителю следует составить таблицу, аналогичную табл. 5.1, исходя из возможной комбинации пересечения линий положения.

Таблица 5.1. Размещение исходных данных и промежуточных результатов для расчета обсервованных координат

Точки	—	—	—	—	D	C	B	A
Регистры	0	1	2	3	6	7	8	9
Исходные данные	60	14	—	—	λ	φ	λ	φ
Промежуточные результаты	—	a_1	φ_0	PD	—	—	—	a_2

При мечание. Расположение точек соответствует занесению исходных данных косвенным методом адресования, начиная с регистра D . Для этой цели в регистр I заносится число 14 (см. Инструкцию по использованию Программы 12). При желании занесение исходных данных производят обычным способом, однако в первом случае занесение исходных данных удобнее, так как нажимаются одни и те же клавиши — $B/O/C/P$.

Ниже представлены формулы, использованные при составлении Программы 12 и программы расчета обсервованных координат места судна:

$$\operatorname{tg} a_1 = \frac{|\varphi_A - \varphi_B|}{|\lambda_A - \lambda_B|} \sec \left(\frac{\varphi_A + \varphi_B}{2} \right); \quad \operatorname{tg} a_2 = \frac{|\lambda_D - \lambda_C|}{|\varphi_C - \varphi_D|} \cos \left(\frac{\varphi_C + \varphi_D}{2} \right);$$

$$AE = AF \pm CF \operatorname{tg} a_2; \quad M_0E = AE \sin a_1 / \cos (a_2 \pm a_1);$$

$$M_0C = M_0E + CE = M_0C + |\varphi_C - \varphi_A| \cos a_2; \quad \text{РШ} = M_0C \cos a_2;$$

$$\text{OTШ} = M_0C \sin a_2; \quad \Delta\lambda = \text{OTШ} \cdot \sec \left(\varphi_C - \frac{\text{РШ}}{2} \right); \\ \varphi_0 = \varphi_C - |\text{РШ}|; \quad \lambda_0 = \lambda_C + \Delta\lambda.$$

Программа 12								
00	01	02	03	04	05	06	07	08
$\Pi \rightarrow X 0$	\div	+	C/P	KX-P	C/P	$\Pi \rightarrow X d$	$\Pi \rightarrow X b$	—
60	13	10	50	1	50	6f	6	11
10	11	12	13	14	15	16	17	18
2	\div	$\Pi \rightarrow X b$	+	F 8	$\Pi \rightarrow X C$	$\Pi \rightarrow X a$	—	X
02	13	6	10	1Г	6C	6	11	12
20	21	22	23	24	25	26	27	28
								29

Инструкция по использованию Программы 12

F 6	* X → П 1	П → X 9	П → X 7	-	B ↑	2	÷	П → X 7	+
1	41	69	67	11	0E	02	13	67	10
30	31	31	33	34	35	36	37	38	39
F 8	П → X 8	П → X 6	-	X F X	-	↔	÷	F 6	
1Г	68	66	11	12	22	21	14	13	11
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
X → P b	П → X C	П → X a	-	П → X d	F 8	X	П → X 9	П → X d	-
4	6C	6	11	6F	1Г	12	69	6Г	11
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
B ↑	П → X b	F 8	÷	X → P 6	F	П → X b	F 9	X	C/P
0E	6	1Г	13	46	25	6	1E	12	50
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
+	П → X 1	F 7	X	П → X b	П → X 1	C/P	+	F 8	÷
10	61	1C	12	6L	61	50	10	1Г	13
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
P → X 6	+	B ↑	П → X b	F 8	X	П → X 9	↔	-	X → P 2
66	10	0E	6	1Г	12	69	14	11	42
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
F 8	÷	П → X b	F 7	X	Х → P 3	C/P	П → X 8	↔	+
1Г	13	6	1C	12	43	50	68	14	10
90									
C/P									
50									

Пояснение к структуре программы

Адреса команд

Операции

- 00 ... 03 Перевод дуговых минут в доли градуса и суммирование с градусами угла
- 04 ... 05 Запись чисел в адресуемые регистры косявным способом с использованием регистра 1. В данном случае в регистр 1 заносится число 14 и запись координат производится в регистры d, e ..., т. е. в сторону уменьшения numeriki
- 06 ... 59 Расчет углов a_1 и a_2 , отрезка EF и запись их в регистры 1, б и б соответственно. При этом значения долготы точки D и широты точки B анулируются, так как в дальнейшем они не нужны. Это следует учитывать при повторном решении задачи для этих же данных. На индикаторе высвечивается значение EF, а в регистре Y находится значение AF. Для того чтобы вычислить отрезок AE, необходимо определить знак EF: при $AE = AF - EF$ необходимо нажать клавишу $[-]$ и продолжить вычисления по программе. Подготовительная работа к вычислению отрезка M_bE. На индикаторе высвечивается значение угла a_1 . Если по схеме требуется найти сумму углов, то знак угла a_1 остается без изменений, если разность, то нажимается клавиша $[-]$ и продолжают вычисления по программе
- 60 ... 66 Вычисление обсервованной широты и запись ее в регистр 2
- 67 ... 79 Вычисление разности долгот и запись ее в регистр 3. На индикаторе высвечивается разность долгот $\Delta\lambda$ (абсолютное значение). Так как обсервованная долгота вычисляется относительно долготы точки C, то необходимо соответственно определить ее знак. Если он минус, то нажимают клавишу $[-]$
- 80 ... 86 Вычисляют обсервованную долготу
- 87 ... 90 Вычисляют обсервованную долготу

Инструкция по использованию Программы 12

Нажимаемые
клавиши

- 1. Включить микрокалькулятор, переключатель поставить в положение Г
- 2. Перевести микрокалькулятор в режим „Программирование”
- 3. Записать программу в память микрокалькулятора
- 4. Перевести микрокалькулятор в режим „Автоматическая работа”
- 5. Занести исходные данные в адресуемые регистры памяти:
 - 5.1. Константы 60 в регистр 0
 - 5.2. Константы 14 в регистр 1
 - 5.3. Координаты точек A, B, C, D последовательно перевести в градусы, затем перенести в регистры d, e, ..., 6 соответственно
 - Сначала обрабатывается широта соответствующей точки, а затем долгота
- 6. Произвести пуск программы на счет с адреса 06
- 7. Определить знак отрезка AE, если знак отрицательный, то откорректировать и произвести пуск программы с адреса 60
- 8. Определить знак угла a_1 ; если знак отрицательный, то откорректировать, произвести пуск программы с адреса 67
- 9. Определить знак разности долгот; если знак отрицательный, то откорректировать, произвести пуск программы с адреса 87
- 10. Перевести обсервованную долготу в градусы и минуты

60 X → P 0
14 X → P 1
 $\varphi^{\circ}, \lambda^{\circ}$ К +
C/P
/-

φ° К +
C/P
/-

λ° К +
C/P
/-

φ°
P → X 0 X

- 11. Извлечь из регистра 2 обсервованную широту и перевести ее в градусы и минуты

Пример. Находимся в $T_c = 12^{\circ} 20' 00''$ в точке с координатами $\varphi_c = 27^{\circ} 50.0' N$, $\lambda_c = 65^{\circ} 55.0' W$, измерили интервалы времени по поверхностным сигналам от двух пар станций 9930 – W и 9930 – Y. Получили соответственно $T = 13^{\circ} 94.4' 0$ и $T = 53^{\circ} 17.90' 0$ мкс. После предварительной обработки [7, с. 128] следующие результаты:

Точка	Широта N	Долгота W	№ линии положения
A	27° 56.4'	66° 00.0'	I
B	27° 40.5'	65° 00.0'	
C	28° 00.0'	65° 56.4'	
D	27° 00.0'	65° 10.1'	II

Требуется рассчитать обсервованные координаты места судна на момент наблюдений.

Решение. Будем полагать, что микрокалькулятор готов к приему исходных данных, а переключатель стоит в положении Г (градусы). Ниже приведен порядок решения задачи с сохранением номерации пунктов Инструкции.

Операции	Нажимаемые клавиши	Индикация
5.1. Ввод числа 60 в регистр 0 (для MK-56)	60 X → P 0	60.
5.2. Ввод числа 14 в регистр 1	14 X → P 1	14.
5.3. Ввод координат точек A, B, C, D в регистры d, e, ..., 6 соответственно	-	-

5.3.1. Ввод широты точки A в регистр d	27.564	K +	27.94
		C/П	27.94
Ввод долготы точки A в регистр C	66	66.	
		C/П	66.
5.3.2. Ввод широты точки B в регистр B	27.405	K +	27.675
		C/П	27.675
Ввод долготы точки B в регистр a	65	65.	
		C/П	65.
5.3.3. Ввод широты точки C в регистр 9	28.	28.	
		C/П	28.
Ввод долготы точки C в регистр 8	65.564	K +	65.94
		C/П	65.94
5.3.4. Ввод широты точки D в регистр 7	27	27.	
		C/П	27.
Ввод долготы точки D в регистр 6	65.101	K +	65.168333
		C/П	65.168333
6. Пуск программы на счет с адреса 06		C/П	4.1068622
7. Определение знака отрезка AE и		/-	16.678087
пуск программы с адреса 60		C/П	
8. Определение знака угла a_1 и пуск		/-	
программы с адреса 67		C/П	6.6689849-02
9. Определение знака разности долгот		/-	-6.6689979-02
и расчет обсервованной долготы		C/П	65.87331
10. Перевод обсервованной долготы в		K 6	65.52 39842
градусы и минуты			
11. Индикация обсервованной широты	P → X 2		
и перевод в градусы и минуты	K 6	27.55 45 ...	
Ответ: $\varphi_0 = 27^\circ 55.5' N$; $\lambda_0 = 65^\circ 52.4'$.			

5.2. Ведение промыслового счисления

При ведении промысла возникает необходимость частой смены курсов. При этом судоводитель выполняет большой объем графических работ на планшете или карте крупного масштаба. Использование микрокалькулятора существенно упрощает работу судоводителя.

Расчетные формулы:

$$\varphi_{c2} = \varphi_{c1} + \text{РШ}; \quad \lambda_{c2} = \lambda_{c1} + \text{РД};$$

$$\text{РШ} = \Delta T v_c \cos \text{ПУ} + \Delta T v_t \cos K_t;$$

$$\text{РД} = \Delta T (v_c \sin \text{ПУ} + v_t \sin K_t) \sec \varphi_{cp},$$

где φ_{c1} , λ_{c1} — счислимые координаты предыдущей точки; φ_{c2} , λ_{c2} — счислимые координаты последующей (текущей) точки; РШ, РД — прращение координат; v_c , v_t — скорость судна по лагу и скорость течения, уз;

ΔT — интервал времени плавания между точками 1 и 2, ч; K_t — направление (курс) течения, град; ПУ — путь при дрейфе, град; φ_{cp} — средняя широта, град.

Распределение исходных данных и промежуточных результатов по регистрам памяти и Программа 13 расчета счислимых координат приведены ниже.

Параметры	φ_{c1}	λ_{c1}	φ_{c2}	λ_{c2}	ΔT	v_c	ПУ	v_t	K_t	60
Регистры											
X → П 2	F	X → П 3	F	X → П 4	F 8	П → X 3	X	П → X 5	F	X ≠ 0	
42	25	43	25	44	1Г	63	12	65	57		
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
14	P → X 6	F 8	X	+ P → X 2	X	P → X 7	+	P → X 7	+	B↑	
14	66	1Г	12	10	62	12	67	13	0E		
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29		
P → X 0	+	X → П 0	↔	2	÷		F 8	F	F ÷	P → X 3	
60	10	40	14	02	13	11	1Г	23	63		
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39		
X	P → X 4	F 7	X	P → X 5 F X ≠ 0	41	P → X 6	F 7	X			
12	64	1C	12	65	57	41	66	1C	12		
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49		
+	P → X 2	X	P → X 7	÷	P → X 1	+	X → П 1	C/P	P → X 7		
10	62	12	67	13	61	10	41	50	50	67	
50	51	52	53	54							
+	C/P	БП									
13	10	50	51	49							

Инструкция по использованию программы 13

Нажимаемые клавиши

1. Включить микрокалькулятор, переключатель поставить в положение Г

2. Перенести микрокалькулятор в режим „Программирование“

3. Записать программу в память микрокалькулятора

4. Перевести микрокалькулятор в режим „Автоматическая работа“

5. Записать константу 60 в регистр 7 (или МК-56)

6. Перевести счислимую широту в градусы и занести в регистр 0 (если широта южная, то после перевода в градусы изменить знак, а затем занести в регистр 1)

7. Перевести счислимую долготу в градусы (если она западная, то изменить знак) и записать ее в регистр 1

8. Записать значение скорости течения (в узлах) в регистр 5

9. Записать направление течения K_t в градусах в регистр 6

10. Перед сменой курса занести в стековые регистры последовательно: путевой угол, скорость судна в узлах и время следования этим курсом в долях часа

11. Пустить программу на счет с адреса 00

12. Снять с индикатора значение долготы в градусах и долях градуса, перевести в градусы и минуты

F АВГ

60 X → П 7

φ^o . φ^o K +

/-/-

X → П 1

λ^o . λ^o K +

/-/- X → П 1

v_t X → П 5

K_t X → П 6

ПУ B + v_c B → ΔT

B/0 C/P

13. Извлечь из регистра 0 широту в градусах и перевести дробную часть в минуты

Пример. а) $T_c = 11^{\circ} 40' 40''$; $\varphi_c = 43^{\circ} 20.0' N$; $\lambda_c = 65^{\circ} 10.0' W$. Судно легло на курс $K_c = 65^{\circ}$, скорость судна по лагу $v_c = 12.3$ уз, течение не учитываем; б) $T_c = 17^{\circ} 45' 50''$, $K_c = 68^{\circ}$, течение учитываем; $v_t = 1.3$ уз, $K_t = 150^{\circ}$. Требуется определить счислимые координаты на $T_c = 17^{\circ} 45' 50''$.

Решение. Будем полагать, что микрокалькулятор готов к решению задачи, поэтому приступаем к вводу данных, сохраняя нумерацию операций, приведенных в Инструкции по использованию Программы 13.

Операции	Нажимаемые клавиши	Индикация
5. Ввод константы (для MK-56)	60 X → П 7	60.0
6. Ввод φ_c в регистр 0	43.20 K + X → П 0	44.333333
7. Ввод λ_c в регистр 1	65. 10 K + /- X → П 1	65.166667 -65.166667
8. Ввод $v_t = 0$ в регистр 5	CX X → П 5	0
9. Пропускаем, так как $v_t = 0$		
10. Ввод в стековые регистры	ПУ, v_c , ΔT_q	65 B ↑ 12,3 B ↑ 6.17
11. Пуск программы с адреса 00	B/0 C/P	-63.58368
12. Перевод λ_c в градусы и минуты	K 6	-63.3502
13. Извлечение φ_c из регистра 0	P → X 0	43.867892
и перевод в градусы и минуты	K 6	43.52.07
Ответ: на $T_c = 17^{\circ} 45' 50''$ $\varphi_c = 43^{\circ} 51.1' N$; $\lambda_c = 63^{\circ} 35.0' W$.		
Пример. По данным предыдущего примера рассчитать счислимые координаты на $T_c = 17^{\circ} 45' 50''$ с учетом течения и нового курса $K_c = 68^{\circ}$.		
Решение.		
Операции	Нажимаемые клавиши	Индикация
1. Ввод v_t в регистр 5	1,3 X → П 5	1.3
2. Ввод K_t в регистр 6	150 X → П 6	150.
3. Ввод ПУ, v_c , ΔT_q в регистры стека	68 B ↑ 12,3 B ↑ 1,67	68. 12,3 1,67
4. Пуск программы с адреса 00	B/0 C/P	63.117918
5. Перевод долготы в градусы и минуты	K 6	-63.0707
6. Извлечение широты из регистра 0	P → X 0	43.964793
7. Перевод широты в градусы и минуты	K 6	43.57.887 ...
Ответ: на $T_c = 17^{\circ} 45' 50''$ $\varphi_c = 43^{\circ} 57.9' N$; $\lambda_c = 63^{\circ} 07.1' W$.		

Краткие пояснения по структуре Программы 13

Адресс	Операция	Пояснение
00 ... 04	Запись исходных данных ΔT , v_c , ПУ из стековых регистров в регистры памяти 2, 3, 4 соответственно	
05 ... 07	Вычисление разности широт без учета течения	
08 ... 13	Расчет разности широт от влияния течения. Если течение не учитывается, то срабатывает команда условного перехода и команды 10 ... 13 выполняться не будут	

14 ... 18	Расчет алгебраической суммы разности широт в минутах (милях) и перевод в градусы и доли градуса
19 ... 22	Расчет широты φ_{opt} и запись ее в регистр 0
23 ... 28	Расчет секанса средней широты
29 ... 33	Расчет отстояния в милях без учета течения
34 ... 39	Расчет отстояния в милях от влияния течения. Если течение не учитывается, то командам адресам 37 ... 39 не выполняются, так как срабатывает команда условного перехода
40 ... 44	Расчет алгебраической суммы разности долгот в полярных градусах
45 ... 47	Расчет долготы λ_{opt} в градусах и долях градуса
49 ... 51	Фрагмент программы для перевода угла, выраженного в градусах и минутах, в градусы и доли градуса
53 ... 54	Команда безусловного перехода на адрес 49. Она позволяет упростить процедуру перевода долготы и доли градуса,

5.3. Плавание по дуге большого круга

Порядок расчета начального и промежуточных курсов. С помощью MK вычисляют: ортодромическое расстояние между начальной и конечной точками S , а также начальное ортодромическое направление A в полуокружестве; ортодромическую поправку, служащую для перевода начального ортодромического направления (полукругового счета) в локосодромическое

$$\psi_1 = \frac{S}{120} \operatorname{tg} \varphi_A \sin A_{opt1};$$

локосодромическое направление и соответственно курс по формулам

$$A_{loc1} = A_{opt1} + \psi_1; \quad K_1 = A_{loc1} (\text{NE}) = 360^\circ - A_{loc1} (\text{NW});$$

ортодромическое направление для следующего курса:

$$A_{opt2} = A_{loc1} + \psi_1;$$

широту первой точки поворота

$$\varphi_2 = \varphi_A + S \cos A_{loc1},$$

где φ_A — широта начальной точки; S — длина хорды, град.; A_{loc1} — локосодромическое направление от начальной точки.

Ортодромическая поправка ψ_2 для расчета локосодромического направления от первой точки поворота

$$\psi_2 = \frac{S}{120} \operatorname{tg} \varphi_2 \sin A_{opt2};$$

локсодромическое направление и курс при плавании по второй хорде

$$A_{\text{лок}2} = A_{\text{орт}2} + \psi_2;$$

$$K_2 = A_{\text{лок}2} (\text{NE}) = 360^\circ - A_{\text{лок}2} (\text{NW}).$$

При мечания. 1. Расчет локсодромического направления и курсов для последующих хорд осуществляется аналогично.

2. Прокладка хорд производится следующим образом. От исходной точки прокладывают курс, по нему – локсодромическое расстояние S . Из конца данного отрезка прокладывают следующий курс, а по нему – локсодромическое расстояние S и т. д.

3. При наличии большой невязки, обнаруженной в процессе плавания, необходимо повторить расчеты. Если же невязка будет незначительная ($3 \dots 5$ миль), то новый курс следует проложить от обсервованной точки параллельно старого курса.

Расчетные формулы определения ортодромического расстояния и начального ортодромического направления. Ортодромическое расстояние для плавания на сфере вычисляют по формуле

$$\cos S_{\text{орт}} = \sin \varphi_A \sin \varphi_B + \cos \varphi_A \cos \varphi_B \cos \text{РД},$$

где $S_{\text{орт}}$ – расстояние по ортодромии между начальным и конечным пунктами плавания, град; φ_A , φ_B – широты начального и конечного пунктов плавания, град; РД – разность долгот, град.

Следует иметь в виду, что широта φ_A начального пункта считается всегда положительной, широта конечного пункта φ_B может быть как положительной, (если φ_B одноименна с φ_A), так и отрицательной (если φ_B разноименна с φ_A).

Начальное ортодромическое направление (полукругового счета) вычисляют по формуле

$$\cos A_{\text{орт}} = (\sin \varphi_B - \sin \varphi_A \cos S_{\text{орт}}) / \cos \varphi_A \sin S_{\text{орт}},$$

где $A_{\text{орт}}$ – начальное ортодромическое направление в полуокружном счете.

Первая буква $A_{\text{орт}}$ всегда одноименна с φ_A , а вторая – с разностью долгот.

Программирование задачи и вычисление по программе. Распределим исходные данные и константы по регистрам памяти: число 60 – в регистр 0; $\varphi_A = 1$; $\varphi_B = 2$; РД = 3; $S = 6$, где S – плавание по хорде, выраженное в градусах дуги;

Промежуточные результаты занесем в следующие регистры памяти: S – в регистр 4; $A_{\text{орт}1}$ – в регистр 5.

Вычисление текущей ортодромической поправки ($\psi = 0,5S^\circ \operatorname{tg} \varphi_i$) оформим в виде подпрограммы, которую запишем с адреса 37.

Программу вычисления $S_{\text{орт}}$ и $A_{\text{орт}}$ запишем по адресам 04 ... 35.

Напомним, что программа по адресам 00 ... 03 служит для перевода угла, выраженного в градусах и минутах, в градусы. Приведем Программу расчета элементов дуги большого круга.

Программа 14									
00	01	02	03	04	05	06	07	08	
$\Pi \rightarrow X_0$	\div	$+$	C/II	$\Pi \rightarrow X_2$	F 7	$\Pi \rightarrow X_1$	F 7	X_0	
–	60	13	10	50	62	1C	61	1C	12
09	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$\Pi \rightarrow X_1$	F 8	$\Pi \rightarrow X_2$	F 8	$\Pi \rightarrow X_3$	F 8	X	X	\div	F 5
61	1Г	62	1Г	63	1Г	12	12	10	1–
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
$X \rightarrow \Pi_4$	F 8	$\Pi \rightarrow X_1$	F 7	X	$\Pi \rightarrow X_2$	F 7	\leftrightarrow	–	$\Pi \rightarrow X_1$
44	1Г	61	1C	12	62	1C	14	11	61
29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
F 8	$\Pi \rightarrow X_4$	F 7	X	\div	F 5	$X \rightarrow \Pi_5$	C/II	$\Pi \rightarrow X_6$	2
1Г	64	1C	12	13	1–	45	50	66	02
39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
\div	$\Pi \rightarrow X_1$	F 9	X	$\Pi \rightarrow X_5$	F 7	X	B ↑	$\Pi \rightarrow X_5$	+
13	61	1E	12	65	1C	12	0E	65	10
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
B ↑	$X \rightarrow \Pi_7$	F 8	$\Pi \rightarrow X_6$	X	$\Pi \rightarrow X_1$	+	$X \rightarrow \Pi_1$	F	+
0E	47	1Г	66	12	61	10	41	25	10
59	60	61							
X → II 5	$\Pi \rightarrow X_7$	C/II							
45	–67	50							

Инструкция по работе с Программой 14

Нажимаемые клавиши	
1. Включить МК	
2. Передать в режим „Программирование“	F ПРГ
3. Занести программу	
4. Передать в режим „Автоматическая работа“	
5. Занести исходные данные в регистры памяти:	F АВТ
5.1. Число 60 – в регистр 0 (для MK-56)	
5.2. φ_A	1 *
5.3. φ_B	2
5.4. РД	3
5.5. S°	6
6. Вычислить $S_{\text{орт}}$ и $A_{\text{орт}}$	BП 04 С/П
7. Вычислить $A_{\text{лок}}$ для первой хорды	BП 37 С/П
8. Определить значение ψ_1	$\Pi \rightarrow X_1$
9. Вычислить $A_{\text{лок}}$ для второй хорды	BП 37 С/П
10. Определить значение ψ_2	$\Pi \rightarrow X_1$
При мечание.	Последующие значения φ_i и $A_{\text{лок}i}$ вычисляются аналогично, т. е. выполнением операций, указанных впп. 9 ч 10.
Пример.	Дано: $\varphi_A = 48^\circ 10' N$; $\lambda_A = 6^\circ 20' W$; $\varphi_B = 22^\circ 50' N$; $\lambda_B = 82^\circ 25' N$. Требуется выполнить расчеты для плавания по дуге большого круга способом хорд, если длина хорды S равна 120 мильям.
Решение.	Выполним действия в соответствии с Инструкцией.
1. Включаем МК	Нажимаемые клавиши
2. Переходим в режим „Программирование“	F ПРГ

5. Заносим исходные данные и константы в соответствующие регистры:

5.1. Число 60 – в регистр 0	60 X → П 0	60.
5.2. φ_A " 1	48.10 K + X → П 1	48.166667
5.3. φ_B " 2	22.50 K + X → П 2	22.833333
5.4. РД " 3	– 82.25 K + 6.20 K +	82.416667 6.333333
5.4.1. Вычисляем РД	– –	76.083334 76.083334
5.4.2. РД – в регистр 3	X → П 3	76.083334
5.5. S° " 6	2 X → П 6	
6. Вычисляем $S_{\text{орт}}$ и $A_{\text{орт}}$:	БП 04 С/П	84.02
7. Вычисляем $A_{\text{лок}}$ для первой хорды	БП 37 С/П	85.13
8. Определяем значение φ_1 :	P → X 1 K 6	48.33631° 48.20 2°
9. Вычисляем $A_{\text{лок}}$ для второй хорды	БП 37 С/П	87.37
10. Определяем φ_2 :	P → X 1 K 6	48.428197° 48.25°
11. Определяем $A_{\text{лок}}$ для третьей хорды	БП 37 С/П	89.62
12. Находим φ_3 :	P → X 1 K 6	48.441631° 48.22 9°

П р и м е ч а н и я. 1. Аналогичным способом рассчитывают искомые значения для последующих хорд. Имеет смысл рассчитывать не более 3–4 хорд, так как в случае невязок, неизбежно возникающих при плавании, особенно в океане, потребуются новые расчеты.

Если при вычислении очередного локодромического направления произошел сбой, т. е. допущена ошибка, то необходимо занести φ_A в регистр 1, а $A_{\text{орт}}$ – в регистр 5. После этого повторить весь цикл вычислений, начиная с п. 7, т. е. нажать клавиши БП 37 С/П и получить $A_{\text{лок}}$ для очередной хорды.

2. Для перевода локодромических направлений в курсы используют соотношения: $K = A_{\text{NE}}$; $K = 360^\circ - A_{\text{NW}}$.

Таким образом, получим:

$A_{\text{лок}}$, град	85.1	87.4	89.6	91.9	94.1	96.4
K	274.9	272.5	270.4	268.1	265.9	263.6

Для индикации нажмем клавиши $P \rightarrow X 4$, после чего получим 64.088797°. Для перевода в мили нажмем клавиши 60 X, тогда $S = 3845,3$ миль.

Для определения выигрыша воспользуемся табл. 23 МТ-75. Получим $\Delta S = 29$ миль.

После расчета истинных курсов прокладывают их, начиная с точки A , а по ним откладывают расстояния $S = 120$ миль.

Для расчета выигрыша в расстоянии (ΔS) можно составить программу, используя какую-либо приближенную формулу. Однако учитывая ограниченную память МК, с одной стороны, с другой, – простоту решения этой приближенной задачи с помощью табл. 23 МТ-75, которая всегда под рукой, целесообразнее воспользоваться приведенной рекомендацией.

5.4. Расчет девиации магнитного компаса

Расчетные формулы:

$$d = A + B \sin K + C \cos K + D \sin 2K + E \cos 2K,$$

где d – девиация магнитного компаса, град; A, B, C, D, E – коэффициенты, вычисляемые по формулам:

$$A = 1/8 \sum_{l=1}^8 \delta_l; B = 0,25 [(\delta_3 - \delta_1) + 0,71(\delta_2 + \delta_4 - \delta_6 - \delta_8)];$$

$$C = 0,25 [(\delta_1 - \delta_5) + 0,71(\delta_2 - \delta_4 - \delta_6 + \delta_8)];$$

$$D = 0,25 \cdot (\delta_2 - \delta_4 + \delta_6 - \delta_8);$$

$$E = 0,25 \cdot (\delta_1 - \delta_3 + \delta_5 - \delta_7);$$

$\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_8$ – значения девиации, полученной из наблюдений на курсах, с интервалом 45° , начиная от 0.

Будем полагать, что коэффициенты целесообразно вычислять в обычном режиме. Что касается девиации, то она вычисляется по Программе 15, размещение исходных данных приведено ниже:

Параметры	A	B	C	D	E	ΔK	K	14	8	δ
Регистры	d	c	b	a	9	8	7	0	1	$X/1$

Программа 15

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
K X → П 0	C/П	P → X 8	P → X 7	+	X → П 7	B ↑	F 7	P → X c	X
L 0	50	68	67	10	47	0E	1C	6	12
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
↔ F 8	P → X b	X	+	P → X 7	2	X	B ↑	F 7	
14	1Г	6	12	10	67	02	12	0E	1C
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
P → X a	X	↔	F 8	P → X 9	X	+	+	P → X d	+
6-	12	14	1Г	69	12	10	10	6F	10
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
X → П 1	C/П	БП	02						
41	50	51	02						

Инструкция по использованию Программы 15

Нажимаемые клавиши	
1. Включить микрокалькулятор, переключатель положение Г (градусы)	-
2. Перейти в режим „Программирование“	F ПРГ
3. Записать программу в память микрокалькулятора	F АВТ
4. Перейти в режим „Автоматическая работа“	-
5. Занести число 14 в регистр памяти 0	14 X → П 0
6. Занести коэффициенты A, B, C, D, E в регистры	A B/0 С/П E B/0 С/П
d. 9 соответственно	E B/0 С/П
7. Занести $\Delta K = 10^\circ$ в регистр 8	10 B/0 С/П
8. Произвести очистку регистра 7	Cx B/0 С/П
9. Вычислить значение девиации для диапазона K = $10 - 360^\circ$	БП 02 С/П

Причина. После завершения очередного цикла вычислений на индикаторе высвечивается значение девиации компаса в градусах, оно же хранится в регистре 1. Значение текущей величины K хранится в регистре 7.

Пример. Из наблюдений получены следующие значения девиации:

K°	0	45	90	135	180	225	270	315
δ	1,0	0,8	0,0	-1,0	-0,8	0,6	1,4	1,2

Требуется рассчитать таблицу девиации компаса.

Решение. Вычислим значения коэффициентов A . . . E:

$$\begin{aligned}A &= 1/8 \cdot (1,0 + 0,8 - 1,0 - 0,8 + 0,6 + 1,4 + 1,2) = 0,4^\circ; \\B &= 1/4 \cdot [-1,4 + 0,71(0,8 - 1,0 - 1,2)] = -0,7^\circ; \\C &= 1/4 \cdot [(1,0 + 0,8) + 0,71(0,8 + 1,0 - 0,6 + 1,2)] = 0,9^\circ; \\D &= 1/4 \cdot (0,8 + 1,0 + 0,6 - 1,2) = 0,3^\circ; \\E &= 1/4 \cdot (1,0 - 0,8 - 1,4) = -0,3^\circ.\end{aligned}$$

2. Выполним действия, указанные в пп. 1 . . . 8 Инструкции.

3. Выполним п. 9 Инструкции:

Нажимаемые клавиши		Индикация	
3.1	C/П (K = 10°)	9,85	-01
3.2	C/П (K = 20°)	9,69	-01
3.3	C/П (K = 30°)	9,39	-01
3.4	C/П (K = 40°)	8,82	-01
3.10	C/П (K = 100°)	-2,66	-01

Примечания. 1. Аналогично выполняются все остальные циклы вычислений.

2. Приращение ΔK выбирается самим пользователем. При $\Delta K = 45^\circ$ можно произвести контроль правильности расчета, так как полученные значения девиации должны быть равны соответствующим значениям наблюдаемых величин.

В Программе 16 дан расчет коэффициентов девиации магнитного компаса.

Программа 16

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
KX → П 0	C/П	Cx	KX → П 0	+	FL2	03	8	÷	KX П 0
L 0	50	0F	F0	10	5L	03	08	13	0
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Π → X с	Π → X a	+	Π → X 8	-	Π → X 6	-	Π → X 1	X	Π → X b
6C	6-	10	68	11	66	11	61	12	6L
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
+	Π → X 7	-	4	÷	KX → П 0 П → X с П → X a	-	Π → X 8		
10	67	11	04	13	L 0	6C	6-	11	68
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
-	Π → X 6	+	Π → X 1	X	Π → X d	+	Π → X a	-	4
11	66	10	61	12	6Г	10	6-	11	04
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
÷	KX → П 0 П → X 6	Π → X a	-	Π → X 8	+	Π → X 6	-	4	
13	L 0	6	6-	11	68	10	66	11	04
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
Π → X d	Π → X b	-	Π → X 9	+	Π → X 7	-	4	÷	
13	6Г	6L	11	69	10	67	11	04	13
60	61								
X → П d	C/П								
4Г	50								

Параметры $\delta_1, \dots, \delta_8, A, B, C, D, E, 8, 0,71, 14$

Регистры d . . . 6 5 4 3 Y X 2 1 0

Причина. Многоточие означает пропуск символов $\delta_1, \dots, \delta_8, A, B, C, D, E$

Инструкция по использованию программы. После ввода программы и перехода в режим „Автоматическая работа“ выполняют следующие операции:

заносят число 14 в регистр 0;
заносят девиации $\delta_1, \dots, \delta_8$ в регистры d . . . 6 последовательно внесением значения девиации в регистр X (на индикатор) и нажатием клавиши B/0 С/П;

заносят снова число 14 в регистр 0;
записывают число 8 в регистр 2;
записывают число 0,71 в регистр 1;
вычисляют коэффициенты A, B, C, D, E нажатием клавиши C/П (пуск программы в адрес 02).

После завершения вычислений на индикаторе высвечивается коэффициент E. Для индикации коэффициента D необходимо нажать клавишу F(2). Коэффициенты A, B, C извлекаются из регистров памяти 5, 4, 3 соответственно.

Ниже приведены результаты решения примера:

K°	0	45	90	135	180	225	270	315	A	B	C	D	E
δ	1,0	0,8	0	-1,0	-0,8	0,6	1,4	1,2	0,4	-0,7	0,9	0,3	-0,3

5.5. Расчет элементов движения встречного судна по данным радиолокатора

В правиле 19 (д) МПСС-72 указывается, что если при ограниченной видимости на экране радиолокатора (РЛС) появился сигнал другого судна и существует опасность столкновения, то необходимо предпринять своевременные действия для выхода из создавшейся ситуации. В предлагаемой методике принимается, что допустимым сближением является расстояние $D_{\text{зад}}$, равное 2–3 милям. Программой предусмотрена такая последовательность расчета: сначала по данным двух наблюдений за интервалом времени 3 мин вычисляется ожидаемое кратчайшее расстояние сближения $D_{\text{кр}}$. Если $D_{\text{кр}} < D_{\text{зад}}$ меньше 2–3 миль, то вычисления продолжаются вплоть до расчета курса, на который должно лечь судно спустя 3 мин после вторых наблюдений.

Расчетные формулы:

$$\beta^o = \frac{\Pi_1^0 \approx \Pi_2^0}{D_1/D_2 - 1}; \quad D_{\text{кр}} = D_1 \sin \beta;$$

$$\beta_0 = \Pi_1 \approx K_c; \quad D_{1-2} = \frac{D_1 - D_2}{\cos \beta}; \quad D_{1-3} = 2 \cdot D_1 - 2;$$

$$v_B = (D_{1-2}^2 + v_c^2 - 2 \cdot D_1 - 2 v_c \cos \beta)^{1/2};$$

$$\sin q = \frac{D_{1-2}}{v_B}; \quad \sin q_p = D_{\text{зад}}/D_3;$$

$$D_3 = D_1 - D_{1-3}; \quad K_B = q \pm K_c \pm 180^\circ;$$

$$K = \Pi_2 + (\Pi_1 - \Pi_3) + q_p + 180^\circ; \quad \sin \theta = \sin(K - K_B) \frac{v_B}{v_c};$$

$$K_{c1} = \Pi_2 + (\Pi_1 - \Pi_2) + \theta + q_p.$$

Здесь Π_1 , Π_2 , D_1 , D_2 – пеленги и дистанции в моменты времени первых и вторых наблюдений соответственно, град, мили; $D_{\text{кр}}$ – кратчайшее расстояние сближения между судами, мили; D_{1-2} – относительная скорость сближения, уз/3 мин.; D_{1-3} – расстояние по линии относительного движения (ЛОД) от первой точки до точки изменения ЛОД, мили; v_c – скорость судна, уз/3 мин; v_B – скорость встречного судна, уз/3 мин; $D_{\text{зад}}$ – заданное кратчайшее расстояние сближения между судами; K_B – курс встречного судна, град; K_{c1} – курс судна, обеспечивающий расхождение с встречным судном на заданном расстоянии $D_{\text{зад}}$; углы β , β_0 , q показаны на рис. 9, а, и угол q – на рис. 9, б.

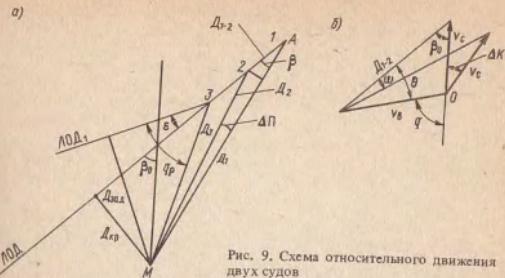


Рис. 9. Схема относительного движения двух судов

При расчете курса встречного судна K_B необходимо учесть следующие правила. Судно обнаружено справа ($\Pi_2 > K_c$): -180° при $q + K_c > 180^\circ$; $+180^\circ$ при $q + K_c < 180^\circ$. Судно обнаружено слева ($\Pi_2 < K_c$): -180° при $|q - K_c| < 180^\circ$; $+180^\circ$ при $|q - K_c| > 180^\circ$.

Если получено отрицательное значение, нужно изменить знак числа нажатием клавиши $-/-$.

Для расчета элементов движения встречного судна и курса расхождения с ним составлена Программа 17. Размещение исходных данных приведено в табл. 5.2.

Таблица 5.2. Размещение исходных данных и промежуточных результатов для расчета курса расхождения со встречным судном

Параметр	Обозначение (значение)	Символ регистра
Первая дистанция	D_1	0
Первый пеленг	Π_1	1
Вторая дистанция	D_2	2
Второй пеленг	Π_2	3
Курс своего судна	K_c	4
Скорость своего судна	v_c	5
Относительная скорость	D_{1-2}	6
Модуль разности пеленгов	$\Pi_1 \approx \Pi_2$	7
Вспомогательный угол	β, β_0	8
Константа	180	9
Кратчайшее расстояние	$D_{\text{кр}}$	a
Скорость встречного судна	v_B	b
Вспомогательный угол	q	c
Разность пеленгов	$\Pi_2 - \Pi_1$	d
Вспомогательный угол	θ	a
Сумма углов	$\theta + \Pi_2 + (\Pi_2 - \Pi_1)$	d

Программа 17

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
P → X 3	P → X 1	X → II d	F X	F —	X → II 7	P → X 2 II	P → X 0 P → X 2		
63	61	11	4Г	22	21	47	62	60	62
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
—	X → II 6	÷	X → II 8	F 7	P → X 0	X	X → II a	C/II	
11	46	13	12	48	1C	60	12	4-	50
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
P → X 6	P → X 8	F 8	÷	X → II 6	X	P → X 5	X	+	P → X 1
66	68	11	13	46	22	65	22	10	61
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
P → X 4	—	F X	—	P → X 8	+	X → II 8	F 8	2	X
64	11	22	21	68	10	48	11	02	12
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
P → X 5	X	P → X 6	X	—	F —	X → II 6	P → X 8	F 7	P → X 6
65	12	66	12	11	21	4	68	1C	66
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
X	P → X 6	÷	F 4	X → II c	3	P → X 2 II	P → X 6	—	÷
12	66	13	19	4C	03	62	66	11	13
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
F 4	X → II a	P → X 3	P → X d	+	+	X → II 7	P → X c P → X 4	C/II	
19	4-	63	6Г	10	10	47	6C	64	50
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
—	P → X 9	+	F 7	P → X b	P → X 5	÷	X	F 4	P → X 7
11	69	10	1C	6	65	13	12	19	67
80	81								
+	C/II								
10	50								

Краткое пояснение по структуре Программы 17

Адрес команд

- 00 ... 03 Вычисление разности пеленгов
- 04 ... 06 Вычисление модуля разности пеленгов и запись в регистр 7
- 07 ... 14 Вычисление вспомогательного угла β и занесение его в регистр 8; попутно вычисляется разность $D_1 - D_2$, которая записывается в регистр 6
- 15 ... 19 Вычисление D_{kp} в милях и запись его в регистр 3
- 20 ... 24 Вычисление относительной скорости (мили/3 мин) $D_1 - 2$ и запись в регистр 6
- 24 ... 46 Вычисление скорости встречного судна (мили/3 мин) и занесение значения в регистр. Попутно (команды по адресам 29 ... 36) вычисляется вспомогательный угол β_0 и его значение записывается в регистр 8, где до этого находилось значение угла β
- 47 ... 54 Вычисляется угол q' и его значение записывается в регистр 0
- 55 ... 61 Вычисляется угол q_p и записывается в регистр а, в котором до этого находилось значение D_{kp}
- 62 ... 66 Вычисляется угол $q + P_2 + (P_1 - \Pi_1)$ и записывается в регистр 7, в котором до этого находилось значение угла $\Pi_1 - \Pi_2$; Подготовительный цикл для определения значения $q \pm K_c$: из регистра С извлекается q , из регистра 4 — K_c , после чего микрокалькулятор прекращает вычисления (см. п. 2 примечания)
- 67 ... 69 Вычисление курса расхождения K_{c1} и его индикация
- 70 ... 81 Вычисление курса расхождения K_{c1} и его индикация

Операция

П р и м е ч а н и я. 1. Команды по адресам 04, 05 и 32, 33 служат для определения модуля разности пеленгов и курсового угла обнаруженного судна.

2. После выполнения команды по адресу 69 микрокалькулятор прекращает вычисления, на индикаторе высвечивается значение K_c . Теперь необходимо вручную вычислить курс встречного судна (см. п. 9 Инструкции по использованию Программы 17) и после этого перейти к выполнению последней части программы.

Инструкция по использованию Программы 17

Нажимаемые клавиши

- | | |
|---|----------------------------------|
| 1. Включить микрокалькулятор, переключатель поставить в положение Г | — |
| 2. Перевести микрокалькулятор в режим „Автоматическая работа” | F ПРГ |
| 3. Занести программу в память микрокалькулятора | — |
| 4. Перевести микрокалькулятор в режим „Автоматическая работа” | F АВТ |
| 5. Занести исходные данные в соответствующие регистры памяти микрокалькулятора: | |
| 5.1. Курс своего судна в регистр 4 | K _c X → II 4 |
| 5.2. Скорость своего судна, мили/ч (деленные на 20) в регистр 5 | v _c B ↑ 20 ÷ X → II 5 |
| 5.3. Первую дистанцию (в милях) в регистр 0 | D ₁ X → II 0 |
| 5.4. Первый пеленг в регистр 1 | P ₁ X → II 1 |
| 5.5. Вторую дистанцию (в милях) в регистр 2 | D ₂ X → II 2 |
| 5.6. Второй пеленг в регистр 3 | P ₂ X → II 3 |
| 6. Пуск программы с адреса 00 | B/0 C/P |
| 7. Снять значение D_{kp} . Если D_{kp} меньше 3 миль, выполнить п. 8. Истрикция | — |
| 8. Пуск программы с адреса 20 | C/P |
| 9. Убедиться в том, что после завершения вычислений на индикаторе высветилось значение курса своего судна (K_c), и приступить к вычислению курса встречного судна, используя следующие правила: | |
| 9.1. Встречное судно справа | + |
| Встречное судно слева | - |
| 9.2. Полученное значение меньше 180 | P → X 9 + |
| Полученное значение больше 180 | P → X 9 - |
| 9.3. Полученное значение по модулю меньше 180 | P → X 9 - |
| Полученное значение по модулю больше 180 | P → X 9 + |
| 9.4. Если число (K_b) отрицательное, то изменить знак | /-/ |
| 10. Пуск программы с адреса 70 | C/P |
| 11. Снять с индикатора значение курса расхождения со встречным судном | — |
| 12. Извлечь из регистра скорость встречного судна и перевести в узлы | P → X b |

П р и м е р. Судно следует курсом $K_c = 48^\circ$, скорость $v_c = 15$ уз. В $T_c = 9$ ч 15 мин на экране радиолокатора обнаружена цель. Произведение измерения:

T_c	Дистанция, мили	Пеленг, град
9 ч 18 мин	9,1	16,6
9 ч 21 мин	8,0	17,6

Требуется рассчитать элементы движения встречного судна и, если необходимо, рассчитать курс судна, на который следует левь в 9 ч 24 мин, с тем чтобы кратчайшее расстояние сближения между судами D_{kr} было не менее 3 миль.

Решение. Будем полагать, что программа занесена в память микрокалькулятора, который находится в режиме „Автоматическая работа”, переключатель – в положении Г. Далее предположим, что некоторые исходные данные уже занесены в соответствующие регистры памяти: курс судна $K_c = 48^\circ$ – в регистр 4; скорость судна $v_c = 0.75 \text{ уз}/3 \text{ мили}$ – в регистр 5; константа 180 – в регистр 9.

Введем наблюдаемые данные в соответствующие регистры памяти:

Параметр	Регистр	Нажимаемые клавиши
D_1	0	9,1 X → П 0
P_1	1	16,6 X → П 1
D_2	2	8 X → П 2
P_2	3	17,6 X → П 3

После ввода данных в регистры памяти 0 ... 3 производим пуск программы на счет с адреса 00 (нажимаем клавиши В/О С/П). В результате выполнения части программы до адреса 19 вычисляется кратчайшее расстояние D_{kr} в милях и индицируется в регистре X. В нашем примере $D_{kr} = 1,15$ мили. Так как $D_{kr} < 3$ мили, продолжаем вычисления нажимая клавиши С/П. После завершения выполнения части программы с адреса 20 по адрес 69 на индикаторе высвечивается значение K_c , а в регистре Y будет храниться значение угла q .

Руководствуясь Инструкцией по использованию Программы 17, рассчитаем курс встречного судна (цели).

Нажимаемые клавиши	Индикация
– (так как цель слева)	32.5
P → X 9	180.
– ($q - K_c < 180$)	-147.48
/–	147.48

Следовательно, $K_B = 147,5^\circ$.

После этого рассчитываем K_{c1} :

С/П

Ответ: $K_{c1} = 110,2^\circ$.

Таким образом, чтобы разойтись с данной целью на расстоянии $D_{зад} = 3$ мили, судно должно к моменту времени $T_c = 9 ч 24 \text{ мин}$ левь на курс $110,2^\circ$.

Примечание. Для индикации скорости цели необходимо извлечь число из регистра b (нажать клавиши П → X b), а затем умножить его на 20. В результате получим скорость в узлах.

В нашем примере

P → X b

20 X

7.025

14.05 (уз)

Теперь рассмотрим пример, когда цель расположена справа. Дано: $K_c = 27^\circ$; $v_c = 14,5 \text{ уз}$; $T_c = 10 ч 26 \text{ мин}$; $P_1 = 38^\circ$; $D_1 = 11,5 \text{ уз}$; $T_2 = 10 ч 29 \text{ мин}$; $P_2 = 36^\circ$; $D_2 = 10,0 \text{ мили}$. Требуется рассчитать D_{kr} , а при необходимости K_{c1} .

Решение. Предположим, что, как и в предыдущем случае, микрокалькулятор готов к решению задачи.

Нажимаемые клавиши	Индикация
27 X → П 4 (K _c)	27
14,5 B ↑	14,5
20	20
÷ (v _c /3 M)	7,25 – 01
X → П 5	7,25 – 01
180 X → П 9 (если до этого в регистре 9 находилось 180. другое число)	180
11,5 (D ₁) X → П 0	11,5
38 (P ₁) X → П 1	38.
10 (D ₂) X → П 2	10.
36 (P ₂) X → П 3	36.0
B/0 C/P (D _{kr})	2,65
(так как D < 3, продолжим вычисления)	
C/P	27.
+ (цель справа)	70,06
P → X 9	180.
+ (цель справа)	250,06
C/P (K _{c1})	34,99
P → X 6 20 X (v _b , уз)	18,6

Ответ: $D_{kr} = 2,65$ мили; $K_{c1} = 35^\circ$; $v_b = 18,6 \text{ уз}$.

Примечания. 1. Чтобы разойтись с целью на заданном расстоянии ($D_{зад} = 3$ мили), необходимо, чтобы к моменту времени $T_c = 10 ч 32 \text{ мин}$ судно легло на курс $K_{c1} = 35^\circ$.

2. Если скорость относительного движения судна и цели определяется за 6 мин, то при вводе v_c в регистр 5 необходимо скорость в узлах разделить на 10. Соответственно при переводе v_c в узлы необходимо число, извлеченное из регистра B, умножить на 10.

3. Для повторного вычисления курса расходования со встречным судном нет необходимости выполнять всю программу. Достаточно извлечь на индикатор угол θ из регистра А, нажать клавиши БП 62 С/П, на индикаторе высвечивается значение K_B . После этого необходимо вычислить значение K_B , а затем нажать клавишу С/П. После завершения вычислений получим значение K_{c1} .

5.6. Расчет средней квадратической погрешности результатов наблюдений

Общие положения. В соответствии с ГОСТ 16263-70 „Термины и определения” погрешность измерения считается – отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. Все погрешности делят на случайные, систематические и грубые.

Случайная погрешность – это составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины.

Систематическая погрешность – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерной, изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.

Грубая погрешность – погрешность измерений, существенно превышающая ожидаемую погрешность при данных условиях наблюдений.

Инструментальная погрешность измерений – составляющая погрешности измерения, зависящая от погрешности применяемых средств измерений.

Погрешность метода измерений – составляющая погрешности измерений, происходящая от несовершенства метода измерений.

В дальнейшем будем рассматривать только случайные погрешности измерений, подчиненные нормальному закону распределения.

Моделирование погрешностей нормального распределения. Для проведения качественного эксперимента в учебных целях [3, с. 76–77] необходимо уметь воспроизводить случайные погрешности нормального распределения. Для этого рекомендуется следующий прием: сначала получить числа равномерного распределения и посредством их числа (погрешности) нормального распределения [2].

Исходные формулы:

$$v_{n+1} = D(1/v_n + \pi); \quad (5.1)$$

$$\Delta_n = [2\ln(1/v_{n+1})]^{0.5} \sin 2\pi v_n, \quad (5.2)$$

где v_n, v_{n+1} – предыдущие и последующие положительные числа равномерного распределения в интервале $0 \dots 1$; $D(\)$ – дробная часть числа, заключенного в скобках; Δ_n – случайная погрешность, подчиненная нормальному закону распределения.

Отметим, что с помощью формулы (5.2) генерируется серия чисел с характеристиками $\sigma = 1, \Delta_0 = 0$, где Δ_0 – погрешность арифметического среднего (математическое ожидание).

Расчет чисел нормального распределения представлен в Программе 18.

Программа 18

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
Π → X 0	1	1	X	F π	+	X → Π d	K Π → X d	→	Π → X d
60	01	01	12	20	10	4Γ	ΓΓ	14	6Γ
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
–	Π → X 0	2	X	F π	X	F 7	+	X → Π 0	F 1/X
11	60	02	12	20	12	1C	14	40	23
20	21	22	23	24	25				
F ln	2	X	F –	X	C/Π				
18	02	12	21	12	50				

Инструкция по использованию программы 18

Нажимаемые клавиши

- | | |
|--|-------------------|
| 1. Включить МК, переключатель поставить в положение P | – |
| 2. Перевести МК в режим „Программирование” | F ПРГ |
| 3. Записать программу | – |
| 4. Перевести МК в режим „Автоматическая работа” | F АВТ |
| 5. Занести случайное (положительное) число, меньшее 1, в регистр 0 | 0.1234
X → Π 0 |
| 6. Пустить программу на счет адреса 00 | B/O C/P |

Примечания. 1. После завершения первого цикла вычислений на индикаторе появится число 8.25 ... -01, т. е. $\Delta_1 = 0.825$.

2. Последующие циклы вычислений после нажатия клавиши дают следующие результаты: 0.066; -1.654; 0.0628; -0.14267; 0.2624; -0.408.

3. Циклы вычислений длиятся около 12 с. Если на этот период вычисления не завершатся, то необходимо нажать клавишу С/П, что приведет к аварийной остановке процесса вычислений. После этого необходимо найти ошибку в программе и возобновить вычисления.

4. Предложенная программа позволяет рассчитать 6000 неповторяющихся чисел равномерного распределения, а на их основе – соответственно числа нормального распределения.

Расчет средней квадратической погрешности результатов наблюдений (1-й вариант). Исходные формулы:

$$l_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i; \quad v_i = l_i - l_0;$$

$$m_0 = [\sum_{i=1}^n v_i^2 / (n-1)]^{0.5}; \quad m_0 = m/\sqrt{n},$$

где l_i – измеренные величины; n – количество измеренных величин, содержащихся в данной серии; m – средняя квадратическая погрешность одиночного измерения; m_0 – средняя квадратическая погрешность арифметического среднего; v_i – отклонения от арифметического среднего.

Ниже представлены табл. 5.3 с исходными данными и Программа 19 для расчета средней квадратической погрешности.

Таблица 5.3. Размещение исходных данных и результатов

Параметр	Обозначение	Символ регистра
Измеренная величина	l_i	d, c ... 5
Количество измеренных величин	n	1,2
Константа 14	–	0
Сумма измеренных величин	$\sum_{i=1}^n l_i$	3
Сумма квадратов отклонений	$\sum_{i=1}^n v_i^2$	4
Арифметическое среднее	l_0	X
Средняя квадратическая погрешность арифметического среднего	m_0	Y
Средняя квадратическая погрешность одиночного измерения	m	Z

Программа 19

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
X → П 0	C/P	П → X 3	K П → X 0	+ X → P 3	F L 1	03	П → X 2	X → P 1	
L 0	50	63	T 0	10	43	5L	03	62	41
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
÷ X → P 3	1	4	X → P 0 П → X 3	K П → X 0	-	X	P → X 4		
13	43	01	04	40	63	F 0	11	22	64
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
+ X → P 4	F L 1	15	P → X 2	1	-	+	F -	B +	
10	44	5L	15	62	01	11	13	21	0E
P → X 2	31	32	33	34	35	36	37	38	39
62	21	13	63	01	04	40	0Г	43	44
F	P → X 2	X → P 1	F	C/P					
25	62	41	25	50					

Краткие пояснения к программе

Диапазон команд

- | Операция |
|--|
| 00 ... 01 Косвенный способ записи измеренных величин в адресуемые регистры |
| 02 ... 07 Расчет суммы измеренных величин посредством команды организации циклов, запись полученной суммы в регистр 3 |
| 08 ... 09 Запись числа <i>n</i> в регистр 1 |
| 10 ... 11 Расчет среднего арифметического измеренных величин, запись в регистр 3 |
| 12 ... 14 Запись числа 14 в регистр С |
| 15 ... 17 Расчет отклонений от арифметического среднего с использованием чисел из адресуемых регистров |
| 18 ... 23 Расчет суммы квадратов отклонений от арифметического среднего и запись ее в регистр 4 с использованием команды организации циклов |
| 24 ... 29 Расчет средней квадратической погрешности одиночного измерения, запись копии в регистр 4 |
| 29 ... 32 Расчет средней квадратической погрешности арифметического среднего |
| 33 Извлечение арифметического среднего из регистра 3 для его очистки и обработки последующей серии измеренных величин. При этом арифметическое среднее хранится в стековом регистре Перезарядка регистра 0 |
| 34 ... 36 Офистка индикатора и регистров 3, 4 |
| 37 ... 39 40 Перемещение чисел в регистры стека, с тем чтобы избавиться от нуля, находящегося в регистре X |
| 41 ... 42 Перезарядка регистра 1, т. е., запись числа <i>n</i> в регистр 1, при этом нуль из регистра Т исчезнет. Вернувшись к операции по адресу 40, отметим, что при ее невыполнении была бы потеряна полезная информация — число <i>m</i> |

После решения задачи измеренные величины сохраняются в адресуемых регистрах, как указано ниже:

Регистры	d	c	b	a	9	8	7	6	5
<i>t</i> ,	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Информация может служить „ключом” при проверке правильности занесения значений измеренных величин в адресуемые регистры памяти. Так, например, для того чтобы проверить правильность занесения *l₅*, необходимо нажать клавиши П → X 9.

Если в серии измеренных величин содержится более 9, необходимо использовать 2-й вариант программы.

Расчет средней квадратической погрешности без ограничения количества измеренных величин (2-й вариант).

Расчетные формулы:

$$m = \left[\frac{\sum_{i=1}^n l_i - (\sum_{i=1}^n l_i)^2/n}{n-1} \right]^{1/2}; \quad l_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i, \quad m_0 = m/\sqrt{n}.$$

Программа 20

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
B +	C/X	X → P 4	X → P 5	X → P 6	F 2	B +	P → X 4	+	X → P 4
0E	0Г	44	45	46	25	0E	64	10	44
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
→ F X ²	P → X 5	+	X → P 5	K П → X 6	P → X 6	C/P	B/P	06	
14	22	65	10	45	46	66	50	51	06
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
P → X 5	P → X 4	F X ²	P → X 6	+	-	P → X 6	1	-	÷
65	64	22	66	13	11	66	01	11	13
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39 40
F -	B +	P → X 4	P → X 6	÷	F 2	F 2	P → X 6	F -	÷ C/P
21	0E	64	66	13	25	25	66	21	13 15

Инструкция по использованию Программы 20

1. Включить микрокалькулятор (переключатель поставить в положение Г)

2. Перевести микрокалькулятор в режим „Программирование”

3. Записать программу в память микрокалькулятора

4. Перейти в режим „Автоматическая работа”

5. Установить счетчик адресов на адрес 00

6. Поочередно (одно за другим) ввести измеренные величины, произвести пуск программы

7. После ввода всех измеренных величин (отсчет на индикаторе равен *n*) произвести пуск программы с адресом 19

8. После завершения цикла вычислений снять с индикатора значение *m₀*

9. Перевести из регистра Y в регистр X (на индикатор) *m*

10. Перевести из регистра Y в регистр X

Нажимаемые клавиши

—

F PRГ

—

F ABT

B/0

I₁ C/P

MR C/P

(БП 19 C/P)

—

F 2

—

I₀ F 2

П р и м е ч а н и я. 1. Измеренные величины второй и последующих серий (или повторное решение данного примера) обрашательются в соответствии с Инструкцией, начиная с п. 5.

2. После решения очередной задачи исходные данные не сохраняются, так как это происходит в 1-м варианте Программы.

3. Клавиша ІІГ (см. п. 7 Инструкции) нажимается для того, чтобы „обезглагать” команду безусловного перехода. В этом случае адрес перехода не будет влиять на правильность выполнения последующих команд программы.

5.7. Расчет коэффициента точности счисления

О б щ ие п о л о ж е н и я. 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 связана с точностью обсерваций и максимально допустимым интервалом между ними с учетом ожидаемых погрешностей от неточного учета приливо-отливных и других течений, погрешности в определении угла дрейфа. При этом считается, что счисление ведется лагом и гирокомпасом, удовлетворяющим конвенционным требованиям. Для оценки точности текущего места используется допустимая радиальная погрешность места M_c (с вероятностью 95%) в зависимости от дистанции до опасности [3].

Оценка точности текущего места производится с учетом погрешности последней обсервации и погрешности счисления $M_c(t)$. Для определения $M_c(t)$ применяют два способа: статистический и априорный.

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 по формулам:

$$M_c(t) = 0,71K_c \cdot t \quad \text{при } t \leq 2 \text{ ч;} \quad (5.3)$$

$$M_c(t) = K_c \sqrt{t} \quad \text{при } t \geq 2 \text{ ч.} \quad (5.4)$$

В дальнейшем будем пользоваться полученными соотношениями. K_c вычисляют по формуле

$$K_c = 1,13 \frac{\sum_{i=1}^n c_i \sqrt{t_i}}{\sum_{i=1}^n t_i},$$

где K_c – коэффициент точности счисления; c_i – невязки счислимых мест при продолжительности плавания $2 \leq t_i \leq 5$ ч; t_i – продолжительность плавания на i -м курсе, ч; 1,13 – коэффициент, соответствующий вероятности 68,3%.

Для того чтобы средняя квадратическая погрешность определения K_c не превышала определенного значения, необходимо определить количество невязок, не менее чем $n \geq 0,3 K_c^2 / m_{K_c}$, где n – максимальное количество невязок; m_{K_c} – СКП коэффициента счисления.

Так, например, если $K_c = 1,3$, $m_{K_c} = 0,1$, то $n \geq 0,3 \cdot 1,3 / 0,01 = 51$.

$$\left[\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 / \sum_{i=1}^n t_i(n-1) \right]^{1/2},$$

где n – число невязок; Δ_i – разность между соответствующими невязками, вычисленными по формуле (5.4) и снятыми с карты. Относительная погрешность [3, с. 102] $m_{K_c} / K_c = 0,08 \div 0,1$ считается допустимой.

Вполне понятно, что для получения значения коэффициента точности счисления с большей надежностью необходима систематизация и обработка большого объема статистического материала как для данного судна, так и для группы однотипных судов.

Расчет коэффициента точности счисления K_c представлен в Программе 21, исходные данные – в табл. 5.4.

Таблица 5.4. Распределение исходных данных и промежуточных результатов при расчете коэффициента точности счисления

Параметр	Обозначение	Символ регистра
Продолжительность плавания, ч	t_i	X/1
Невязка, мили	c_i	Y/2
Суммарная продолжительность плавания, ч	Σt_i	3
Сумма произведения чисел	$\Sigma c_i \sqrt{t_i}$	4
Константа	1,13	5
Коэффициент точности счисления	K_c	X

П р и м е ч а н и е. Невязка (в милях) и продолжительность плавания на каждом курсе вводятся в регистры X и Y, а хранятся (до очередного цикла вычислений) в регистрах I и 2 соответственно. Это позволяет в случае сомнения в правильности ввода исходных данных произвести контроль после выполнения цикла вычислений.

Программа 21									
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
X → П 1	F	12	X → П 2	P → X 1	F ←	P → X 3	P → X 1	+ X → П 3	F
41	25	42	61	21	61	63	10	43	25
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
X	P → X 4	+	X → П 4	C/P	B/P	00	P → X 4	P → X 3	÷
12	64	10	44	50	51	00	64	63	13
20	21	22							
P → X 5	X	C/P							
65	12	50							

1. Включите микрокалькулятор (положение переключателя любое)

2. Перевести микрокалькулятор в режим „Программирование“

3. Записать программу в память микрокалькулятора

4. Перевести микрокалькулятор в режим „Автоматическая работа“

5. Привести очистку регистров 3 и 4 (только перед первым циклом вычислений) и при повторном решении задачи

6. Записать константу 1,13 в регистр 5

7. Установить счетчик адресов по адресу 00

8. Привести *n* числовых вычислений (расчет сумм, хранимых в регистрах 3 и 4)

9. Вычислить коэффициент точности счисления

При мечания. 1. После выполнения вычислений по п. 9 на индикаторе высвечивается значение K_c .

2. Операция \bar{W} нужна для того, чтобы „обезглавить“ команду безусловного перехода, записанную по адресам 15 и 16. Вместо этой операции можно использовать другую: **БП 17**.

Пример. Используя данные, приведенные ниже, рассчитать коэффициент точности счисления K_c :

Продолжительность плавания, ч.	2,5	2,9	3,2	2,0	2,0
Певязка, мили	1,3	0,9	1,7	1,0	1,2

Решение. Будем полагать, что микрокалькулятор готов к решению задачи, поэтому описание примера приведено с п. 5 Инструкции.

Нажимаемые клавиши Индикация

5. Очистка регистров 3 и 4	C _X X → П 3	0.
6. Запись константы 1,13 в регистр 5	1.13 X → П 5	1.13
7. Установка счетчика адресов на адрес 00	B/0	1.13
8. Первый цикл вычислений	1.13 B ↑	1.3
	2.5	2.5
	C/P	2.05 ...
Второй	0.9 B ↑	0.9
	2.9	2.9
	C/P	3.588 ...
Третий	1.7 B ↑	1.7
	3.2	3.2
	C/P	6.629 ...
Четвертый	1 B ↑	1.
	2	2.
	C/P	8.04
Пятый	1.2 B ↑	1.2
	2	2.
	C/P	9.74
9. Вычисление коэффициента точности счисления	C/P	8.735 -01

Ответ: $K_c = 0,87$.

Нажимаемые клавиши

F ПРГ

F АВТ

C_X X → П 3
X → П 4

1.13 X → П 5

B/0

C/P

БП С/П

П р и м е ч а н и е. Приведенный контрольный пример, ввиду небольшого количества исходных данных (всего 5!), несет иллюстративный характер и может быть использован только при отладке программы.

5.8. Расчет поправки к высоте светила на наклонение зрительного луча

При исправлении высоты светила, измеренной относительно частей корпуса другого („вспомогательного“) судна, вместо поправки за наклонение видимого горизонта вводят поправку за наклонение зрительного луча, которая вычисляется по формуле

$$\Delta h = -[0,42S + 1,856(e - H)/S],$$

где Δh – поправка к высоте за наклонение зрительного луча, дут.мин; S – расстояние до „вспомогательного“ судна, мили; e – возвышение глаза наблюдателя над уровнем моря, м; H – возвышение „вспомогательной точки“ над уровнем моря, м.

Ниже представлены табл. 5.5 с исходными данными и Программа 22 расчета поправок высоты, в которой предусмотрен расчет дистанции через приращение, задаваемое пользователем.

Таблица 5.5. Размещение исходных данных и промежуточных результатов

	Параметр	Обозначение	Символ регистра
Константа			
Начальное значение дистанции до вспомогательного судна, мили	0.42	0	
	S_0	1	
Приращение дистанции, мили	δS	2	
Текущее значение дистанции, мили	-	1	
Константа	1.856	3	
Разность возвышений, м	$e - H$	4	
Поправка высоты за наклонение зрительного луча, дут. мин	Δh	X	

Программа 22

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
II → X 2	II → X 1	+	X → П 1	P → X 0	X	P → X 3	II → X 4	X	P → X 1
62	61	10	41	60	12	63	64	12	61
10	11	12	13	14	15				
÷	+	/ -	C/P	BП	00				
13	10	0L	50	51	00				

1. Включить микрокалькулятор
2. Перейти в режим „Программирование“
3. Занести программу
4. Перейти в режим „Автоматическая работа“
5. Занести константы в соответствующие регистры памяти:

 - 5.1. 0,42 – в регистр 0
 - 5.2. Число, равное δS , – в регистр 2
 - 5.3. 1,856 – в регистр 3
 - 6. Выбрать начальное значение расстояния S_0 и занести число $S_0 - \delta S$ в регистр 1
 - 7. Выбрать первое значение $e - H$ и занести в регистр 4 (если число меньше нуля, то нажать клавишу $|/-|$)
 - 8. Установить счетчик адресов на нулевой адрес
 - 9. Вычислить значения Δh для всего диапазона расстояний
 - 10. Повторить пп. 6
 - 11. Выбрать второе значение $e - H$ и занести в регистр 4 (если $e - H < 0$, нажать клавишу $|/-|$)
 - 12. Вычислить значения Δh для всего диапазона расстояний:

 - 1-й цикл
 - остальные циклы

П р и м е ч а н и я. 1. Подробно этот вопрос изложен в работе [3].
2. Выполняя пп. 9 и 10, вычислить значения поправки высоты для всего диапазона разности возвышений и составить таблицу.

Пример. Дано: $e - H = \pm 0,5$ м; $S = 1,5 \div 6,0$ миль; $\delta S = 0,5$ мили. Требуется рассчитать значения поправки высоты.

Ниже (табл. 5,6) представлен фрагмент таблицы поправок высоты.

Таблица 5.6. Поправка высоты за наклонение зрительного луча

$e - H$	S										
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
+0,5	-1,25	-1,30	-1,42	-1,56	-1,73	-1,91	-2,10	-2,29	-2,48	-2,67	-2,87
0,0	-0,63	-0,84	-1,05	-1,26	-1,47	-1,68	-1,89	-2,10	-2,31	-2,52	-2,73
-0,5	-0,11	-0,38	-0,68	-0,95	-1,2	-1,45	-1,67

Теперь, приняв шаг изменения аргумента $e - H$ равным 0,5 м, выполним пп. 8 ... 11. Инструкции: а) занесем $e - H = 0,5$ в регистр 4; б) занесем $S_0 - \delta S = 1,0$ мили в регистр 1; в) произведем вычисления, нажимая клавиши В/О С/П в каждом цикле.

Нажимаемые клавиши

F ПРГ

F АВТ

0,42 X → П 0

δS X → П 2

1,856 X → П 3

$S_0 - \delta S$ X → П 1

(e - H) (/-/) X → П 4

B/0

C/П

$S_0 - \delta S$ X → П 1

(e - H) (/-/) X → П 4

B/0 C/П

C/П

5.9. Расчет элементов высотной линии положения с использованием суточных эфемерид Солнца и точки Овна

5.9.1. Общие положения. Известно, что в пределах суток Гринвичский часовой угол и склонение Солнца изменяются пропорционально интервалу 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

$$t_m^{\circ} = t_{rp}^{\circ} + T_{rp} \Delta t_{rp}^{\circ} \pm \lambda_W^h;$$

$$t_m^* = t_{rp}^* + T_{rp} \Delta t_{rp}^* \pm \lambda_W^h;$$

$$\delta^{\circ} = \delta_t^{\circ} + T_{rp} \Delta \delta^{\circ};$$

$$t_m^* = t_m^{\circ} + \tau^*,$$

где $t_m^{\circ}, t_m^*, t_m^*$ – местные часовые углы Солнца, точки Овна и звезды соответственно; t_{rp}°, t_{rp}^* – Гринвичские часовые углы Солнца и точки Овна соответственно на начало суток по Гринвичскому времени; Δt_{rp}° , Δt_{rp}^* – приращения Гринвичского часового угла Солнца и точки Овна соответственно в градусах за один час; T_{rp} – Гринвичское время наблюдения, ч; δ_t° – табличное значение склонения Солнца в градусах на $T_{rp} = 0$ ч; $\Delta \delta^{\circ}$ – приращение склонения Солнца в градусах за один час Гринвичского времени; λ – счислимая долгота места наблюдателя, град.

Для расчета Гринвичского времени в часах на момент наблюдения использована формула

$$T_{rp}^* = \Delta T_{rp}^{\circ} + \frac{1}{60} \left(\Delta T_{rp}^m + \frac{1}{60} \Delta T_{rp}^h \right),$$

где ΔT_{rp}° , ΔT_{rp}^m , ΔT_{rp}^h – 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

$$\Delta t_{rp}^{\circ} = \frac{1}{24} (t_{rp2}^{\circ} - t_{rp1}^{\circ} + 360^{\circ});$$

$$\Delta \delta^{\circ} = \frac{1}{24} (\delta_2^{\circ} - \delta_1^{\circ}),$$

где $t_{\text{ГР}2}^{\circ}$, $t_{\text{ГР}1}^{\circ}$ — Гринвичские часовые углы Солнца на 0 ч Гринвичского времени на последующие и текущие сутки соответственно, выбранные из МАЕ; δ_2° , δ_1° — склонение Солнца на 0 ч Гринвичского времени на последующие сутки соответственно.

Для расчета приращений координат можно использовать подпрограмму (адреса 00 ... 03 включительно) Программы 23, 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 $t_{\text{ГР}2}$ и $t_{\text{ГР}1}$ разность невелика, то $\Delta t_{\text{ГР}}^{\circ}$ можно представить в следующем виде:

$$\Delta t_{\text{ГР}}^{\circ} = \frac{1}{24} - \frac{\Delta t'_2 - \Delta t'_1}{60} + 360^{\circ},$$

где $\Delta t'_2$, $\Delta t'_1$ — части часовых углов в дуговых минутах за вычетом градусов.

Так, например, для вычисления приращения часового угла на 01.05.88 г. будем иметь (см. Приложение 1) $\Delta t'_2 = 44,9'$; $\Delta t'_1 = 43,2'$.

Приращения $\Delta\delta^{\circ}$ вычисляем по формуле

$$\Delta\delta^{\circ} = \frac{1}{24} \left(\frac{\Delta\delta'_2 - \Delta\delta'_1}{60} \right),$$

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, например, для определения приращения $\Delta\delta$ на 04.05.88 г. (см. Приложение 1) будем иметь: $\Delta\delta_2 = 75,4'$; $\Delta\delta_1 = 58,1'$.

Ниже представлена программа для расчета приращений координат часового угла и склонения.

Программа 23

00	01	02	03	04	05	06	07	08
-	П → X 0	÷	П → X 1	+	2	4	÷	C/P
11	60	13	61	10	02	04	13	50

Размещение констант и переменных, а также результата показано ниже:

Константы и переменные 60 360(0) $\Delta t'_2$ ($\Delta\delta'_2$) $\Delta t_1(\Delta\delta_1)$
Регистры 0 1 Y X

П р и м е ч а н и е. Параметры, приведенные в скобках, относятся к приращению $\Delta\delta\Theta$.

Инструкция по расчету приращений координат

1. Включить МК.
2. Перевести МК в режим „Программирование” нажатием клавиш F ПРГ.
3. Набрать программу 23.
4. Перевести МК в режим „Автоматическая работа” нажатием клавиш F АВТ.
5. Занести константы 60 и 360 в регистры 0 и 1 соответственно.
6. Произвести отладку программы (решают контрольный пример), используя данные, представленные ниже:

Нажимаемые клавиши

44,4 В + 42,5

B/O C/P

Если результат отличается от приведенного (табличного), приступают к поиску и исправлению ошибки.

7. Рассчитать $\Delta t_{\text{ГР}}^{\circ}$, так, как это указано в п. 6. При этом имеется в виду, что значения $t_{\text{ГР}}^{\circ}$ (на $T_{\text{ГР}} = 0$ ч) на необходимое количество суток предварительно выбраны из МАЕ и занесены в таблицу, аналогично таблице в приложении 1.

8. После расчета $\Delta t_{\text{ГР}}^{\circ}$ переходят к вычислению $\Delta\delta^{\circ}$. Предварительно производят очистку регистра 1 нажатием клавиш Сx Х → П 1. В остальном задача решается так же, как и при расчете $\Delta t_{\text{ГР}}^{\circ}$.

П р и м е ч а н и е. Знак δ и $\Delta\delta$ зависит от соотношения φ и δ° : если φ и δ разноменны, то δ имеет знак минус; если φ и δ одноменны, то δ имеет знак плюс; если $\delta_2 > \delta_1$, то знак $\Delta\delta$ совпадает со знаком δ° ; если $\delta_2 < \delta_1$, то наоборот.

В приложении 1 представлены координаты Солнца ($t_{\text{ГР}}^{\circ}$ и δ°) на 1988 г. на период с 1 по 21 мая.

Рекомендуется в период предрейсовой подготовки заранее составить таблицу приращений координат.

Расчет элементов высотной линии положения Солнца. В Программе 24 для расчета элементов высотной линии положения использованы формулы:

$$\sin h_c = \varphi_c \sin \delta + \cos \varphi_c \cos \delta \cos t_m;$$

$$\cos A_c = \frac{\sin \delta - \sin \varphi_c \sin h_c}{\cos \varphi_c \cos h_c},$$

где h_c — счислимая высота; A_c — счислимый азимут; φ_c — счислимая широта; δ — склонение светила; t_m — местный часовой угол.

Программа 24

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
B +	Π → X d	X	Π → X b	+	Π → X 9	+	X → Π 3	F	Π → X c
0E	6Γ	12	6	10	69	10	43	25	6C
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
X	Π → X a	+	X → Π 2	F 7	Π → X 1	F 7	X	Π → X 1	F 8
12	6-	10	42	1C	61	1C	12	61	1C
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29

$\Pi \rightarrow X$	2	F	8	$\Pi \rightarrow X$	3	I	8	X	X	+	4	X \rightarrow Π	4	F	7
62		1Г	63	1Г	12	12	10	19	44						1С
30		31	32	33	34	35	36	37	38						
$\Pi \rightarrow X$	1	F	7	X	62	1С	14	11	61	1Г	64				
40		41	42	43	44	45	46	47	48	49					
F	8	X	+	F	5	X \rightarrow Π	5	$\Pi \rightarrow X$	7	$\Pi \rightarrow X$	4	-	6	0	
1Г	12	13	1-		45	67	64	11	06						
50	51														
X	C/P														
12	50														

Пример. 12.05.87 г. наблюдали Солнце. $\varphi_c = 53^\circ 10.0' N$; $\lambda_c = 35^\circ 40.0' W$; $T_{\text{тр}} = 14^\circ 40.0 M 40 C$; $h_e = 54^\circ 23.0'$. Требуется рассчитать элементы высотной линии положения.

Решение.

Нажимаемые клавиши

1. Включить микрокалькулятор
 2. Перейти в режим „Программирование“
 3. Записать Программу 24 в оперативную память
 4. Перейти в режим „Автоматическая работа“
 5. Записать Δt в регистр d
 6. Записать Δb в регистр c
 7. Записать $T_{\text{тр}}$ (на $T_{\text{тр}} = 0$ ч) в регистр B
 8. Записать δ (на $T_{\text{тр}} = 0$ ч) в регистр a
 9. Записать φ_c в регистр 1
 10. Записать λ_c в регистр 9
 11. Обсервованную высоту h_e записать в регистр 7
 12. Гринвичское время наблюдений перевести в регистр 3
 13. Пустить программу на счет
- Ф ПРГ
F АВТ
15.000208 X \rightarrow d
1.048611 ВП 02
 $/- X \rightarrow$ c
180.547 K+
X \rightarrow b
X \rightarrow П a (17.946667)
53.10 K+
X \rightarrow П 1 (53.166667)
35.40 K+
 $/- X \rightarrow$ 9
(-35.666667)
54.23 K+
X \rightarrow П 7 (54.383332)
14.5040 K \rightarrow
(14.84442)
B/0 C/P
(-8.74 -01)

П р и м е ч а н и я. 1. После завершения цикла вычислений на индикаторе высвечивается перенос, равный $-0.87'$, т. е. $-0.9'$. Остальные величины хранятся в регистрах, указанных ниже:

Параметры	δ	t_m	h_e	A_c	.
Регистры	2	3	4	5	

2. Для удобства решения задачи необходимо иметь трафаретку для записи значений исходных данных.

Расчет элементов высотной линии положения звезды.

Пример. Дано: 16.09.87 г. $\varphi_c = 22^\circ 27.0' N$; $\lambda_c = 54^\circ 06.0' W$; $T_{\text{тр}} = 8^\circ 36 \text{ мин}$. Измерена высота звезды Капелла (табл. 5.7).

Исходные данные распределены следующим образом:

Параметры	Δt	Δb	$t_{\text{тр}}$	δ	φ_c	λ_c	h_e	$T_{\text{тр}}$
Регистры	d	c	b	f	1	9	7	X

Таблица 5.7. Исходные данные для расчета элементов высотной линии

положения звезд на 16.09.87 г.

$$t_{\text{тр}}^f = 354^\circ 24.6'$$
 (на $T_{\text{тр}} = 0$ ч)

Звезда	τ^*	δ^*	h_e	$T_{\text{тр}}$
Капелла	281° 03.2'	45° 59.2'	65° 11.0'	8 ч 34 мин 25 с
Процион	245 20.3	15 15.7	43 16.5	8 35 49
Хамаль	328 22.6	23 24.4	54 15.7	8 36 51
Ригель	281 30.8	8 12.6	58 19.5	8 38 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.

Нажимаемые клавиши

1. Δt^7 занести в регистр d
2. Произвести очистку регистра c
3. τ^7 (на $T_{\text{тр}} = 0$ ч) занести в регистр 8
4. Счислимую широту записать в регистр 1
- На этом предварительная работа заканчивается и можно перейти к расчету элементов высотной линии положения первой звезды.
5. Вычислить Гринвичский часовой угол звезды Капелла на $T_{\text{тр}} = 0$ ч и записать в регистр b
6. Склонение звезды записать в регистр a
7. Обсервованную высоту записать в регистр 7
8. Гринвичское время наблюдений (в часах и долях часа) записать на индикатор
9. Пустить программу на счет с адреса 00. (После завершения цикла вычислений высвечивается перенос)
10. Извлечь из регистра 5 счислимый азимут
11. Извлечь из регистра 3 местный часовой угол

Поскольку $t_m = 710.32^\circ$, т. е. $9.68^\circ E$, вторая буква азимута будет иметь наименование E.

$$\text{Ответ: } n = -0.1'; A_c = 16.1^\circ NE.$$

Теперь приступают к расчету второй и последующих линий положения. Для этой цели выполняют действия, изложенные в пп. 6 . . . 12.

Пример. Используя данные табл. 5.7 и предшествующего примера, рассчитать элементы высотной линии положения звезды Процион.

Решение.

Нажимаемые клавиши

1. Вычислить Гринвичский часовой угол звезды Процион на 0 ч Гринвичского времени (в градусах и долях градуса) и записать в регистр B

2. Склонение звезды записать в регистр а

5.157 K +
(5.2616666)

X → П a
43.165 K +
(43.275) X → П 7
8.3549 K
(8.5969442)
B/0 C/P
(1.06)

3. Обсервованную высоту (в градусах и долях градуса) записать в регистр 7

3. Обсервованную высоту (в градусах и долях градуса) занести в регистр 7

4. Гринвичское время наблюдений (в часах и долях часа) записать в регистр X (индикатор)

5. Пустить программу на счет с адреса 00 (после завершения цикла вычислений на индикаторе высвечивается перенос в милях)

6. Извлечь из регистра 5 A_c

П → X 5
(104.62)
П → X 3
(647.95 ...)

7. Извлечь из регистра 3 местный часовой угол (в градусах и долях градуса). Так как практический часовой восточный $t_M = 45^\circ .0E$, следовательно, вторая буква азимута будет E.

Ответ: $n = 1,1^\circ$; $A_c = 104.6^\circ NE$.

Пример. По данным табл. 5.7 и предыдущей задачи рассчитать элементы высотной линии положения звезды Хамаль.

Решение.

1. Вычислить Гринвичский часовой угол звезды Хамаль на $T_{sp} = 0$ ч в градусах и долях градуса и занести в регистр b

Нажимаемые клавиши

328.226 K +
(328.37666)
П → X 8 +

(682.78666) X → П b
23.244 K +
(23.40666)

X → П a
54.517 K +
(54.861666)
8.3651 K →

(8.6141666)
B/0 C/P
(8.45 -02)

2. Склонение звезды (в градусах и долях градуса) записать в регистр a

$\Delta h_z' = v \Delta T_i \cos(A_i - \text{ПУ})$,

где $\Delta h_z'$ – поправка переноса в минутах дуги (милях); v – скорость судна, uz ; ΔT_i – интервал времени приведения в долях часа ($\Delta T_i = T_0 - T_i$); A_i – азимут светила в круговом счете; ПУ – путевой угол судна; i = 1,2 ($i = 1$), где n – количество линий положения; T_0 – момент времени, к которому приводятся линии положения.

Порядок размещения исходных данных, результат и Программа 25 расчета поправки приведены ниже:

Параметры	v	ПУ	T_0	A_i	T_i	$\Delta h_z'$
Регистры	2	3	4	Y	X	X

3. Обсервованную высоту (в градусах и долях градуса) записать в регистр 7

4. Гринвичское время наблюдений (в часах и долях часа) записать в регистр X (индикатор)

5. Пустить программу на счет с адреса 00 (после завершения цикла вычислений на индикаторе высвечивается перенос высотной линии положения в милях)

6. Извлечь из регистра 5 численный азимут (в градусах и долях градуса)

7. Извлечь из регистра 3 численный местный часовой угол светила. Так как практический часовой угол западный $t_M = 38.25^\circ$, то вторая буква азимута имеет наименование W.

Ответ: $n = 0,1^\circ$; $A_c = 80.8^\circ NW$.

Пример. По данным предыдущего примера рассчитать элементы высотной линии положения звезды Ригель.

Решение.

1. Вычислить Гринвичский часовой угол звезды Ригель на 0 ч Гринвичского времени (в градусах и долях градуса) и записать в регистр b

Нажимаемые клавиши

281.308 K +
(281.51332)
П → X 8 +

P → X B
8.126 K +
/- (-8.21) X → П a

2. Склонение звезды (в градусах и долях градуса) записать в регистр a

Программа 25

52	53	55	56	57	58	59	60	61
П → X 4	↔	—	X → П c	F	П → X 3	—	F 8	П → X e
—	14	11	4E	25	63	11	1F	6E
62	63	64	65					
X	P → X 2	X	C/P					
12	62	12	50					

Пример. Дано: $v = 4.5 \text{ уз}$; ПУ = 223° . Требуется привести к одному зениту линии положения предыдущего примера.

Решение.

После набора и отладки программы занесем исходные данные для первой линии положения.

1. Скорость движения судна в узлах
2. Путевой угол в градусах – в регистр 3
3. T_0 в часах – в регистр 4

4. Азимут (в круговом счете) первой линии положения записывают в регистр Y

5.195 K +
(48.325) X → П 7
8.3850 K →
(8.647222)
B/0 C/P
(-7.9 -02)

Π → X 5
(164.57)
Π → X 3
(711.886)

Так как склонение разноименно с широтой, изменить знак на минус

Нажимаемые клавиши

4.5 X → P 2
223 X → P 3
8.3850 K →
(8.647222)
X → P 4
16.1 B ↑

5. T_1 в долях часа – в регистр Х
 6. Пустить программу на счет с адреса 52
 Ответ: $\Delta h_z = -0,3^\circ$.

После этого переходят к расчету поправки для второй линии положения. Теперь необходимо выполнить толькопп. 4 . . . 6.

- | | |
|---|--|
| 1. Азимут (в круговом счете) второй линии положения записать в регистр Y
2. Момент наблюдений (в долях часа) записать в регистр X
3. Пустить программу на счет с адреса 52
Ответ: $\Delta h_z = 0,1^\circ$. | Нажимаемые клавиши
104. В ↑
8.3425 K ←
(8.573611)
БП 52 С/П
(-0,30) |
|---|--|

И, наконец, рассчитать поправку для третьей линии положения.

- | | |
|--|---|
| 1. Азимут (в круговом счете) записать в регистр H
2. Время наблюдений (в долях часа) записать в регистр X
3. Пустить программу на счет с адреса 52
Ответ: $\Delta h_z = -0,1^\circ$. | Нажимаемые клавиши
279.1 В ↑
8.3651 K →
(8.6141666)
БП 52 С/П |
|--|---|

5.10. Расчет обсервованных координат по наблюдениям двух светил

Определение обсервованных координат по двум высотным линиям положения возможно как при разновременных наблюдениях (например, по высотным линиям положения Солнца), так и при одновременных (по наблюдениям звезд, с учетом приведения высот к одному zenithu). Рассмотрим эту задачу только применительно к наблюдениям Солнца. В любом случае для расчета переноса и азимута используется одна и та же программа.

Расчет обсервованных координат по двум высотным линиям положения Солнца. При определении места судна по Солнцу вторые наблюдения производят после того, как азимут Солнца изменится на значение не менее 30° . К этому времени, в общем случае, координаты судна значительно изменяются и, следовательно, для расчета элементов второй линии положения необходимо в регистр 1 занести новое значение широты, а в регистр 9 – новое значение счислимой долготы. После расчета элементов второй высотной линии положения можно приступить к расчету обсервованных координат. Сущность способа заключается в следующем. На основе общизвестных формул вычисляются поправки к счислимым координатам, а затем сами обсервованные координаты на момент которых наблюдений. Для этой цели используются часть программы с адреса 61 (Программа 26) и табл. 5.8.

Таблица 5.8. Распределение исходных данных при расчете поправок координат по элементам двух высотных линий положения Солнца

Параметр	Единица измерения	Символ регистра
Перенос первой высотной линии положения	мили	2
Азимут первой высотной линии положения в круговом счете	градусы	3
Перенос второй высотной линии положения	мили	4
Азимут второй высотной линии положения	градусы	5
Разность широт	мили	X
Разность долгот	минуты дуги	X

П р и м е ч а н и е. После получения поправок обсервованные координаты рассчитываются в обычном режиме, т. е. без использования программы. Разность широт считывается положительной, если она к северу, а разность долгот – к востоку.

Программа 26									
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Π → X 5	Π → X 3	–	F 7	X → Π 8	P → X 2	P → X 5	F 7	X	Π → X 4
65	62	11	1C	48	62	65	1C	12	64
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
P → X 3	F 7	X	–	P → X 8	÷	C/П	P → X 4	P → X 3	F 8
63	1C	12	11	68	13	50	64	63	1Г
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
X	P → X 2	P → X 5	F 8	X	–	P → X 8	÷	P → X 1	F 8
12	62	65	1Г	12	11	68	13	61	1Г
91	92								
+	C/П								
13	50								

Инструкция по использованию программы 26

- После расчета элементов второй высотной линии положения необходимо:
- | | |
|---|---|
| Нажимаемые клавиши
1. Занести перенос второй высотной линии положения в регистр 4
2. Перевести азимут второй линии положения в круговой счет и записать в регистр 5
3. Занести перенос первой высотной линии положения в регистр 2
4. Занести азимут первой линии положения (в круговом счете) в регистр 3
5. Рассчитать поправку широты
6. Рассчитать поправку долготы | Нажимаемые клавиши
П → X 5
(360 → –
если $A_C NW$)
X → P 4
Δh _z X → P 2
П → X 5
X → P 4
Δh _z X → P 2
C/П
(БП 61 С/П)
C/П
(БП 78 С/П) |
|---|---|

Пример. 12.05.87 г. Судно следует курсом ГКК = 298° ($+1.3^\circ$), скорость по лагу $v_d = 18$ уз, отчет лага ОЛ = 25,40, поправка лага $\Delta L = +2.6\%$, течение и дрейф не учтываем. В $T_{tr} = 11 \text{ ч } 10 \text{ мин } 47 \text{ с}$, ОЛ = 85,18, $\Delta L = +2.6\%$ рассчитали счислимые координаты $\varphi_c = 53^\circ 46.9'N$; $\lambda_c = 31^\circ 15.9'W$. Находясь по счислению в точке с координатами $\varphi_c = 53^\circ 16.0'N$; $\lambda_c = 35^\circ 46.0'W$ в $T_{tr} = 8 \text{ ч } 21 \text{ мин } 31 \text{ с}$ получили обсервованную высоту Солнца $h_o = 14^\circ 38.9'$. Используя микрокалькулятор и Программу 23, рассчитали элементы высотной линии положения: $\Delta h_1 = -1.7'$; $A_{c1} = 79.2^\circ \text{ NE}$. В $T_{tr} = 11 \text{ ч } 10 \text{ мин } 47 \text{ с}$, находясь по счислению в точке с координатами $\varphi_c = 53^\circ 46.0'N$; $\lambda_c = 37^\circ 15.9'W$, получили вторую обсервованную высоту $h_o = 37^\circ 58.0'$ и рассчитали элементы второй высотной линии положения: $\Delta h_2 = -1.6'$; $A_{c2} = 115.1^\circ \text{ NE}$.

Требуется рассчитать поправки к координатам и обсервованные координаты на момент вторых наблюдений.

Решение. Будем полагать, что часть программы, служащая для расчета поправок широты и долготы, набрана в память микрокалькулятора, на индикаторе находится значение переноса второй высотной линии положения (счетчик адресов указывает адрес следующей команды – 61), а азимут второй высотной линии положения находится в регистре 5. Отметим, что так как оба азимута имеют наименование NE, то их значения соответствуют азимуту в круговом счете. Следовательно, никакого перевода делать не надо.

Ниже приводится последовательность решения задачи:

Операции		Нажимаемые клавиши	Индикация
1. Запись переноса второй линии положения в регистр 4		(–1,6)	-1,6
2. Перевод азимута второй линии положения в круговой счет и запись в регистр 5 (в данном примере эта операция не нужна)		X → П 4 (П → X 5 360	(A ₂ 360
3. Запись переноса первой высотной линии положения в регистр 2		X → П 5)	360 – A ₂)
4. Запись азимута в круговом счете первой линии положения в регистр 3		1,7 X → П 2	1,7 -1,7
5. Пуск программы (расчет поправки широты)		79.2 X → П 3	79.2 79.2
6. Расчет минут обсервованной широты		C/P 46	5.49 – 02 46.0
7. Пуск программы (расчет поправки долготы)		+	46.05
8. Расчет минут обсервованной долготы		C/P	-2.94 ...
		15.9 / – /	-15.9
		+	-18.84 ...

Ответ: $\varphi_o = 53^\circ 46.0'N$; $\lambda_o = 37^\circ 18.8'W$.

Примечания. 1. Счислимые координаты на момент вторых наблюдений могут быть сняты с карты или вычислены аналитически.
2. Для решения рассматриваемой задачи целесообразно использовать программу, содержащуюся в блоке расширения памяти.

5.11. Работа с энергонезависимой памятью

Общие сведения. У микрокалькулятора „Электроника МК-52” имеется запоминающее устройство ППЗУ, служащее для хранения (использования) записанных программ в объеме до 512 команд. Обращение к ППЗУ производится с помощью клавиш А↑ и ↑↓ по адресу, набираемому на индикаторе [8].

Адрес обращения к ППЗУ (число) состоит из 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: 40000207 · 10⁻⁴. Здесь цифра 4 является незначащей, но обязательной; число 7 · 10⁻⁴ представляет собой незначащую, необязательную информацию.

Обращение к ППЗУ осуществляется в следующем порядке: устанавливают режимы работы ППЗУ переключателем С/З/СЧ (стирание, запись, считывание);

набирают на индикаторе адрес (не менее семи цифр); последовательно нажимают клавиши А↑ и ↑↓. 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, считанная 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 программируемая 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 З (запись);
переключатель Д/П установить в положение П (запись из программной памяти);
перейти в режим „Автоматическая работа“;

набрать на индикаторе адрес обращения (число, состоящее из набора цифр не менее семи);
нажать клавишу А↑, затем ↑↓;

переключатель С/З/СЧ установить в положение СЧ (во избежание порчи информации);
выключить микрокалькулятор.

Рассмотрим подготовительную работу по записи программы в ППЗУ на примере программы, содержащей 21 шаг. Будем полагать, что запись программы производится с адреса 00. Тогда адрес обращения к ППЗУ будет 1000021. Для определения конечного адреса N_1 воспользуемся формулой $N_1 = 2N - 1$. Получим $N_1 = 2 \cdot 21 - 1 = 41$. Следует помнить,

что в данном случае участок ППЗУ с адреса 00 по 41 должен быть очищен, так как в противном случае новая информация наложится на старую, что недопустимо.

Использование ППЗУ в режиме стирания. Как отмечалось, этот режим используется в том случае, когда на место старой информации нужно записать новую. Информация в ППЗУ стирается построчно. Начало и конец стираемой информации определяется адресом обращения к ППЗУ. Для стирания информации по 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. Отметим, что для очистки ППЗУ с адреса 00 по 41 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 индикаторе адрес обращения к ППЗУ, т. е. число 1000021;
- нажать клавишу А↑, затем, после прекращения признака обращения к ППЗУ, клавишу ↑↓. На этом работа по чистке указанного объема информации будет завершена.

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

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 индикаторе 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 слить программу, записанную в программную память микрокалькулятора с табличной, имеющейся в пособии.

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

Ниже приведены сводные данные для записи программ в ППЗУ с начального адреса 0000:

Длина программы (шаги)	Требуемая длина	Начальный адрес ячейки	Адрес обращения к ППЗУ	Конечный адрес ячейки	№ строки памяти
62	63	0000	1000063	0125	8
82	84	0128	1012584	0292	19
55	56	0304	1030456	0415	26
91	91	0417	1041791		

Длина записываемой в ППЗУ (и считываемой из ППЗУ) программы в шагах должна быть кратна семи. Начальный адрес ячейки последней программы определяется по конечному адресу ячейки предыдущей программы; он соответствует номеру первой ячейки на последующей строке памяти накопителя. Так, например, конечный адрес первой программы равен 0125 и расположен в строке 8. Следовательно, начальный адрес программы 2 равен 0128 (номер первой ячейки строки 9 накопителя). При другой комбинации гирлянды программ начальные адреса ячеек второй и последующих программ будут иными.

Пример. Требуется записать в оперативную память микрокалькулятора „Электроника МК-52” Программу 3.

Решение. Устанавливаем переключатель С/З/СЧ в положение СЧ (считывание). Устанавливаем переключатель Д/П в положение П (считывание в программную память), набираем на индикаторе адрес обращения к ППЗУ – 1030456; нажимаем клавиши А↑ и ↑↓. После прекращения признака обращения к ППЗУ (тире во всех разрядах микрокалькулятора) программа будет переписана в ОЗУ для дальнейшего использования.

5.12. Краткие сведения о блоке расширения памяти БРП-2

Блок расширения памяти (БРП) микрокалькуляторов „Электроника МК-52” и „Электроника-Астро” предназначен для хранения программ астронавигационных задач, значений средних экваториальных координат 35 ярких звезд, а также программы навигационных задач. Имеется специальная программа для проверки исправности микрокалькулятора. Информация, хранящаяся в БРП-2, считывается в ОЗУ. Соединение БРП-2 с микрокалькулятором производится при отключенном питании (габариты блока не более 44 × 58,5 × 18,5, масса блока не более 0,025 кг). В перечне астронавигационных программ содержатся следующие: вычисление Гринвичского часового угла точки Овна и экваториальных координат Солнца; вычисление счислимых высот и азимутов; вычисление элементов высотной линии положения; вычисление обсервованных координат корабля по двум и более линиям положения и оценка его точности; исправление измеренных высот светил и другие программы. В перечне навигационных задач содержатся программы: аналитическое счисление I (вычисление координат места); аналитическое счисление II (вычисление курса и расстояния) и другие программы.

Решение задачи происходит в 3 этапа: считывание программы задачи из ПЗУ БРП-2; подготовка к решению задачи; решение задачи.

Считывание программы задачи производится с помощью адреса обращения, так же как из ПЗУ. В данном случае переключатель БРП-2 устанавливается в положение I (астронавигационные задачи) или в положение II (координаты звезд, навигационные задачи). При этом, если считывается программа, то переключатель микрокалькулятора Д/И, как известно, ставится в положение II, а если считаются данные – то в положении I.

Подготовка к решению задачи выполняется при последовательном нажатии клавиш **B/O С/П.**

Решение задачи происходит в диалоговом режиме: после появления на индикаторе диалогового символа (число от 1 до 22) необходимо ввести на индикаторе числовое значение запрашиваемого параметра и нажать клавишу **С/П.** Переключатель микрокалькулятора Р/ГРД/Г должен находиться в положении Г.

В руководстве по эксплуатации БРП-2 [2] приведены подробные сведения о правилах эксплуатации БРП-2 совместно с микрокалькулятором „Электроника МК-52”, а также контрольные примеры на весь перечень задач.

В качестве иллюстрации рассмотрим пример расчета Гринвичского часового угла точки Овна и экваториальных координат Солнца на момент $T_{\text{ГР}} = 23^{\circ} 59' \text{ мин } 59'' \text{ с } 01.05.87 \text{ г}$

Операция	Нажимаемые клавиши	Индикация
1. Включить МК		0.
2. Ввод начального адреса задачи	1000098	-1000098
	/-	
3. Считывание программы из ПЗУ БРП-2	A ↑ ↓ B/O С/П	1.
4. Ввод даты на запрос (1)	010587 С/П	2.
5. Ввод $T_{\text{ГР}}$ на запрос (цифра 2)	23.5959 С/П	-1019698
6. Промежуточные операции	B/O С/П	-1039298
7. Расчет $t_{\text{ГР}}$	A ↑ ↓ B/O С/П	219° 22.3'
8. Промежуточные операции	C/П	-1058898
9. Промежуточные операции	A ↑ ↓ B/O С/П	-1078498
10. Расчет δ°	A ↑ ↓ B/O С/П	15° 09.2'N
11. Расчет a°	C/П	38° 38.7'
12. Расчет $t_{\text{ГР}}^{\circ}$	C/П	180° 43.6'
13. Промежуточные операции		-1098056...
14. Расчет R°	A ↑ ↓ B/O С/П	15.897 ...
15. Изменение знака R° , если измерения произошлись по верхнему краю	/-	(15.9')
16. Расчет адреса перехода на задачу (вычисление счислимых высот и азимутов светил)	C/П	3180677

Ответ: $t_{\text{ГР}} = 180^{\circ} 43.6'$; $\delta = 15^{\circ} 09.2'N$.

Полученные результаты соответствуют значениям, выбранным из МАЕ, на $T_{\text{ГР}} = 0 ч 02.05.87$ г.

Детальные сведения об использовании блока расширения памяти приведены в пособии [2].

5.13. Краткие сведения о блоке расширения памяти БРП-3

БРП-3 предназначен для постоянного хранения пакета 60 прикладных программ для использования с помощью микрокалькулятора „Электроника-52” [3]. В их числе: вычисление корней квадратного и кубического уровней; вычисление определителей 3-го и 4-го порядков; решение системы (2–4) линейных алгебраических уравнений; выполнение операций с матрицами; численное решение обыкновенного дифференциального уравнения (1...4 порядков) и другие. Габаритные размеры блока не более $58.5 \times 42.3 \times 16$. Масса блока не более 0.035 кг. Информация в постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ) записана в процессе изготовления. Питание ПЗУ и управление его работой осуществляются от микрокалькулятора. Порядок решения задачи такой же, как и при использовании БРП-2. В качестве иллюстрации рассмотрим пример вычисления корней квадратного уравнения $ax^2 + bx + c = 0$.

Пример. Дано: $a = 1$, $b = 1$, $c = -6$. Требуется найти корни x_1 и x_2 .

Инструкция по использованию программы

1. Набрать адрес обращения к ПЗУ-1000035, нажать клавиши A ↑ и ↓.

2. Известны исходные данные:

a в регистре 7

b в регистре 8

c в регистре 9

3. Нажать клавиши B/O С/П.

4. Считать результаты:

$x_1 = 2$ из регистра 5

$x_2 = 3$ из регистра 6.

Примечание. Время решения – около 7 с.

2. После завершения процесса вычислений на дисплее высвечивается значение дискриминанта. Если оно положительно, то, следовательно, корни действительные. Если же дискриминант имеет отрицательное значение, то в регистрах 5 и 6 будут находиться действительная и мнимая части комплексных корней соответственно. Подробные сведения об использовании БРП-3 приведены в пособии [3]. Таким образом, наличие блоков расширения памяти существенно повышает возможности микрокалькулятора „Электроника МК-52”.

Приложение 1

Значения экваториальных координат на начало суток
по Грининскому времени на май 1988 г.

Дата	Точка Овина $t_{\text{тр}}^{\#}$	Солнце $t_{\text{тр}}^{\#}$	$\delta^{\#}$
01.05	219° 08.2°	180° 43.2°	15° 04.8° N
02.05	220 07.4	44.9	22.8
03.05	221 06.5	46.5	40.6
04.05	222 05.6	48.0	58.1
05.05	223 04.8	49.4	16 15.4
06.05	224 03.9	50.6	32.3
07.05	225 03.1	51.6	50.0
08.05	226 02.2	52.6	17 05.3
09.05	227 01.3	53.4	21.6
10.05	228 00.5	54.0	37.5
11.05	228 59.6	54.6	53.0
12.05	229 58.8	180 54.9	18 08.3
13.05	230 57.9	55.2	23.2
14.05	231 57.0	55.3	37.8
15.05	232 56.2	55.2	52.2
16.05	233 55.3	55.0	19 06.2
17.05	234 54.5	54.7	19.9
18.05	235 53.6	54.2	33.2
19.05	236 52.7	53.6	46.2
20.05	237 51.9	52.8	58.9
21.05	238 51.0	51.9	20 11.3

Приложение 2

Плечи остойчивости формы относительно основной судна типа БМРТ пр. 394

∇_4	d	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	z_m	z_{ce}
2000	3,60	0	1,08	2,20	3,30	4,34	5,28	6,21	6,83	7,06	6,94	6,22	1,98
2200	3,82	0	1,08	2,19	3,30	4,35	5,32	6,24	6,85	7,05	6,92	6,14	2,12
2400	4,15	0	1,08	2,18	3,29	4,38	5,38	5,38	6,85	7,02	7,00	6,10	2,28
2600	4,41	0	1,08	2,17	3,29	4,40	5,42	6,28	6,84	6,99	6,87	6,12	2,44
2800	4,63	0	1,08	2,17	3,29	4,42	5,45	6,29	6,80	6,95	6,85	6,14	2,60
3000	4,91	0	1,08	2,17	3,30	4,44	5,47	6,30	6,76	6,93	6,80	6,18	2,72
3200	5,22	0	1,10	2,18	3,30	4,45	5,47	6,28	6,73	6,88	6,76	6,22	2,88
3400	5,54	0	1,12	2,20	3,33	4,46	5,47	6,24	6,67	6,84	6,73	6,28	3,02
3600	5,62	0	1,12	2,22	3,34	4,47	5,47	6,20	6,62	6,78	6,67	6,33	3,15
3800	5,91	0	1,12	2,23	3,35	4,47	5,47	6,17	6,56	6,74	6,63	6,36	3,29
4000	6,09	0	1,13	2,23	3,36	4,48	5,47	6,14	6,53	6,70	6,58	6,42	3,42

Приложение 2 продолжение
Плечи остойчивости формы относительно основной судна типа СРТМ-5023

∇_6	d	z_{ce}	z_m	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
750	2,97	1,77	4,83	0,846	1,687	2,472	3,141	3,732	4,172	4,437	4,475	4,320
800	3,10	1,86	4,80	0,843	1,684	2,465	3,142	3,731	4,156	4,407	4,450	4,303
850	3,23	1,92	4,76	0,840	1,680	2,458	3,142	3,729	4,140	4,373	4,426	4,284
900	3,37	2,0	4,75	0,836	1,676	2,450	3,143	3,728	4,122	4,337	4,404	4,269
950	3,54	2,10	4,73	0,836	1,672	2,445	3,144	3,722	4,104	4,313	4,369	4,252
1000	3,67	2,18	4,76	0,836	1,668	2,439	3,146	3,716	4,289	4,335	4,335	4,235
1050	3,80	2,26	4,74	0,836	1,662	2,434	3,148	3,710	4,072	4,263	4,300	4,220
1100	3,93	2,33	4,77	0,838	1,657	2,430	3,145	3,709	4,054	4,239	4,263	4,202
1150	4,04	2,40	4,78	0,840	1,652	2,426	3,142	3,707	4,036	4,219	4,234	4,184
1200	4,17	4,79	0,842	1,647	2,421	3,138	3,706	4,023	4,204	4,204	4,204	4,166

Плечи остойчивости формы относительно основной судна типа СРТМ-502M

∇_9	d	z_m	z_{ce}	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
550	2,54	4,55	1,53	0,806	1,599	2,343	2,904	3,314	3,664	3,951	4,026
600	2,71	4,53	1,63	0,797	1,588	2,329	2,877	3,296	3,652	3,928	4,015
650	2,82	4,52	1,72	0,790	1,581	2,311	2,853	3,285	3,646	3,903	4,001
700	3,05	4,49	1,82	0,786	1,576	2,290	2,831	3,275	3,640	3,880	3,984
750	3,20	4,48	1,92	0,783	1,573	2,266	2,812	3,268	3,634	3,861	3,964
800	3,34	4,46	2,0	0,783	1,570	2,242	2,795	3,263	3,627	3,844	3,938
850	3,45	4,42	2,05	0,784	1,563	2,219	2,780	3,259	3,620	3,829	3,916
900	3,77	4,47	2,21	0,789	1,538	2,177	2,755	3,251	3,602	3,806	3,882
1000	3,88	4,47	2,29	0,792	1,522	2,159	2,744	3,244	3,593	3,796	3,872
1050	4,08	4,49	2,39	0,795	1,505	2,142	2,734	3,236	3,583	3,787	3,864
1100	4,17	4,55	2,45	0,785	1,490	2,127	2,725	3,225	3,572	3,778	3,857

Приложение 3

Средние квадратические погрешности

N	I_l								$I_l m_l m$		
	1	2	3	4	5	6	7	8			
1	14,3	13,5	12,9	14,0	13,8	14,2	13,6	13,9	13,78	0,16	0,45
2	104,5	105,4	105,5	104,8	106,1	106,8	106,3	105,4	105,6	0,27	0,77
3	4,3	4,7	3,9	4,0	4,3	4,7	3,6	3,8	4,16	0,14	0,41
4	12,0	12,7	12,3	12,5	13,0	12,4	12,2	12,1	12,4	0,12	0,33
5	4,4	5,0	4,0	4,8	4,6	3,9	4,6	4,5	4,55	0,11	0,32
6	12,4	12,0	13,0	12,7	12,1	11,9	12,7	12,6	12,4	0,14	0,39
7	20,5	20,3	20,8	20,9	20,4	20,7	20,9	20,1	20,58	0,10	0,30
8	19,7	20,1	18,9	19,4	19,0	20,1	20,2	20,7	19,76	0,22	0,63
9	220,1	221,6	222,4	220,9	220,4	220,9	221,1	220,8	220,98	0,22	0,61
10	14,2	13,9	14,3	13,8	14,4	14,0	14,4	13,8	14,10	0,09	0,26
11	12,8	13,4	12,6	14,0	12,1	12,4	12,7	11,9	12,74	0,24	0,68
12	4,3	2,9	3,8	2,6	3,5	3,9	2,7	4,0	0,346	0,23	0,65
13	3,6	3,7	3,9	3,4	3,1	3,0	3,1	3,6	0,342	0,12	0,33

N	t_1								t_0	m_0	m
	1	2	3	4	5	6	7	8			
14	10.4	11.0	10.6	10.0	11.1	10.4	10.8	10.9	10.65	0.13	0.37
15	12.6	12.5	12.3	12.2	12.1	12.7	12.4	12.0	12.35	0.09	0.24
16	20.4	21.0	20.7	20.9	20.1	20.4	20.8	20.5	20.6	0.11	0.30
17	3.8	3.5	4.0	3.4	4.1	3.9	4.4	3.7	0.0385	0.11	0.33
18	5.7	6.1	5.8	6.3	5.6	6.0	5.9	6.3	0.0596	0.09	0.26
19	10.1	10.7	10.3	10.9	10.2	10.9	11.0	10.3	10.55	0.13	0.36
20	12.4	13.6	12.0	12.8	11.9	12.7	13.0	12.3	12.59	0.20	0.56
21	18.7	19.6	19.3	18.1	17.9	18.3	18.0	17.8	18.46	0.24	0.67
22	20.1	20.9	20.3	19.9	20.4	20.6	19.8	19.7	20.21	0.15	0.42
23	11.0	11.7	11.3	12.1	12.4	11.7	11.0	12.4	11.7	0.20	0.57
24	7.5	8.4	7.7	8.3	7.4	8.2	7.9	8.9	08.03	1.79	0.51
25	19.1	20.3	19.4	20.0	18.8	20.4	19.3	19.7	19.62	0.20	0.58

Приложение 4

Персональный микрокомпьютер „Электроника МК-85”

Общие сведения. „Электроника МК-85” [8] представляет собой карманный персональный компьютер (ПК), используемый в режиме обычного калькулятора, так и в режиме „Вычисление по программам”. Причем в отличие от микрокалькулятора „Электроника-52” в нем используется одна из версий языка Бейсик (рис. 10).

Алфавит Бейсика включает в себя:

прописные и строчные буквы латинского алфавита от A до Z;

прописные и строчные буквы русского алфавита;

знаки арифметических операций: +, -, ×, / — сложения, вычитания, умножения, деления соответственно и другие специальные знаки.

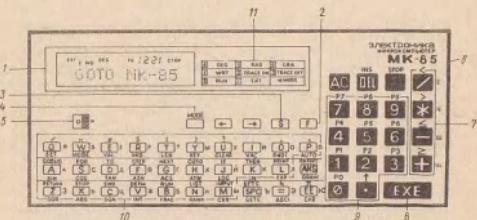


Рис. 10. Внешний вид компьютера „Электроника МК-85”

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

Для реализации совмещенных функций имеются 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: пуск программы; запись программы в память; проверка и редактирование ее; ввод в режим построчной отладки программы; вывод из режима построчной отладки программы и др.

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

Приведем некоторые основные характеристики ПК МК-85

число разрядов мантиссы	10
число разрядов порядка	4
число адресуемых регистров памяти	(26 с возможностью расширения до 178)

Объем энергонезависимой памяти, байт

2 K

Число одновременно хранимых программ (файлов)

10 (P0 . . . P9)

Максимальное число шагов программы 1221 (около 150 строк программы на языке Бейсик)

Бейсик

Питание 4 элемента СЦ 0.18 или блок питания

не более 0.02

5 . . . 40

Габаритные размеры, мм

13 × 165 × 73

Масса, г, не более

150

Использование принципа „бегущей строки” позволяет записывать строки программы длиной до 63 символов.

При помощи клавиши перемещения курсора ← → возможен просмотр всей строки. ПК имеет примерно такие же встроенные функции, как и микрокалькулятор „Электроника МК-52”. Точность вычислений составляет ± 1 в десятом знаке. ПК в режиме калькулятора (прямой режим) позволяет выполнять арифметические операции следующим образом: с помощью клавиатуры вводятся числа и арифметические операции (в порядке их следования); нажимается клавиша EXE, снимается результат.

Пример. Дано выражение $N = 42 - 11 + 4 \times 7/5$. Требуется найти число N.

Решение. 1. Нажимаем последовательно клавиши MODE и φ. На дисплее появится надпись RUN.

2. Вводим правую часть выражения

$$42 - 11 + 4 \times 7/5.$$

3. Нажимаем клавишу EXE.

4. Снимаем результат: $N = 36.6$.

Использование ПК в режиме „Программирование”. Как указывалось, 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 EXE (аналог команды – возврат каретки) соответствует одному шагу. Например, строка вида $1 \phi \phi F O R I = 1 T O N$ занимает 8 шагов в памяти. Так как максимальная длина строки составляет 63 символа, то при записи в нее нескольких операторов можно скономить память на k шагов, где k – число сэкономленных адресов.

ПК оперирует как с числовыми, так и строковыми переменными длиной до семи символов (букв, цифр, знаков). Бейсик ПК 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 напечатает и наименование. После ввода числового значения переменной и нажатия клавиши EXE Бейсик продолжит вычисление. Если программой предусмотрены ввод числовых данных для нескольких переменных, то ввод значений каждой переменной сопровождается нажатием клавиши EXE. После ввода значений для последней переменной начнется процесс вычислений.

Пример. 2 ф INPUT Z Z.

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.

```
3 ф INPUT L  
4 ф IFL = ф THEN 11 ф  
5 ф .....  
11 ф END
```

В данном примере, если $L = \phi$, Бейсик после строки 3 ф прекратит естественный порядок выполнения программы и перейдет к выполнению команды, записанной в строке 11 ф, если же условие не будет выполняться, то Бейсик будет выполнять команду по адресу 5 ф. 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.

Пример. 1 ф GOSUB 4 ф
7 ф GOSUB # P1

Здесь 4 ф – 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 записан оператор перехода к подпрограмме.

Оператор окончания программы END используется для обозначения конца программы.

Оператор выполнения программы RUN предназначен для пуска программы на счет. Если пуск программы производится со строки, 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. Для уничтожения всех программ используется команда CLEARA.

Ввод и использование программы для решения задач. Вводы программы в компьютер (ПК) осуществляются клавишами в следующем порядке:

1. ПК переводится в режим записи WRT нажатием клавиш MODE 1.
2. Выбирается нужный файл нажатием клавиши S и цифровой от ф до 9 (для выбора файла от Р ф до Р 9).
3. Построочно вводится программа. Переход на следующую строку производится нажатием клавиши EXE. При этом на индикаторе высвечивается количество оставшихся шагов памяти, что очень удобно для контроля.
4. После записи программы ПК переводится в режим вычислений нажатием клавиши MODE ф.

Следует помнить, что 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 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 пуск программы нажатием клавиши SRUN (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 имеется возможность отредактировать программу. Для просмотра программы используется команда

LIST. Однако редактирование программы возможно только лишь в режиме записи программы (WRT).

Даже краткое описание возможностей микрокомпьютера позволяет заключить, что он обладает большими возможностями по сравнению с микрокалькуляторами, а наличие энергонезависимой памяти, позволяющей записать более 1000 команд, в сочетании с алгоритмическим языком Бейсик и малыми габаритами микрокомпьютера делают его надежным помощником судового специалиста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астронавигационный альманах на 1986–1990 гг. Л.: ГУНиО МО, 1987.
2. Блок расширения памяти БРП-2 „Электроника-астро“: Руководство по эксплуатации. 277 с.
3. Блок расширения памяти „Электроника БРП-3“: Руководство по эксплуатации. 196 с.
4. Дряковов В. П. Справочник по расчетам на микрокалькуляторах. 2-е изд., испр. М.: Наука, 1986. 224 с.
5. Ермаков В. И. Методы оперативного контроля остойчивости судов флота рыбной промышленности: Учеб., пособ. Калининград: ВИИК Минрыбхоза СССР, 1987. 51 с.
6. Ермаков В. И. Промысловое судовождение: расчеты. М.: Агропромиздат, 1989. 142 с.
7. Методика обработки навигационных измерений с оценкой точности. Л.: ГУНиО МО, 1985. 52 с.
8. Микрокалькулятор „Электроника МК-52“: Руководство по эксплуатации. ВИП ВМФ. ИНИИТИ, 1985. 135 с.
9. Руководство по практическому применению программируемых микрокалькуляторов в штурманских расчетах. Л.: Транспорт. 1984. 71 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие		3
Основные обозначения		4
Глава 1. Использование микрокалькулятора в непрограммируемом варианте		5
1.1. Назначение клавиш		5
1.2. Выполнение одноместных операций		5
1.3. Занесение чисел в регистры памяти и извлечение из них		6
1.4. Выполнение двухместных операций		7
Глава 2. Использование микрокалькулятора в режиме „Вычисление по программам“		9
2.1. Общие положения		9
2.2. Программирование задачи		10
2.3. Ввод и редактирование программы		11
2.4. Занесение исходных данных и решение задачи		12
2.5. Оптимизация программы командами переходов и организации циклов		13
Глава 3. Решение основных задач, связанных с контролем плавучести и остойчивости судна		18
3.1. Расчет координат центра массы судна		18
3.2. Расчет координат центра массы судна при приеме (снятии) и перемещении грузов		23
3.3. Расчет плеч статической остойчивости судна		23
3.4. Расчеты, связанные с построением универсальной диаграммы статической остойчивости		25
3.5. Расчет плеч динамической остойчивости		30
3.6. Расчеты, связанные со снятием судна с мели (камня)		34
3.7. Расчет опрокидывающего момента по методике Регистра СССР		35
3.8. Расчет поперечной метацентрической высоты по измеренному периоду собственных бортовых колебаний судна		37
3.9. Построение универсальной диаграммы динамической остойчивости		38
Глава 4. Расчет инерционно-тормозных характеристик судна в условиях промысла		42
4.1. Пассивное торможение		43
4.2. Активное торможение		46
4.3. Пассивное торможение судна при движении с трапом		48
Глава 5. Использование микрокалькулятора для решения основных задач судовождения		50
5.1. Определение места судна по импульсно-фазовым РНС		50
5.2. Ведение промыслового счисления		54
5.3. Плавание по дуге большого круга		57
5.4. Расчет девиации магнитного компаса		61
5.5. Расчет элементов движения встречного судна по данным радиолокатора		64
5.6. Расчет средней квадратической погрешности результатов наблюдений		69
5.7. Расчет коэффициента точности счисления		74
5.8. Расчет поправки к высоте светила на наклонение зрительного луча		77
5.9. Расчет элементов высотной линии положения с использованием сугочных эфемерид Солнца и точки Овна		79
5.10. Расчет обсервованных координат по наблюдениям двух светил		86
5.11. Работа с энергозависимой памятью		88
5.12. Краткие сведения о блоке расширения памяти БРП-2		91
5.13. Краткие сведения о блоке расширения памяти БРП-3		93
Приложение 1. Значение экваториальных координат на начало суток по Гринвичскому времени на май 1988 г.		94
Приложение 2. Плечи остойчивости формы относительно основной судна типа БМРТ пр. 394		94
Приложение 3. Средние квадратические погрешности		95
Приложение 4. Персональный микрокомпьютер „Электроника МК-85“		96
Список литературы		101