

60 коп.

149-1

НЕДРА

А.И.КЛИМЕНКО С.И.ПАХОМОВ

ИНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

НА ПРОГРАММИРУЕМЫХ
МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРАХ

СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ



А.И.КЛИМЕНКО С.И.ПАХОМОВ

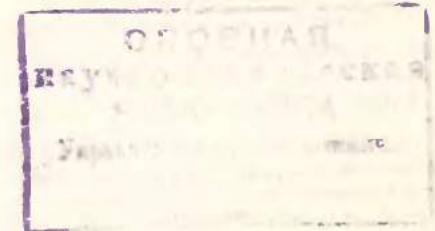
55(03)

K-49

**ИНЖЕНЕРНО-
ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ
РАСЧЕТЫ
НА ПРОГРАММИРУЕМЫХ
МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРАХ**

СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ

82447



Москва "Недра" 1991

55(03)
ББК 26.3
К 49
УДК 624.131.001.24:681.321 (031)

Организация-спонсор: Северо-Кавказский филиал ИНИИС

Клименко А. И., Пахомов С. И.
К 49 Инженерно-геологические расчеты на программируемых микрокалькуляторах: Справочное пособие.— М.: Недра, 1991.— 168 с.: ил.
ISBN 5-247-01733-1

Приведены методики и программы расчетов на микрокалькуляторах при инженерно-геологических изысканиях, планировании и проведении экспериментальных работ, обработке результатов наблюдений и испытаний, решении инженерно-геологических и гидрогеологических задач. Показаны широкие возможности применения микрокалькуляторов при лабораторных и полевых испытаниях и химическом анализе грунтов. Даны вспомогательные таблицы для расчетов.

Для инженерно-технических работников изыскательских организаций, грунтоведческих лабораторий.

К 1804090000—263
043(01)—91 49—91

ББК 26.3

ISBN 5-247-01733-1

© А. И. Клименко, С. И. Пахомов, 1991

ВВЕДЕНИЕ

Программируемые портативные микрокалькуляторы в настоящее время широко используются в самых разнообразных областях человеческой деятельности. Несмотря на скромные возможности, они имеют ряд достоинств, выгодно отличающих их от персональных компьютеров и более мощных ЭВМ. К их бесспорным преимуществам, в первую очередь, относятся портативность, легкая транспортабельность, возможность использования в полевых, экспедиционных условиях. Эти качества микрокалькуляторов позволяют корректировать программу изысканий с учетом результатов вычислений, полученных в процессе полевых работ.

Быстрота расчетов также является преимуществом микрокалькуляторов этого типа перед использованием ЭВМ вычислительных центров, что обуславливает целесообразность применения их в стационарных лабораториях, а также при камеральной обработке полученных материалов. Простота в использовании, надежность и весьма низкая цена делают их доступными для любых специалистов.

Наиболее распространены в настоящее время портативные программируемые микрокалькуляторы следующих марок: БЗ-34, МК-61, МК-52, МК-56. Эти калькуляторы однотипны, методика автоматических вычислений на них одинакова.

Несмотря на очень малые размеры, простоту в обращении, они обладают достаточно богатыми функциональными возможностями: прямой и косвенной адресацией, безусловными и условными переходами, организацией циклов и расчетов по подпрограммам, микропрограммного вычисления элементарных функций и др.

Данное пособие предназначено для вычислений с использованием этих видов микрокалькуляторов. Поскольку символы некоторых команд в них различны, в пособии приведены программы в двух вариантах: для БЗ-34 и МК-61. Последний вариант предназначен и для других аналогичных калькуляторов (МК-52, МК-56). Два вида символов приведены также и в текстовом описании метода выполнения вычислений (второй вариант в скобках). Следующие символы изображены в упрощенном виде.

Команда	Калькулятор	Символ	Изображение символа в пособии
Обмен между регистрами X и Y	БЗ-34	$\overleftrightarrow{XY}$	$\rightleftharpoons$
Запись числа в регистр памяти	МК-61, МК-52, МК-56	$X \rightarrow П$	X-П

Команда	Калькулятор	Символ	Изображение символа в пособии
Вызов числа из регистра памяти	»	$P \rightarrow X$	$P-X$
Кольцевые передвижения информации в стеке	»	$F \odot$	$F0$

Данное пособие не заменяет руководство по эксплуатации микрокалькулятора. В нем не излагаются общие правила работы с калькулятором и методы программирования. Порядок проведения вычислений с помощью предлагаемых программ общепринятый: после включения микрокалькулятора, нажатия клавиши $F_{\text{прг}}$ следует набрать программу и нажать клавиши $F_{\text{авт}}$, В/о. Порядок проведения счета подробно описан в пособии. Прежде чем проводить вычисления, целесообразно провести опробование программы по тестовому примеру, приведенному в пособии.

Переход от завершенного расчета к расчету с новыми исходными данными (следующий пример, случай, опыт и т. д.) по той же программе не требует, как правило, каких-либо особых действий, если это не оговорено специально. Достаточно ввести новые данные и производить расчет в изложенном в пособии порядке. В некоторых случаях для такого перехода требуется произвести некоторые действия вручную: вернуть программу к нулевому адресу, очистить регистры памяти, но это следует производить только тогда, когда имеется соответствующее указание в методике счета.

В настоящее время издан целый ряд руководств, содержащих значительное число программ для портативных микрокалькуляторов. Для расчетов общего характера целесообразно использовать работы [1, 12]. Обработка общегеологической числовой информации может производиться на микрокалькуляторах с помощью программ, приведенных в работе [5].

Все этапы инженерно-геологических изысканий и исследований связаны с расчетами разной сложности. Данное пособие имеет целью оказать помощь специалистам этого профиля в повседневной работе.

Приведенные в пособии программы, конечно, не исчерпывают полностью потребности специалистов инженерно-геологического профиля в программном обеспечении вычислительных работ. Очень краткое изложение материала, вероятно, может оказаться недостаточным для потребителя. Авторы надеются получить любые пожелания и отзывы на данное пособие, которые будут учтены в дальнейшей работе.

ГРУНТОВЕДЕНИЕ

ВЛАЖНОСТЬ ГРУНТА, ПЛАСТИЧНОСТЬ, КОНСИСТЕНЦИЯ

1. Определение влажности грунта методом высушивания

Метод основан на высушивании навески грунта в сушильном шкафу до постоянной массы:

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} \cdot 100,$$

где W — влажность грунта (весовая), %; m — масса пустого бюкса, г; m_1 — масса бюкса с влажным грунтом, г; m_0 — масса бюкса с сухим грунтом, г.

Программа 1

Адрес	Нажать клавишу		Код	Адрес	Нажать клавишу		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	X-П0	40	07	1	1	01
01	—	—	11	08	0	0	00
02	↔	↔	14	09	0	0	00
03	ИП0	П-X0	60	10	×	×	12
04	↔	↔	14	11	С/П	С/П	50
05	—	—	11	12	БП	БП	51
06	÷	÷	13	13	00	00	00

Счет

Набрать: $m \uparrow m_1 \uparrow m_0$, С/П ($mB \uparrow m_1B \uparrow m_0$ С/П)

После останова на индикаторе W .

Набрать: $m \uparrow m_1 \uparrow m_0$ С/П для второго образца и т. д.

Пример

$m = 22,09$ г; $m_1 = 26,09$ г; $m_0 = 24,78$ г; $W = 48,70\%$.

2. Определение влажности грунта пикнометрическим способом

Метод основан на взвешивании навески грунта, помещенной в пикнометр, с водой:

$$W = \frac{\rho_s(A+B-C) - B}{(C-A)} \cdot 100;$$

$$B = m_1 - m_0,$$

где W —влажность грунта, %; m_0 —масса пикнометра, г; m_1 —масса пикнометра с грунтом, г; A —масса пикнометра с водой, г; C —масса пикнометра с грунтом и водой, г; ρ_s —плотность частиц грунта, г/см³.

Программа 2

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ИП0	П-Х0	60	11	—	—	11
01	—	—	11	12	ИП2	П-Х2	62
02	П4	Х-П4	44	13	÷	÷	13
03	↔	↔	14	14	ИП5	П-Х5	65
04	ИП1	П-Х1	61	15	÷	÷	13
05	—	—	11	16	ИП3	П-Х3	63
06	П5	Х-П5	45	17	×	×	12
07	—	—	11	18	С/П	С/П	50
08	ИП2	П-Х2	62	19	БП	БП	51
09	×	×	12	20	00	00	00
10	ИП4	П-Х4	64				

Счет

Ввести в регистры памяти: $m_0 \rightarrow \text{П0}$; $A \rightarrow \text{П1}$; $\rho_s \rightarrow \text{П2}$; $100 \rightarrow \text{П3}$.

Набрать: $C \uparrow m_1$, С/П ($C \uparrow B \uparrow m_1$, С/П)

После останова на индикаторе W .

Если определение влажности производилось в другом пикнометре, то в регистры П0, П1, П2 ввести значения, соответствующие второму образцу, набрать $C \uparrow m_1$, С/П и т. д.

Пример

$m_0 = 31,12$ г; $m_1 = 61,12$ г; $C = 160$ г; $A = 150$ г; $\rho_s = 2,65$ г/см³; $W = 86,8\%$.

3. Определение суммарной влажности мерзлого грунта

$$W_{\text{tot}} = \frac{m_3 - m_2}{m_4 - m_2} \cdot (100 + W) - 100,$$

где m_2 —масса тары, г; m_3 —масса образца грунта с тарой, г; m_4 —масса перемешанного грунта с тарой, г; W —влажность перемешанного грунта, %; W_{tot} —суммарная влажность мерзлого грунта, %.

Программа 3

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ИП0	П-Х0	60	08	—	—	11
01	+	+	10	09	×	×	12
02	↔	↔	14	10	ИП0	П-Х0	60
03	ИП1	П-Х1	61	11	—	—	11
04	—	—	11	12	С/П	С/П	50

Продолжение программы 3

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
05	÷	÷	13	13	БП	БП	51
06	↔	↔	14	14	00	00	00
07	ИП1	П-Х1	61				

Счет

Ввести в регистры: $100 \rightarrow \text{П0}$ ($X \rightarrow \text{П0}$); $m_2 \rightarrow \text{П1}$ ($X \rightarrow \text{П1}$).

Набрать: $m_3 \uparrow m_4 \uparrow W$, С/П ($m_3 \uparrow B \uparrow m_4 \uparrow W$, С/П).

После останова на индикаторе W_{tot} .

4. Определение степени влажности расчетным методом

S_r —степень влажности, доли единицы; W —влажность грунта, %; ρ_d —плотность скелета грунта (сухого грунта), г/см³; ρ_s —плотность частиц грунта, г/см³; n —пористость, %; e —коэффициент пористости.

$$a) S_r = \frac{W \rho_d}{n}$$

Программа 4

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	÷	÷	13	03	БП	БП	51
01	×	×	12	04	00	00	00
02	С/П	С/П	50				

Счет

Набрать: $W \uparrow \rho_d \uparrow n$, С/П ($W \uparrow B \uparrow \rho_d \uparrow n$, С/П).

После останова на индикаторе S_r .

Набрать соответствующие значения для следующего образца и т. д.

$$b) S_r = \frac{W \rho_s}{100 \cdot e}$$

Программа 5

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	÷	÷	13	04	÷	÷	13
01	×	×	12	05	С/П	С/П	50
02	2	2	02	06	БП	БП	51
03	F10X	F10X	15	07	00	00	00

Счет

Набрать: $W \uparrow \rho_s \uparrow e$, С/П ($W \uparrow \rho_s \uparrow e$, С/П).

После останова на индикаторе S_r .

Набрать соответствующие значения для следующего образца и т. д.

$$в) S_r = \frac{W \rho_s (100 - n)}{100 \cdot n}$$

Программа 6

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	F1/X	F1/X	23	05	×	×	12
01	2	2	02	06	×	×	12
02	F10X	F10X	15	07	С/П	С/П	50
03	F1/X	F1/X	23	08	БП	БП	51
04	—	—	11	09	00	00	00

Счет

Набрать: $W \uparrow \rho_s \uparrow n$, С/П ($W \uparrow \rho_s \uparrow n$, С/П).

После останова на индикаторе S_r .

Набрать соответствующие значения для второго образца и т. д.

Пример

$$\rho_s = 2,5 \text{ г/см}^3; \rho_d = 1,75 \text{ г/см}^3; n = 30\%; e = 0,428; W = 5\%; S_r = 0,29.$$

5. Определение пластичности и консистенции

Стандартные методы определения пределов пластичности основаны на определениях влажности подготовленных грунтовых паст. Для расчетов значений этих пределов может быть использована программа 1.

Определение числа пластичности и консистенции проводят по следующим уравнениям:

$$I_p = W_L - W_p;$$

$$I_L = \frac{W - W_p}{I_p},$$

где I_p — показатель пластичности, %; I_L — показатель консистенции; W — влажность естественная, %; W_L — граница текучести, %; W_p — граница раскатывания, %.

Программа 7

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	06	ИП1	П-Х1	61
01	—	—	11	07	÷	÷	13

Продолжение программы 7

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
02	П1	Х-П1	41	08	С/П	С/П	50
03	↔	↔	14	09	БП	БП	51
04	ИП0	П-Х0	60	10	00	00	00
05	—	—	11				

Счет

Набрать: $W \uparrow W_L \uparrow W_p$, С/П ($W \uparrow W_L \uparrow W_p$, С/П).

После останова на индикаторе I_L ; нажать клавишу ↔ (↔), на индикаторе I_p .

Набрать соответствующие значения для следующего образца и т. д.

Пример

$$W_L = 40\%; W_p = 18\%; W = 25\%; I_L = 0,32; I_p = 22\%.$$

ПЛОТНОСТЬ, ПОРИСТОСТЬ ГРУНТОВ

1. Определение плотности грунтов методом режущего кольца

Метод основан на взвешивании образца грунта ненарушенного сложения с определенными геометрической формой и размерами. Форма и размеры образца соответствуют внутренним размерам режущего кольца.

а) Определение объема кольца

$$S = \frac{\pi d^2}{4}; V = Sh,$$

где d — внутренний диаметр кольца, см; h — высота кольца, см; V — объем кольца, см³; S — площадь основания кольца, см².

Программа 8

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	FX ²	FX ²	22	06	×	×	12
01	Fπ	Fπ	20	07	ИП0	П-Х0	60
02	×	×	12	08	С/П	С/П	50
03	4	4	04	09	БП	БП	51
04	÷	÷	13	10	00	00	00
05	П0	Х-П0	40				

Счет

Набрать: $h \uparrow d$, С/П ($h \uparrow d$, С/П).

После останова на индикаторе S ; нажать клавишу $\rightleftharpoons$ ($\leftrightarrow$), на индикаторе V .

Набрать значения, соответствующие следующему кольцу, и т. д.

Пример

$$d=7,15 \text{ см}; h=3,50 \text{ см}; S=40,15 \text{ см}^2; V=140,53 \text{ см}^3.$$

б) Определение плотности грунта

$$\rho = (m_1 - m_0 - m_2) / V,$$

где m_0 — масса кольца, г; m_1 — масса грунта с кольцом и пластинами, г; m_2 — масса пластинок, г; V — объем кольца, см^3 ; ρ — плотность грунта, г/см^3 .

Программа 9

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	—	—	11	04	$\div$	$\div$	13
01	ИП0	П-Х0	60	05	С/П	С/П	50
02	—	—	11	06	БП	БП	51
03	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14	07	00	00	00

Счет

Ввести в регистр памяти: $m_2 \rightarrow \text{П0 (Х-П0)}$.

Если взвешивание производится на весах с компенсацией массы пластинок (например, на весах ВЛКТ-500), то регистр П0 должен быть очищен (содержать значение «0»).

Набрать: $V \uparrow m_1 \uparrow m_0$, С/П ($V \uparrow m_1 \uparrow m_0$, С/П).

После останова на индикаторе ρ .

Набрать соответствующие значения для следующего образца и т. д.

2. Определение плотности грунтов методом парафинирования

Метод основан на взвешивании покрытого парафином образца грунта, погруженного в воду. Проводится прямым или обратным взвешиванием.

а) Метод прямого взвешивания

$$\rho = \frac{m_p \rho_p}{\rho_p (m_1 - m_2) - \rho_w (m_1 - m)},$$

где m — масса образца грунта до парафинирования, г; m_1 — масса парафинированного образца, г; m_2 — масса образца в воде, г; ρ_p — плотность парафина, г/см^3 ; ρ_w — плотность воды, г/см^3 ; ρ — плотность грунта, г/см^3 .

Программа 10

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П2	Х-П2	42	12	F0	F0	25
01	ИП0	П-Х0	60	13	ИП3	П-Х3	63
02	$\times$	$\times$	12	14	ИП2	П-Х2	62
03	ИП1	П-Х1	61	15	—	—	11
04	$\times$	$\times$	12	16	ИП0	П-Х0	60
05	F0	F0	25	17	$\times$	$\times$	12
06	П3	Х-П3	43	18	—	—	11
07	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14	19	$\div$	$\div$	13
08	—	—	11	20	С/П	С/П	50
09	ИП1	П-Х1	61	21	БП	БП	51
10	$\times$	$\times$	12	22	00	00	00
11	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14				

Счет

Ввести в регистр памяти: $\rho_w \rightarrow \text{П0 (Х-П0)}$; $\rho_p \rightarrow \text{П1 (Х-П1)}$.

Набрать: $m_2 \uparrow m_1 \uparrow m$, С/П ($m_2 \uparrow m_1 \uparrow m$, С/П).

После останова на индикаторе ρ .

Набрать соответствующие значения для второго образца и т. д.

Пример

$$m=60 \text{ г}; m_1=68 \text{ г}; m_2=28 \text{ г}; \rho_p=0,9 \text{ г/см}^3; \rho_w=1 \text{ г/см}^3; \rho=1,93 \text{ г/см}^3.$$

б) Метод обратного взвешивания

$$\rho = \frac{m_p \rho_p}{\rho_p (m_4 - m_3) - \rho_w (m_1 - m)},$$

где m_3 — масса сосуда с водой, г; m_4 — масса сосуда с водой с погруженным парафинированным образцом, г.

Программа 11

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П2	Х-П2	42	11	—	—	11
01	—	—	11	12	ИП0	П-Х0	60
02	ИП0	П-Х1	61	13	ИП1	П-Х1	61
03	$\times$	$\times$	12	14	$\times$	$\times$	12
04	F0	F0	25	15	ИП2	П-Х2	62
05	—	—	11	16	$\times$	$\times$	12
06	ИП1	П-Х1	61	17	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14
07	$\times$	$\times$	12	18	$\div$	$\div$	13
08	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14	19	С/П	С/П	50
09	F0	F0	25	20	БП	БП	51
10	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14	21	00	00	00

3. Определение плотности мерзлого грунта

а) Метод прямого взвешивания

$$\rho = \rho_{ni} m / (m - m_1),$$

где m — масса образца, г; m_1 — масса образца в нейтральной жидкости, г; ρ_{ni} — плотность нейтральной жидкости, г/см³.

Программа 12

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	÷	÷	13	05	ИП0	П-Х0	60
01	1	1	01	06	×	×	12
02	↔	↔	14	07	С/П	С/П	50
03	—	—	11	08	БП	БП	51
04	F1/X	F1/X	23	09	00	00	00

Счет

Ввести в регистр памяти: $\rho_{ni} \rightarrow \text{П0 (X-П0)}$.

Набрать: $m_1 \uparrow m$, С/П ($m_1 B \uparrow m$, С/П).

После останова на индикаторе ρ .

Набрать значения для второго образца и т. д.

б) Метод обратного взвешивания

$$\rho = \rho_{ni} m / (m_4 - m_3),$$

где m_3 — масса сосуда с нейтральной жидкостью, г; m_4 — масса сосуда с нейтральной жидкостью и погруженным в нее образцом, г.

Программа 13

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	—	—	11	04	С/П	С/П	50
01	÷	÷	13	05	БП	БП	51
02	ИП0	П-Х0	60	06	00	00	00
03	×	×	12				

Счет

Ввести в регистр памяти: $\rho_{ni} \rightarrow \text{П0 (X-П0)}$.

Набрать: $m \uparrow m_4 \uparrow m_3$, С/П ($m B \uparrow m_4 B \uparrow m_3$, С/П).

$$\rho_s = \rho_w m_0 / (m_0 + m_2 - m_1);$$

$$\rho_s = \rho_{ni} m_0 / (m_0 + m_2 - m_1);$$

$$m_0 = m / (1 + 0,01 W_\theta),$$

где ρ_s — плотность частиц грунта, г/см³; m — масса пробы воздушно-сухого грунта, г; W_θ — гигроскопическая влажность грунта, %; m_0 — масса абсолютно сухого грунта, г; m_1 — масса пикнометра с водой (или нейтральной жидкостью) и грунтом, г; m_2 — масса пикнометра с водой (или нейтральной жидкостью), г; ρ_w — плотность воды, г/см³; ρ_{ni} — плотность нейтральной жидкости, г/см³.

а) Взята навеска абсолютно сухого грунта (m_0)

Программа 14

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	—	—	11	06	ИП0	П-Х0	60
01	↔	↔	14	07	×	×	12
02	÷	÷	13	08	С/П	С/П	50
03	1	1	01	09	БП	БП	51
04	+	+	10	10	00	00	00
05	F1/X	F1/X	23				

Счет

Ввести в регистр памяти: $\rho_w \rightarrow \text{П0 (X-П0)}$ (или $\rho_{ni} \rightarrow \text{П0}$).

Набрать: $m_0 \uparrow m_2 \uparrow m_1$, С/П ($m_0 B \uparrow m_2 B \uparrow m_1$, С/П).

После останова на индикаторе ρ_s .

Набрать значения, соответствующие второму образцу и т. д.

б) Взята навеска воздушно-сухого грунта

Программа 15

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П1	Х-П1	41	11	+	+	10
01	F0	F0	25	12	×	×	12
02	—	—	11	13	1	1	01
03	↔	↔	14	14	+	+	10
04	÷	÷	13	15	F1/X	F1/X	23
05	ИП1	П-Х1	61	16	ИП0	П-Х0	60
06	2	2	02	17	×	×	12

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
07	$\overline{1-}$	$\overline{1-}$	OL	18	С/П	С/П	50
08	F10X	F10X	15	19	БП	БП	51
09	x	x	12	20	00	00	00
10	1	1	01				

Счет

Ввести в регистр памяти: $\rho_w \rightarrow \text{П0 (X-П0)}$.

Набрать: $m \uparrow m_2 \uparrow m_1 \uparrow W$, С/П ($mB \uparrow m_2B \uparrow m_1B$ W, С/П).

После останова на индикаторе ρ_s .

Набрать значения, соответствующие второму образцу и т. д.

Пример

$m=14,57$ г; $W=2\%$; $m_0=14,28$ г; $m_1=139,25$ г; $m_2=130,7$ г;
 $\rho_w=1$ г/см³; $\rho_s=2,49$ г/см³.

5. Определение плотности частиц засоленных грунтов в воде по ГОСТ 5180—84

$$\rho_{sz} = M_0 \left/ \left(\frac{M_3 + M_0 - M_2}{\rho_w} + \frac{(m_4 - m_3)(M_3 - M_1)}{\rho_z(m_3 - m_1)} \right) \right.,$$

где M_0 —масса грунта в пикнометре, г; M_1 —масса большого пикнометра, г; M_2 —масса большого пикнометра с водой и грунтом, г; M_3 —масса большого пикнометра с водой, г; m_1 —масса малого пикнометра, г; m_2 —масса малого пикнометра с водой, г; m_3 —масса малого пикнометра с солевым раствором, г; m_4 —масса малого пикнометра с солевым раствором, г; ρ_z —плотность растворимых солей, г/см³ ($\rho_z=2,2$ г/см³); ρ_w —плотность воды, г/см³; ρ_{sz} —плотность частиц засоленного грунта, г/см³.

Программа 16

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ИП5	П-Х5	65	14	x	x	12
01	—	—	11	15	ИП5	П-Х5	65
02	F0	F0	25	16	ИП4	П-Х4	64
03	—	—	11	17	—	—	11
04	ИП3	П-Х3	63	18	ИП1	П-Х1	61
05	+	+	10	19	x	x	12
06	ИП0	П-Х0	60	20	÷	÷	13
07	÷	÷	13	21	ИП6	П-Х6	66
08	П6	Х-П6	46	22	+	+	10
09	F0	F0	25	23	÷	÷	13
10	↔	↔	14	24	С/П	С/П	50

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
11	ИП3	П-Х3	63	25	БП	БП	51
12	ИП2	П-Х2	62	26	00	00	00
13	—	—	11				

Счет

Ввести в регистры памяти: $\rho_w \rightarrow \text{П0 (X-П0)}$; $2,2 \rightarrow \text{П1 (X-П1)}$; $M_1 \rightarrow \text{П2}$; $M_3 \rightarrow \text{П3}$; $m_1 \rightarrow \text{П4}$; $m_3 \rightarrow \text{П5}$.

Набрать: $M_0 \uparrow M_2 \uparrow m_4$, С/П ($M_0 B \uparrow M_2 B \uparrow m_4$, С/П).

После останова на индикаторе ρ_{sz} .

6. Плотность сухого грунта (скелета), пористость, коэффициент пористости и степень влажности

1) Определение комплекса расчетных характеристик

Основные методы определения этих характеристик—расчетные. Исходными для таких расчетов характеристиками являются: влажность грунта, его плотность и плотность частиц.

$$\rho_d = \rho / (1 + 0,01 W);$$

$$n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} \cdot 100;$$

$$e = \frac{n}{100 - n};$$

$$S_r = \frac{W \rho_d}{n},$$

где ρ , ρ_d , ρ_s —плотность соответственно естественного грунта, его скелета и частиц грунта, г/см³; W —влажность естественного грунта, %; n —пористость, %; e —коэффициент пористости; S_r —степень влажности.

Программа 17

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	17	F10X	F10X	15
01	F0	F0	25	18	x	x	12
02	↔	↔	14	19	П3	Х-П3	43
03	П1	Х-П1	41	20	ИП1	П-Х1	61
04	2	2	02	21	ИП2	П-Х2	62
05	F10X	F10X	22	22	x	x	12

Продолжение программы 17

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
06	÷	÷	13	23	↔	↔	14
07	1	1	01	24	÷	÷	13
08	+	+	10	25	ИП0	П-Х0	60
09	÷	÷	13	26	ИП2	П-Х2	62
10	П2	Х-П2	42	27	÷	÷	13
11	ИП0	П-Х0	60	28	1	1	01
12	÷	÷	13	29	—	—	11
13	1	1	01	30	С/П	С/П	50
14	↔	↔	14	31	БП	БП	51
15	—	—	11	32	00	00	00
16	2	2	02				

Счет

Набрать: $W \uparrow \rho \uparrow \rho_s$, С/П ($W B \uparrow \rho B \uparrow \rho_s$, С/П).
 После останова на индикаторе e .
 Нажать ↔ (↔)—на индикаторе S_r ; ИП2 (П-Х2)—на индикаторе ρ_d ; ИП3 (П-Х3)—на индикаторе n .
 Набрать соответствующие значения для второго образца и т. д.

Пример

$W=5\%$; $\rho=1,84 \text{ г/см}^3$; $\rho_s=2,5 \text{ г/см}^3$; $\rho_d=1,75 \text{ г/см}^3$; $n=29,9\%$;
 $e=0,427$; $S_r=0,29$.

2) Определение плотности сухого грунта (скелета грунта)

а) Известны плотность грунта и влажность

$$\rho_d = \rho / (1 + 0,01 W).$$

Программа 18

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	↑	$B \uparrow$	0E	05	+	+	10
01	2	2	02	06	÷	÷	13
02	F10X	F10X	15	07	С/П	С/П	50
03	÷	÷	13	08	БП	БП	51
04	1	1	01	09	00	00	00

Счет

Набрать: $\rho \uparrow W$, С/П ($\rho B \uparrow W$, С/П).
 После останова на индикаторе ρ_d .
 Набрать соответствующие значения для следующего образца и т. д.
 б) Известны плотность частиц и коэффициент пористости

$$\rho_d = \rho_s / (e + 1).$$

Программа 19

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	↑	$B \uparrow$	0E	04	С/П	С/П	50
01	1	1	01	05	БП	БП	51
02	+	+	10	06	00	00	00
03	÷	÷	13				

Счет

Набрать $\rho_s \uparrow e$, С/П ($\rho_s B \uparrow e$, С/П).

После останова на индикаторе ρ_d .

Набрать соответственно значения для следующего образца и т. д.
 в) Известны плотность частиц и пористость

$$\rho_d = \rho_s (1 - 0,01 n).$$

Программа 20

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	↑	$B \uparrow$	0E	06	—	—	11
01	2	2	02	07	×	×	12
02	F10X	F10X	15	08	С/П	С/П	50
03	÷	÷	13	09	БП	БП	51
04	1	1	01	10	00	00	00
05	↔	↔	14				

Счет

Набрать: $\rho_s \uparrow n$, С/П ($\rho_s B \uparrow n$, С/П).

После останова на индикаторе ρ_d .

Набрать соответственно значения для следующего образца и т. д.

3) Определение пористости грунта

а) Известны плотность скелета и плотность частиц грунта

$$n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} \cdot 100.$$

Программа 21

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	÷	÷	13	05	F10X	F10X	15
01	1	1	01	06	×	×	12
02	↔	↔	14	07	С/П	С/П	50
03	—	—	11	08	БП	БП	51
04	2	2	02	09	00	00	00

Счет

Набрать: $\rho_d \uparrow \rho_s$, С/П ($\rho_d \downarrow \rho_s$, С/П).

После останова на индикаторе n .

Набрать соответственно значения для следующего образца и т. д.

б) Известны плотность грунта, плотность частиц и влажность

$$n = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s (1 + 0,01 W)} \right) \cdot 100.$$

Программа 22

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	$\uparrow$	$B \uparrow$	0E	08	1	1	01
01	2	2	02	09	$\neq$	$\leftrightarrow$	14
02	F10X	F10X	15	10	—	—	11
03	$\div$	$\div$	13	11	2	2	02
04	1	1	01	12	F10X	F10X	15
05	+	+	10	13	x	x	12
06	x	x	12	14	С/П	С/П	50
07	$\div$	$\div$	13	15	БП	БП	51
				16	00	00	00

Счет

Набрать: $\rho \uparrow \rho_s \uparrow W$, С/П ($\rho \downarrow \rho_s \downarrow W$, С/П).

После останова на индикаторе n .

Набрать соответственно значения для следующего образца и т. д.

в) Известен коэффициент пористости

$$n = 100e / (1 + e).$$

Программа 23

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	F1/X	F1/X	23	05	F10X	F10X	15
01	1	1	01	06	x	x	12
02	+	+	10	07	С/П	С/П	50
03	F1/X	F1/X	23	08	БП	БП	51
04	2	2	02	09	00	00	00

Счет

Набрать: e , С/П.

После останова на индикаторе n .

Набрать значение e для следующего образца, С/П и т. д.

4) Определение коэффициента пористости

а) Известны плотность частиц и плотность скелета грунта

$$e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d.$$

Программа 24

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	$\div$	$\div$	13	03	С/П	С/П	50
01	1	1	01	04	БП	БП	51
02	—	—	11	05	00	00	00

Счет

Набрать: $\rho_s \uparrow \rho_d$, С/П ($\rho_s \downarrow \rho_d$, С/П).

После останова на индикаторе e .

Набрать соответственно значения для следующего образца и т. д.

б) Известны плотность грунта, плотность частиц и влажность

$$e = \frac{\rho_s (1 + 0,01 W)}{\rho} - 1.$$

Программа 25

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	$\uparrow$	$B \uparrow$	0E	07	$\neq$	$\leftrightarrow$	14
01	2	2	02	08	$\div$	$\div$	13
02	F10X	F10X	15	09	1	1	01
03	$\div$	$\div$	13	10	—	—	11
04	1	1	01	11	С/П	С/П	50
05	+	+	10	12	БП	БП	51
06	x	x	12	13	00	00	00

Счет

Набрать: $\rho \uparrow \rho_s \uparrow W$, С/П ($\rho \downarrow \rho_s \downarrow W$, С/П).

После останова на индикаторе e .

Набрать соответственно значения для следующего образца и т. д.

в) Известна пористость

$$e = n / (100 - n).$$

Программа 26

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	$\uparrow$	$B \uparrow$	0E	06	—	—	11
01	2	2	02	07	F1/X	F1/X	23
02	F10X	F10X	15	08	С/П	С/П	50
03	$\neq$	$\leftrightarrow$	14	09	БП	БП	51
04	$\div$	$\div$	13	10	00	00	00

Счет

Набрать: n , С/П.

После останова на индикаторе e .

Набрать значение n для следующего образца, С/П и т. д.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТОВ

Для расчета характеристик водонасыщенных грунтов могут быть использованы все вышеприведенные универсальные уравнения и программы.

1. Определение коэффициента пористости водонасыщенных грунтов

а) Известны влажность и плотность частиц грунта

$$e = 0,01 W \rho_s$$

Программа 27

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	x	x	12	04	÷	÷	13
01	1	1	01	05	С/П	С/П	50
02	0	0	00	06	БП	БП	51
03	0	0	00	07	00	00	00

Счет

Набрать $W \uparrow \rho_s$, С/П ($W B \uparrow \rho_s$, С/П).

После останова на индикаторе e .

Набрать соответственно значения для следующего образца и т. д.

б) Известны плотность и плотность частиц грунта

$$e = (\rho_s - \rho) / (\rho - 1)$$

Программа 28

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	—	—	11	04	÷	÷	13
01	FBX	FBX	0	05	С/П	С/П	50
02	1	1	01	06	БП	БП	51
03	—	—	11	07	00	00	00

Счет

Набрать: $\rho_s \uparrow \rho$, С/П ($\rho_s B \uparrow \rho$, С/П).

После останова на индикаторе e .

Набрать соответственно значения для следующего образца и т. д.

Пример

$$\rho_s = 2,7 \text{ г/см}^3; W = 30\%; \rho = 1,939 \text{ г/см}^3; e = 0,81.$$

2. Определение плотности водонасыщенного грунта

а) Известны плотность частиц и коэффициент пористости

$$\rho = (\rho_s + e) / (e + 1)$$

Программа 29

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	+	+	10	04	÷	÷	13
01	FBX	FBX	0	05	С/П	С/П	50
02	1	1	01	06	БП	БП	51
03	+	+	10	07	00	00	00

Счет

Набрать: $\rho_s \uparrow e$, С/П ($\rho_s B \uparrow e$, С/П).

После останова на индикаторе ρ .

Набрать соответственно значения для следующего образца и т. д.

б) Известны влажность и плотность частиц

$$\rho = \frac{1 + 0,01 W}{0,01 W + 1/\rho_s}$$

Программа 30

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	F1/X	F1/X	23	08	1	1	01
01	↔	↔	14	09	+	+	10
02	1	1	01	10	↔	↔	14
03	0	0	00	11	÷	÷	13
04	0	0	00	12	С/П	С/П	50
05	÷	÷	13	13	БП	БП	51
06	+	+	10	14	00	00	00
07	FBX	FBX	0				

Счет

Набрать: $W \uparrow \rho_s$, С/П ($W B \uparrow \rho_s$, С/П).

После останова на индикаторе ρ .

Набрать соответственно значения для следующего образца и т. д.

3. Определение плотности скелета водонасыщенного грунта

а) Известны влажность и плотность частиц

$$\rho_d = 1 / (0,01 W + 1/\rho_s)$$

Программа 31

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	F1/X	F1/X	23	06	+	+	10
01	↔	↔	14	07	F1/X	F1/X	23
02	1	1	01	08	С/П	С/П	50
03	0	0	00	09	БП	БП	51
04	0	0	00	10	00	00	00
05	÷	÷	13				

Счет

Набрать: $W \uparrow \rho_s$, С/П ($W B \uparrow \rho_s$, С/П).

После останова на индикаторе ρ_d .

Набрать соответственно значения для следующего образца и т. д.

б) Известны пористость и влажность

$$\rho_d = n/W.$$

Программа 32

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	÷	÷	13	02	БП	БП	51
01	С/П	С/П	50	03	00	00	00

Счет

Набрать: $n \uparrow W$, С/П ($n B \uparrow W$, С/П).

После останова на индикаторе ρ_d .

Набрать соответственно значения для следующего образца и т. д.

в) Известны влажность и коэффициент пористости

$$\rho_d = \frac{100e}{W(1+e)}.$$

Программа 33

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	F1/X	F1/X	23	06	0	0	00
01	1	1	01	07	↔	↔	14
02	+	+	10	08	÷	÷	13
03	×	×	12	09	С/П	С/П	50
04	1	1	01	10	БП	БП	51
05	0	0	00	11	00	00	00

Счет

Набрать: $W \uparrow e$, С/П ($W B \uparrow e$, С/П).

После останова на индикаторе ρ_d .

Набрать соответственно значения для следующего образца и т. д.

4. Определение влажности водонасыщенного грунта

а) Известны коэффициент пористости и плотность частиц грунта

$$W = 100e/\rho_s.$$

Программа 34

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	÷	÷	13	04	×	×	12
01	1	1	01	05	С/П	С/П	50
02	0	0	00	06	БП	БП	51
03	0	0	00	07	00	00	00

Счет

Набрать: $e \uparrow \rho_s$, С/П ($e B \uparrow \rho_s$, С/П).

После останова на индикаторе W .

Набрать соответственно значения для следующего образца и т. д.

б) Известны пористость и плотность скелета грунта

$$W = n/\rho_d.$$

Программа 35

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	÷	÷	13	02	БП	БП	51
01	С/П	С/П	50	03	00	00	00

Счет

Набрать: $n \uparrow \rho_d$, С/П ($n B \uparrow \rho_d$, С/П).

После останова на индикаторе W .

Набрать соответственно значения для следующего образца и т. д.

в) Известны коэффициент пористости и плотность скелета грунта

$$W = \frac{100e}{\rho_d(1+e)}.$$

Программа 36

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	F1/X	F1/X	23	06	0	0	00
01	1	1	01	07	↔	↔	14
02	+	+	10	08	÷	÷	13
03	×	×	12	09	С/П	С/П	50
04	1	1	01	10	БП	БП	51
05	0	0	00	11	00	00	00

Счет

Набрать: $p_d \uparrow e$, С/П ($p_d B \uparrow e$, С/П).

После останова на индикаторе W.

Набрать соответственно значения для следующего образца и т. д.

Степень плотности песков

D —степень пористости песка; n , e —пористость и коэффициент пористости песка естественного сложения; $n_{\max}$, $e_{\max}$ —то же, при рыхлом сложении песка; $n_{\min}$, $e_{\min}$ —то же, при плотном сложении песка.

$$1. D = \frac{(n_{\max} - n) \cdot (100 - n_{\min})}{(n_{\max} - n_{\min}) \cdot (100 - n)}$$

Программа 37

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	10	F10X	F10X	15
01	↔	↔	14	11	↔	↔	14
02	—	—	11	12	—	—	11
03	FBX	FBX	0	13	FBX	FBX	0
04	2	2	02	14	ИП0	П-Х0	60
05	F10X	F10X	15	15	—	—	11
06	—	—	11	16	÷	÷	13
07	÷	÷	13	17	×	×	12
08	↔	↔	14	18	С/П	С/П	50
09	2	2	02	19	БП	БП	51
				20	00	00	00

Счет

Набрать: $n_{\min} \uparrow n \uparrow n_{\max}$, С/П ($n_{\min} B \uparrow n B \uparrow n_{\max}$, С/П).

После останова на индикаторе D.

Набрать соответственно значения для следующего образца и т. д.

$$2. D = (e_{\max} - e) / (e_{\max} - e_{\min})$$

Программа 38

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	05	÷	÷	13
01	—	—	11	06	С/П	С/П	50
02	↔	↔	14	07	БП	БП	51
03	ИП0	П-Х0	60	08	00	00	00
04	—	—	11				

Счет

Набрать: $e_{\min} \uparrow e \uparrow e_{\max}$, С/П ($e_{\min} B \uparrow e B \uparrow e_{\max}$, С/П).

После останова на индикаторе D.

Набрать соответственно значения для следующего образца и т. д.

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Ситовой анализ

1. Сухое рассеивание (8 фракций)

$$X_i = \frac{M_i - m_i}{\sum_{i=1}^8 (M_i - m_i)} \cdot 100,$$

где X_i —содержание данной фракции, %; M_i —масса фракции с тарой, г; m_i —масса тары, г.

Программа 39

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	—	—	11	16	ПВ	Х-Пb	4L
01	ПА	Х-Па	4—	17	8	8	08
02	7	7	07	18	П0	Х-П0	40
03	П0	Х-П0	40	19	1	1	01
04	1	1	01	20	1	1	01
05	0	0	00	21	П1	Х-П1	41
06	П1	Х-П1	41	22	П2	Х-П2	42
07	FX ²	FX ²	22	23	КИП1	КП-Х1	Г1
08	ИПА	П-Ха	6—	24	ИПВ	П-Хb	6L
09	С/П	С/П	50	25	×	×	12
10	—	—	11	26	КП2	КХ-П2	L2
11	КП1	КХ-П1	L1	27	FL0	FL0	5Г
12	+	+	10	28	23	23	23
13	FL0	FL0	5Г	29	С/П	С/П	50
14	9	9	09	30	БП	БП	51
15	÷	÷	13	31	00	00	00

Счет

Набрать: $M_1 \uparrow m_1$, С/П ($M_1 B \uparrow m_1$, С/П).

После останова набрать $M_2 \uparrow m_2$, С/П ($M_2 B \uparrow m_2$, С/П) и т. д. до $M_8 \uparrow m_8$, С/П ($M_8 B \uparrow m_8$, С/П).

После останова в регистрах памяти А (а), 9, 8, 7, 6, 5, 4 и 3 записаны содержания фракций соответственно с 1 по 8. Для их индикации: ИПА (П-Ха) $\rightarrow X_1$; ИП9 (П-Х9) $\rightarrow X_2$; ИП8 (П-Х8) $\rightarrow X_3$; ИП7 (П-Х7) $\rightarrow X_4$; ИП6 (П-Х6) $\rightarrow X_5$; ИП5 (П-Х5) $\rightarrow X_6$; ИП4 (П-Х4) $\rightarrow X_7$; ИП3 (П-Х3) $\rightarrow X_8$.

Выполнить все операции счета для следующего образца и т. д.

Пример

$N_{\text{фр}}$	1	22	3	4	5	6	7	8
M_i	21	22	22,5	23	23,5	24	24,5	25
X_i	3,92	7,84	9,8	11,76	13,72	15,69	17,65	19,61

2. Мокрое рассеивание

Метод применяется для глинистых грунтов. Используется образец с естественной влажностью. Производится разделение на 8 фракций, содержание последней (восьмой) фракции находят по разности

$$X_i = \frac{M_i - m_i}{g} \cdot (100 + W),$$

где g — навеска образца, г; W — влажность образца, %.

Счет

Набрать: $g \uparrow W$, С/П ($g B \uparrow W$, С/П).

После останова набрать $M_1 \uparrow m_1$, С/П ($M_1 B \uparrow m_1$, С/П), после останова $M_2 \uparrow m_2$, С/П ($M_2 B \uparrow m_2$, С/П) и т. д. до $M_7 \uparrow m_7$, С/П ($M_7 B \uparrow m_7$, С/П).

После останова индцировать содержания фракций, вызывая их из регистров памяти:

ИП9 (П-Х9) $\rightarrow X_1$; ИП8 (П-Х8) $\rightarrow X_2$; ИП7 (П-Х7) $\rightarrow X_3$;

ИП6 (П-Х6) $\rightarrow X_4$; ИП5 (П-Х5) $\rightarrow X_5$; ИП4 (П-Х4) $\rightarrow X_6$;

ИП3 (П-Х3) $\rightarrow X_7$; ИП2 (П-Х2) $\rightarrow X_8$.

Выполнить все операции счета для следующего образца и т. д.

Программа 40

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	$\uparrow$	$B \uparrow$	0E	17	С/П	С/П	50
01	1	1	01	18	—	—	11
02	0	0	00	19	ИПА	П-Ха	6—
03	0	0	00	20	×	×	12
04	+	+	10	21	КП1	КХ-П1	L1

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
05	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14	22	+	+	10
06	$\div$	$\div$	13	23	FL0	FL0	5Г
07	ПА	Х-Па	4—	24	17	17	17
08	6	6	06	25	1	1	01
09	П0	Х-П0	40	26	0	0	00
10	9	9	09	27	0	0	00
11	П1	Х-П1	41	28	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14
12	С/П	С/П	50	29	—	—	11
13	—	—	11	30	П2	Х-П2	42
14	ИПА	П-Ха	6—	31	С/П	С/П	50
15	×	×	12	32	БП	БП	51
16	П9	Х-П9	49	33	00	00	00

Пример

$g=30$ г; $W=17,65\%$; $m_i=20$ г

$N_{\text{фр}}$	1	2	3	4	5	6	7	8
M_i	21	22	22,5	23	23,5	24	24,5	—
X_i	3,92	7,84	9,8	11,76	13,72	15,69	17,65	19,61

Метод отмучивания

1. Скорость оседания частиц

и время отстаивания суспензии по Стоксу

$$V = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\rho_s - \rho_w}{\eta},$$

где V — скорость оседания частиц, см/с; g — ускорение свободного падения, см/с²; r — радиус частиц, см; d — диаметр частиц, см; ρ_s — плотность частиц, г/см³; ρ_w — плотность воды, г/см³; η — коэффициент вязкости воды, Па·с.

Программа 41

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	FX^2	FX^2	22	09	ИП3	П-Х3	63
01	4	4	04	10	$\div$	$\div$	13
02	$\div$	$\div$	13	11	2	2	02
03	ИП0	П-Х0	60	12	×	×	12
04	×	×	12	13	9	9	09
05	ИП1	П-Х1	61	14	$\div$	$\div$	13
06	ИП2	П-Х2	62	15	С/П	С/П	50
07	—	—	11	16	БП	БП	51
08	×	×	12	17	00	00	00

Счет

Ввести в регистры памяти: $g \rightarrow \text{П0 (X-П0)}$; $\rho_s \rightarrow \text{П1 (X-П1)}$;
 $\rho_w \rightarrow \text{П2 (X-П2)}$; $\eta \rightarrow \text{П3 (X-П3)}$.

Набрать: d , С/П.

После останова на индикаторе V .

Набрать следующее значение d С/П и т. д.

$$t = \frac{4,5h\eta}{gr^2(\rho_s - \rho_w)},$$

где t — время оседания частиц, с; h — высота, см.

Программа 42

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	FX^2	FX^2	22	10	ИП4	П-Х4	64
01	4	4	04	11	×	×	12
02	÷	÷	13	12	ИПЗ	П-ХЗ	63
03	ИП0	П-Х0	60	13	×	×	12
04	×	×	12	14	↔	↔	14
05	ИП1	П-Х1	61	15	÷	÷	13
06	ИП2	П-Х2	62	16	С/П	С/П	50
07	—	—	11	17	БП	БП	51
08	×	×	12	18	00	00	00
09	↔	↔	14				

Счет

Ввести в регистры памяти: $g \rightarrow \text{П0 (X-П0)}$; $\rho_s \rightarrow \text{П1 (X-П1)}$;
 $\rho_w \rightarrow \text{П2 (X-П2)}$; $\eta \rightarrow \text{П3 (X-П3)}$; 4, 5 $\rightarrow \text{П4 (X-П4)}$.

Набрать: $h \uparrow d$, С/П ($h \uparrow d$, С/П).

После останова на индикаторе t .

Набрать значения h и d для следующего образца, С/П и т. д.

2. Гранулометрический анализ методом отмучивания (по А. Н. Сабанину)

Метод заключается в разделении грунта на фракции по скорости падения частиц, взвешенных в спокойной жидкости. Многократным отмыванием достигается исчерпывающее выделение данной фракции:

$$m_0 = \frac{m}{1 + 0,01W} - \frac{(M' - m')V}{200};$$

$$X_i = \frac{(M_i - m_i) \cdot (100 - B)}{m_0},$$

где m_0 — масса пробы с поправкой на гигроскопическую влажность и растворимые соли, г; m — масса пробы, взятой для анализа (навески),

г; W — гигроскопическая влажность грунта, %; M' — масса стаканчика с солями, г; m' — масса пустого стаканчика, г; V — общий объем раствора, полученного при отмывании солей, мл; B — содержание фракции крупнее 0,5 мм, %; M_i — масса фракции с тарой, г; m_i — масса соответствующей тары, г; X_i — содержание данной фракции, %.

а) Гранулометрический анализ незасоленных грунтов

К незасоленным относятся грунты с содержанием солей менее 1%.

Счет

Ввести регистры памяти: $B \rightarrow \text{ПВ (X-Пb)}$; $m \rightarrow \text{ПС (X-Пc)}$;
 $M_2 (0,25 - 0,5) \rightarrow \text{ПА (X-Па)}$; $m_2 \rightarrow \text{П9 (X-П9)}$; $M_3 (0,1 - 0,25) \rightarrow \text{П8 (X-П8)}$;
 $m_3 \rightarrow \text{П7 (X-П7)}$; $M_4 (0,05 - 0,1) \rightarrow \text{П6 (X-П6)}$; $m_4 \rightarrow \text{П5 (X-П5)}$;
 $M_5 (0,01 - 0,05) \rightarrow \text{П4 (X-П4)}$; $m_5 \rightarrow \text{П3 (X-П3)}$.

Набрать: W , С/П.

После останова:

Программа 43

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	↑	$B \uparrow$	0E	27	П2	Х-П2	42
01	1	1	01	28	СХ	СХ	0Г
02	0	0	00	29	КИП1	КП-Х1	ГП
03	0	0	00	30	КИП1	КП-Х1	ГП
04	÷	÷	13	31	—	—	11
05	Г	Г	01	32	ИПС	П-Хс	6Г
06	+	+	10	33	×	×	12
07	ИПС	П-Хс	6Г	34	КП2	КХ-П2	Л2
08	↔	↔	14	35	+	+	10
09	÷	÷	13	36	FL0	FL0	5Г
10	1	1	01	37	29	29	29
11	0	0	00	38	ИП9	П-Х9	69
12	0	0	00	39	+	+	10
13	ИПВ	П-Хb	6L	40	ИПВ	П-Хb	6L
14	—	—	11	41	+	+	10
15	↔	↔	14	42	1	1	01
16	÷	÷	13	43	0	0	00
17	ПС	Х-Пс	4С	44	0	0	00
18	ИПА	П-Ха	6—	45	↔	↔	14
19	ИП9	П-Х9	60	46	—	—	11
20	—	—	11	47	П5	Х-П5	45
21	×	×	12	48	ИПС	П-Хс	6Г
22	П9	Х-П9	49	49	÷	÷	13
23	3	3	03	50	П4	Х-П4	44
24	П0	Х-П0	40	51	С/П	С/П	50
25	9	9	09	52	БП	БП	51
26	П1	Х-П1	41	53	00	00	00

ИПВ (П-Хb) $\rightarrow X_1 (> 0,5)$

ИП9 (П-Х9) $\rightarrow X_2 (0,25 - 0,5)$

ИП8 (П-Х8) $\rightarrow X_3 (0,1 - 0,25)$

ИП7 (П-Х7) $\rightarrow X_4 (0,05 - 0,1)$

ИП6(П-Х6) → X₅(0,01—0,05)

ИП5(П-Х5) → X₆(<0,01)

ИП5(П-Х4) → m₆(<0,01)

Примечание: последняя величина m₆(<0,01) нужна при проведении анализа комбинированным методом отмучивания—пипетки.

Пример

B=10%; m=19,8 г; W=10%;

M₂=22 г; m₂=20 г;

M₃=23 г; m₃=20 г;

M₄=24 г; m₄=20 г;

M₅=25 г; m₅=20 г;

X₁=10%; X₂=10%; X₃=15%; X₄=20%; X₅=25%; X₆=20%; m₆=4 г.

б) Гранулометрический анализ засоленных грунтов

Содержание солей в грунтах более 1%.

Программа 44

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	—	—	11	32	П0	Х-П0	40
01	×	×	12	33	9	9	09
02	2	2	02	34	П1	Х-П1	41
03	0	0	00	35	П2	Х-П2	42
04	0	0	00	36	СХ	СХ	0Г
05	÷	÷	13	37	КИП1	КП-Х1	Г1
06	↔	↔	14	38	КИП1	КП-Х1	Г1
07	1	1	01	39	—	—	11
08	0	0	00	40	ИПС	П-Хс	6 [
09	0	0	00	41	×	×	12
10	÷	÷	13	42	КП2	КХ-П2	L2
11	1	1	01	43	+	+	10
12	+	+	10	44	FL0	FL0	5Г
13	ИПС	П-Хс	6 [	45	37	37	37
14	↔	↔	14	46	ИП9	П-Х9	69
15	÷	÷	13	47	+	+	10
16	↔	↔	14	48	ИПВ	П-Хв	6L
17	—	—	11	49	+	+	10
18	1	1	01	50	1	1	01
19	0	0	00	51	0	0	00
20	0	0	00	52	0	0	00
21	ИПВ	П-Хв	6L	53	↔	↔	14
22	—	—	11	54	—	—	11
23	↔	↔	14	55	П5	Х-П5	45
24	÷	÷	13	56	ИПС	П-Хс	6 [
25	ПС	Х-Пс	4 [	57	÷	÷	13
26	ИПА	П-Ха	6—	58	П4	Х-П4	44
27	ИП9	П-Х9	69	59	С/П	С/П	50
28	—	—	11	60	БП	БП	51
29	×	×	12	61	00	00	00
30	П9	Х-П9	49				
31	3	3	03				

Счет

Ввести в регистры памяти: B → ПВ(Х-Пв);

m → ПС(Х-Пс); M₂(0,25—0,5) → ПА(Х-Па);

m₂ → П9(Х-П9); M₃(0,1—0,25) → П8(Х-П8);

m₃ → П7(Х-П7); M₄(0,05—0,1) → П6(Х-П6);

m₄ → П5(Х-П5); M₅(0,01—0,05) → П4(Х-П4);

m₅ → ПЗ(Х-ПЗ).

Набрать: W↑V↑M'↑m', С/П (WB↑VB↑M'VB↑m', С/П).

После останова: ИПВ(П-Хв) → X₁(>0,5);

ИП9(П-Х9) → X₂(0,25—0,5);

ИП8(П-Х8) → X₃(0,1—0,25);

ИП7(П-Х7) → X₄(0,05—0,1);

ИП6(П-Х6) → X₅(0,01—0,05);

ИП5(П-Х5) → X₆(<0,01);

ИП4(П-Х4) → m₆(<0,01).

Примечание: последняя величина m₆(<0,01) нужна при проведении анализа комбинированным методом отмучивания—пипетки.

Пример

B=10%; m=20,9 г; W=10%; M'=25,20 г; m'=25 г; V=1000 мл;

M₂=22 г; m₂=20 г;

M₃=23 г; m₃=20 г;

M₄=24 г; m₄=20 г;

M₅=25 г; m₅=20 г;

X₁=10%; X₂=10%; X₃=15%; X₄=20%; X₅=25%; X₆=20%; m₆=4 г.

в) Комбинированный метод гранулометрического анализа (отмучивания—пипетки)

Содержание фракций крупнее 0,01 мм определяется методом отмучивания. Фракция с размером частиц менее 0,01 мм, выделенная методом отмучивания, исследуется методом пипетки:

$$X_{<0,005} = \frac{(M_1 - m_1 - A) V_1 X_{<0,01}}{V_2 m_{<0,01}},$$

где X_{<0,005}—содержание фракции мельче 0,005 мм, %; M₁—масса стаканчика с частицами мельче 0,005 мм, г; m₁—масса пустого стаканчика, г; M₂—масса стаканчика с частицами мельче 0,001 мм, г; m₂—масса соответствующего стаканчика, г; V₁—объем суспензии, содержащей фракцию <0,01 мм, мл (выделен методом отмучивания); V₂—объем пипетки, мл; X_{<0,01}—содержание фракции <0,01 мм, % (определено методом отмучивания); m_{<0,01}—масса фракции <0,01 мм, г (определена методом отмучивания); A—поправка на пирофосфат, г.

Программа 45

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	16	ИП4	П-Х4	64
01	↔	↔	14	17	—	—	11
02	÷	÷	13	18	ИП8	П-Х8	68
03	ИП5	П-Х5	65	19	—	—	11
04	×	×	12	20	ИП7	П-Х7	67
05	ИП6	П-Х6	66	21	×	×	12
06	÷	÷	13	22	ПС	Х-Пс	4[
07	÷	Х-П7	47	23	ИП0	П-Х0	60
08	ИП1	П-Х1	61	24	ИПВ	П-Хb	6L
09	ИП3	П-Х3	63	25	—	—	11
10	—	—	11	26	ПА	Х-Па	4—
11	ИП8	П-Х8	68	27	ИПВ	П-Хb	6L
12	—	—	11	28	ИПС	П-Хс	6[
13	×	×	12	29	—	—	11
14	ПВ	Х-Пb	4L	30	ПВ	Х-Пb	4L
15	ИП2	П-Х2	62	31	С/П	С/П	50
				32	БП	БП	51
				33	00	00	00

Счет

Ввести в регистр памяти: $X_{<0,01} \rightarrow \text{П0}(Х\text{-П0})$; $M_1 \rightarrow \text{П1}(Х\text{-П1})$; $M_2 \rightarrow \text{П2}(Х\text{-П2})$; $m_1 \rightarrow \text{П3}(Х\text{-П3})$; $m_2 \rightarrow \text{П4}(Х\text{-П4})$; $V_1 \rightarrow \text{П5}(Х\text{-П5})$; $V_2 \rightarrow \text{П6}(Х\text{-П6})$; $A \rightarrow \text{П8}(Х\text{-П8})$.

Набрать: $m_{<0,01} \uparrow X_{<0,01}$, С/П ($m_{<0,01} \uparrow X_{<0,01}$, С/П).

После останова: $\text{ИПА}(\text{П-Хa}) \rightarrow X_{0,01-0,005}$;
 $\text{ИПВ}(\text{П-Хb}) \rightarrow X_{0,005-0,001}$;
 $\text{ИПС}(\text{П-Хc}) \rightarrow X_{<0,001}$.

Пример

$X_{<0,01} = 20\%$; $M_1 = 20,175$ г; $M_2 = 20,15$ г; $m_1 = 20$ г; $m_2 = 20$ г;
 $V_1 = 1000$ мл; $V_2 = 25$ мл; $A = 0,1$ г; $m_{<0,01} = 4$ г;

$X_{0,01-0,005} = 5\%$; $X_{0,005-0,001} = 5\%$; $X_{<0,001} = 10\%$.

г) Гранулометрический анализ методом пипетки

Фракции крупнее 0,1 мм выделяются ситовым методом, содержание фракций мельче 0,05 мм — пипеточным методом. Содержание фракции с размером частиц 0,05—0,1 мм определяется по разности:

$$m_0 = \frac{m}{1 + 0,01W} \frac{(M' - m')V'}{200};$$

$X_i = (M_i - m_i) \cdot (100 - B) / m_0$ (для фракций крупнее 0,1 мм);

$X_i = (M_i - m_i - A) \cdot (100 - B) \cdot 1000 / V_n m_0$ (для фракций мельче 0,05 мм),

где m — масса (навеска) пробы грунта, г; W — гигроскопическая влажность грунта, %; M' — масса растворимых солей, содержащихся в выде-

ленной пробе, с тарой, г; m' — масса соответствующей тары, г; V' — объем раствора, полученного при выщелачивании солей, мл; m_0 — масса пробы грунта с поправками на влажность и растворимые соли, г; X_i — содержание данной фракции, %; M_i — масса пробы фракции с тарой, г; m_i — масса соответствующей тары, г; B — содержание фракции крупнее 0,5 мм, %; V_n — объем пипетки, мл; A — поправка на пирофосфат, г.

Программа 46

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	—	—	11	42	÷	÷	13
01	КП1	КХ-П1	L1	43	ПС	Х-Пс	4[
02	С/П	С/П	50	44	4	4	04
03	FL0	FL0	5Г	45	П0	Х-П0	40
04	00	00	00	46	7	7	07
05	—	—	11	47	П1	Х-П1	41
06	×	×	12	48	П2	Х-П2	42
07	2	2	02	49	КИП1	КП-Х1	Г1
08	0	0	00	50	ИП9	П-Х9	69
09	0	0	00	51	—	—	11
10	÷	÷	13	52	ИПС	П-Хс	6[
11	↔	↔	14	53	×	×	12
12	ИПА	П-Хa	6—	54	КП2	КХ-П2	L2
13	2	2	02	55	FL0	FL0	5Г
14	F10X	F10X	15	56	49	49	49
15	÷	÷	13	57	ИП4	П-Х4	64
16	1	1	01	58	ИП3	П-Х3	63
17	+	+	10	59	П2	Х-П2	42
18	÷	÷	13	60	—	—	41
19	↔	↔	14	61	П3	Х-П3	43
20	—	—	11	62	ИП5	П-Х5	65
21	2	2	02	63	ИП4	П-Х4	64
22	F10X	F10X	15	64	—	—	11
23	ИПВ	П-Хb	6L	65	П4	Х-П4	44
24	—	—	11	66	ИП6	П-Х6	66
25	↔	↔	14	67	ИП5	П-Х5	65
26	÷	÷	13	68	—	—	11
27	ПД	Х-Пd	4Г	69	П5	Х-П5	45
28	6	6	06	70	2	2	02
29	П0	Х-П0	40	71	F10X	F10X	15
30	9	9	09	72	ИП6	П-Х6	66
31	П1	Х-П1	41	73	—	—	11
32	П2	Х-П2	42	74	ИП7	П-Х7	67
33	КИП1	КП-Х1	Г1	75	—	—	11
34	ИПД	П-Хd	6Г	76	ИП8	П-Х8	68
35	×	×	12	77	—	—	11
36	КП2	КХ-П2	L2	78	ИПВ	П-Хb	6L
37	FL0	FL0	5Г	79	—	—	11
38	33	33	33	80	П6	Х-П6	46
39	3	3	03	81	С/П	С/П	50
40	F10X	F10X	15	82	БП	БП	51
41	ИПС	П-Хс	6[	83	00	00	00

Счет

Ввести в регистр памяти: $W \rightarrow \text{ПА}(\text{Х-Па})$; $B \rightarrow \text{ПВ}(\text{Х-Пв})$; $V_n \rightarrow \text{ПС}(\text{Х-Пс})$; $A \rightarrow \text{П9}(\text{Х-П9})$; $6 \rightarrow \text{П0}(\text{Х-П0})$; $9 \rightarrow \text{П1}(\text{Х-П1})$.

Набрать: $M_1 \uparrow m_1$ ($M_1 B \uparrow m_1$) — для фракции 0,25—0,5 мм, С/П.

После останова набрать: $M_2 \uparrow m_2$ ($M_2 B \uparrow m_2$) — для фракции 0,1—0,25 мм, С/П.

После останова: $M_3 \uparrow m_3$ (фракция < 0,05 мм), С/П.

После останова: $M_4 \uparrow m_4$ (фракция < 0,01 мм), С/П.

После останова: $M_5 \uparrow m_5$ (фракция < 0,005 мм), С/П.

После останова: $M_6 \uparrow m_6$ (фракция < 0,001 мм), С/П.

После останова: $m \uparrow V' \uparrow M' \uparrow m'$, С/П.

После останова: ИП8 (П-Х8) $\rightarrow X_{0,25-0,5}$;
ИП7 (П-Х7) $\rightarrow X_{0,1-0,25}$;
ИП6 (П-Х6) $\rightarrow X_{0,05-0,1}$;
ИП5 (П-Х5) $\rightarrow X_{0,01-0,05}$;
ИП4 (П-Х4) $\rightarrow X_{0,005-0,01}$;
ИП3 (П-Х3) $\rightarrow X_{0,001-0,005}$;
ИП2 (П-Х2) $\rightarrow X_{<0,001}$.

После завершения расчета гранулометрического состава данного образца ввести в регистры памяти соответствующие значения для следующего образца, набрать $M_1 \uparrow m_1$, С/П и т. д.

Примечания. 1. Для незасоленных грунтов (содержание солей менее 1%) в программе команды адресов 05—11, 19, 20 пропустить. По адресу 29 ввести 24 (вместо 33), по адресу 47 ввести 40 (вместо 49).

Счет после ввода всех M_i , m_i и останова набрать m , С/П. После останова значения X_i содержатся в регистрах 8—2 (как в основном варианте).

2. Если пирогенат не добавлялся, то в регистр П9 ввести 0.

Пример

$m = 24$ г; $W = 9,09\%$, $B = 5\%$; $V_n = 20$ мм; $V' = 1000$ мл; $M' = 20,4$ г; $m' = 20$ г; $A = 0$.

$M_{0,25-0,5} = 21$ г; $m_1 = 20$ г; $X_{0,25-0,5} = 4,75\%$;

$M_{0,1-0,25} = 22$ г; $m_2 = 20$ г; $X_{0,1-0,25} = 9,50\%$;

$M_{<0,05} = 20,29$ г; $m_3 = 20$ г; $X_{0,05-0,1} = 11,88\%$;

$M_{<0,01} = 20,24$ г; $m_4 = 20$ г; $X_{0,01-0,05} = 11,87\%$;

$M_{<0,005} = 20,18$ г; $m_5 = 20$ г; $X_{0,005-0,01} = 14,25\%$;

$M_{<0,001} = 20,08$ г; $m_6 = 20$ г; $X_{0,001-0,005} = 23,75\%$;

$X_{<0,001} = 19\%$.

д) Гранулометрический анализ ареометрическим методом

Метод заключается в измерении плотности суспензии, изменении этой характеристики с течением времени. Последняя является следствием процесса седиментации, т. е. представляет собой косвенную характеристику скорости оседания частиц:

$$d_i = \sqrt{H_i \eta A / T_i};$$

$$H_i = (N - R_i) l / N + (a - b);$$

$$A = 1,83486 / (\rho_s - 1);$$

$$R = \frac{R_1 - R_2}{\lg d_1 - \lg d_2} (\lg d - \lg d_2) + R_2;$$

$$X = \frac{\rho_s}{\rho_s - 1} \cdot \frac{100 K}{g_0 - g_{0,1}} \cdot R,$$

где d_i — диаметр частиц (нижняя граница фракции), соответствующий отсчету по ареометру R_i и времени T_i (в с), мм; η — коэффициент вязкости воды, Па·с; N , l , a , b — характеристики ареометра, полученные при его тарировке; ρ_s — плотность частиц грунта, г/см³; R — отсчет по ареометру (с поправками); g_0 — навеска грунта в пересчете на абсолютно сухой грунт, г; $g_{0,1}$ — масса фракции крупнее 0,1 мм (оставшейся на сите), г; K — содержание фракции крупнее 0,1 мм, %; X — содержание фракции с размером частиц $< d$, %.

Программа 47

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ПА	Х-Па	4—	40	ИПА	П-Ха	6—
01	ИП2	П-Х2	62	41	×	×	12
02	×	×	12	42	ИП4	П-Х4	64
03	÷	÷	14	43	÷	÷	13
04	÷	÷	13	44	$F\sqrt{}$	$F\sqrt{}$	21
05	ИПА	П-Ха	6—	45	ПС	Х-Пс	4 [
06	1	1	01	46	ИП9	П-Х9	69
07	—	—	11	47	—	—	11
08	ПА	Х-Па	4—	48	$FX \geq 0$	$FX \geq 0$	59
09	÷	÷	13	49	75	75	75
10	ПВ	Х-Пв	4L	50	ИПС	П-Хс	6 [
11	÷	÷	14	51	ИПД	П-Хд	6Г
12	ИПА	П-Ха	6—	52	÷	÷	13
13	÷	÷	13	53	$F!g$	$F!g$	17
14	ПА	Х-Па	4—	54	ИП5	П-Х5	65
15	ИП0	П-Х0	60	55	ИП8	П-Х8	68
16	ИП8	П-Х8	68	56	—	—	11
17	ИП1	П-Х1	61	57	ИП9	П-Х9	69
18	×	×	12	58	ИПД	П-Хд	6Г
19	—	—	11	59	÷	÷	13
20	ИП6	П-Х6	66	60	$F!g$	$F!g$	17
21	×	×	12	61	×	×	12
22	ИПА	П-Ха	6—	62	÷	÷	14
23	×	×	12	63	÷	÷	13
24	ИП7	П-Х7	67	64	ИП8	П-Х8	68
25	÷	÷	13	65	+	+	10
26	$F\sqrt{}$	$F\sqrt{}$	21	66	ИПВ	П-Хв	6L
27	ПД	Х-Пд	4Г	67	×	×	12

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
28	ИП9	П-Х9	69	68	ИП2	П-Х2	62
29	↔	↔	14	69	↔	↔	14
30	—	—	11	70	П2	Х-П2	42
31	$FX \geq 0$	$FX \geq 0$	59	71	—	—	11
32	75	75	75	72	С/П	С/П	50
33	ИП0	П-Х0	60	73	БП	БП	51
34	ИП5	П-Х5	65	74	15	15	15
35	ИП1	П-Х1	61	75	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
36	×	×	12	76	С/П	С/П	50
37	—	—	11	77	БП	БП	1
38	ИП3	П-Х3	63	78	15	15	15
39	×	×	12				

Счет

Ввести в регистры памяти: $(l+a-b) \rightarrow P0$; $l/30 \rightarrow P1$; $(100-K) \rightarrow P2$. В регистры ПЗ; П4; П5 ввести значения, соответствующие измерению через 30 с: $\eta_1 \rightarrow P3$; $T_1 \rightarrow P4$; $R_1 \rightarrow P5$. В регистры П6; П7; П8 ввести значения, соответствующие измерению через 60 с: $\eta_2 \rightarrow P6$; $T_2 \rightarrow P7$; $R_2 \rightarrow P8$; $d=0,05 \rightarrow P9$.

Набрать: В/0; $1,83486 \uparrow (g_0 - g_{0,1}) \uparrow \rho_s$, С/П.

После останова на индикаторе $X_{0,1-0,05}$; набрать ИП2 (П $\rightarrow$ Х2) — на индикаторе $X_{<0,05}$ (суммарное содержание фракций мельче 0,05 мм).

Если после останова на индикаторе «ЕГГОГ», то в регистры ПЗ—П5 ввести данные второго (через 60 с), а в регистры П6—П8 — третьего (120 с) отсчетов, нажать С/П (В/о не нажимать!).

После определения содержания первой фракции ввести следующий диаметр в регистр памяти 0,01 $\rightarrow$ П9; данные двух следующих отсчетов (второго и третьего или третьего и четвертого) соответственно в регистры ПЗ—П5 и П6—П8; нажать С/П (В/о не нажимать!).

Провести аналогичные действия для фракций 0,005 и 0,002 мм.

При определении содержания фракции 0,002—0,005 мм ($X_{0,002-0,005}$ на индикаторе) определяется также и содержание последней фракции: ИП2 (П-Х2) — $X_{<0,002}$.

Примечание: величина R вводится исправленная (со всеми поправками).

Пример

$(l+a-b)=20,160$; $l/30=0,4$; $\rho_s=2,7 \text{ г/см}^3$; $g_0=20 \text{ г}$; $g_{0,1}=0,48 \text{ г}$; $K=2,4\%$; $g_0-g_{0,1}=19,52 \text{ г}$; $100-K=97,6\%$.

T	30 с	30 с	1 мин	60 с	2 мин	120 с	5 мин	300 с	15 мин	900 с
$t, ^\circ\text{C}$	21,4	21,4			21,4		21,4		21,4	
η	0,00977	0,00977			0,00977		0,00977		0,00977	
R	12,3	11,8			10,7		10,3			
d , мм	0,0732	0,0521			0,0371		0,0236		0,0137	

T	30 мин	180 с	1 ч	3600 с	1,5 ч	5400 с	3 ч	10 800 с
$t, ^\circ\text{C}$	21,2	21,2			21		21,2	
η	0,00981	0,00981			0,00986		0,00981	
R	9,4	8,7			8,5		7,8	
d , мм	0,00982	0,007			0,00575		0,00409	
T	4 ч	14 400 с			24 ч	86 400 с		
$t, ^\circ\text{C}$	21,2	20						
η	0,00981	0,0101						
R	7,4	5,5						
d , мм	0,00356	0,0015						

d , мм	>0,1	<0,1	<0,05	<0,001	<0,005	<0,002
X_{is} , %	2,4	97,6	93,2	75	65,2	48,7
d , мм	0,05—0,1	0,01—0,05	0,005—0,01	0,002—0,005	0,002	
X_{is} , %	4,4	18,2	9,8	16,6	48,7	

НАБУХАНИЕ ГРУНТОВ

1. Определение величины набухания

а) Определение величины набухания по изменению высоты образца в кольце:

$$\epsilon_{sw} = \frac{\Delta h}{h} \cdot 100,$$

где ϵ_{sw} — относительное набухание, %; h — начальная высота образца (кольца), см; Δh — приращение высоты образца при набухании, см.

Программа 48

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	÷	÷	13	04	×	×	12
01	1	1	01	05	С/П	С/П	50
02	0	0	00	06	БП	БП	51
03	0	0	00	07	00	00	00

Счет

Набрать: $\Delta h \uparrow h$, С/П ($\Delta h \uparrow h$, С/П).

После останова на индикаторе ϵ_{sw} .

Набрать соответствующие величины для следующего образца и т. д.

б) Определение величины набухания по изменению плотности скелета грунта:

$$\epsilon_{sw} = \left(\frac{\rho_d}{\rho_{dн}} - 1 \right) \cdot 100,$$

где ρ_d , $\rho_{dн}$ — плотности скелетов исходного и набухшего грунтов соответственно, г/см^3 .

Программа 49

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	÷	÷	13	05	0	0	00
01	1	1	01	06	×	×	12
02	—	—	11	07	С/П	С/П	50
03	1	1	01	08	БП	БП	51
04	0	0	00	09	00	00	00

Счет

Набрать $\rho_d \uparrow \rho_{dн}$, С/П ($\rho_d B \uparrow \rho_{dн}$, С/П).

После останова на индикаторе ϵ_{sw} .

Набрать соответствующие значения для следующего образца, нажать клавишу С/П и т. д.

в) Определение величины набухания по изменению коэффициента пористости:

$$\epsilon_{sw} = \frac{e_n - e}{e + 1} \cdot 100,$$

где e , e_n — коэффициенты пористости исходного и набухшего грунтов соответственно.

Программа 50

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	—	—	11	06	0	0	00
01	FBX	FBX	0	07	0	0	00
02	1	1	01	08	×	×	12
03	+	+	10	09	С/П	С/П	50
04	÷	÷	13	10	БП	БП	51
05	1	1	01	11	00	00	00

Счет

Набрать: $e_n \uparrow e$, С/П ($e_n B \uparrow e$, С/П).

После останова на индикаторе ϵ_{sw} .

Набрать соответствующие значения для следующего образца, нажать клавишу С/П и т. д.

г) Определение величины набухания по изменению пористости грунта:

$$\epsilon_{sw} = \frac{n_n - n}{1 - 0,01n_n},$$

где n , n_n — пористости исходного и набухшего грунта соответственно, %.

Программа 51

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	—	—	11	06	1	1	01
01	FBX	FBX	0	07	—	—	11
02	1	1	01	08	÷	÷	13
03	0	0	00	09	С/П	С/П	50
04	0	0	00	10	БП	БП	51
05	÷	÷	13	11	00	00	00

Счет

Набрать: $n \uparrow n_n$, С/П ($n B \uparrow n_n$, С/П).

После останова на индикаторе ϵ_{sw} .

Набрать соответствующие значения для следующего образца и т. д.

2. Определение величины набухания водонасыщенных грунтов

а) Определение величины набухания по изменению влажности грунта:

$$\epsilon_{sw} = \frac{W_n - W}{0,01W + 1/\rho_s},$$

где W , W_n — влажность исходного и набухшего образцов соответственно, %; ρ_s — плотность частиц грунта, г/см³.

Программа 52

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	07	0	0	00
01	—	—	11	08	÷	÷	13
02	↔	↔	14	09	—	—	10
03	F1/X	F1/X	23	10	÷	÷	13
04	ИП0	П-Х0	60	11	С/П	С/П	50
05	1	1	01	12	БП	БП	51
06	0	0	00	13	00	00	00

Счет

Набрать: $\rho_s \uparrow W_n \uparrow W$, С/П ($\rho_s B \uparrow W_n B \uparrow W$, С/П).

После останова на индикаторе ϵ_{sw} .

Набрать значения, соответствующие следующему образцу и т. д.

б) Определение величины набухания водонасыщенных грунтов по изменению их плотности:

$$\varepsilon_{sw} = \frac{\rho - \rho_n}{\rho_n - 1} \cdot 100,$$

где ρ , ρ_n — плотность исходного и набухшего образцов соответственно, г/см³.

Программа 53

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	—	—	11	06	0	0	00
01	FBX	FBX	0	07	0	0	00
02	1	1	01	08	×	×	12
03	—	—	11	09	С/П	С/П	50
04	÷	÷	13	10	БП	БП	51
05	1	1	01	11	00	00	00

Счет

Набрать: $\rho \uparrow \rho_n$, С/П ($\rho B \uparrow \rho_n$, С/П).

После останова на индикаторе ε_{sw} .

Набрать значения, соответствующие следующему образцу и т. д.

Характеристики набухших грунтов

1. Определение плотности скелета набухшего грунта:

$$\rho_{dn} = \frac{\rho_d}{0,01\varepsilon_{sw} + 1}$$

Программа 54

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	↑	B↑	0E	06	+	+	10
01	1	1	01	07	÷	÷	13
02	0	0	00	08	С/П	С/П	50
03	0	0	00	09	БП	БП	51
04	÷	÷	13	10	00	00	00
05	1	1	01				

Счет

Набрать $\rho_d \uparrow \varepsilon_{sw}$, С/П ($\rho_d B \uparrow \varepsilon_{sw}$, С/П).

После останова на индикаторе ρ_{dn} .

Набрать соответствующие значения для следующего образца и т. д.

2. Определение коэффициента пористости набухшего грунта:

$$\varepsilon_n = 0,01\varepsilon_{sw}(e+1) + e.$$

Программа 55

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	Π0	Χ-Π0	40	07	÷	÷	13
01	1	1	01	08	ИΠ0	Π-Χ0	60
02	+	+	10	09	+	+	10
03	×	×	12	10	С/П	С/П	50
04	1	1	01	11	БΠ	БΠ	51
05	0	0	00	12	00	00	00
06	0	0	00				

Счет

Набрать: $\varepsilon_{sw} \uparrow e$, С/П ($\varepsilon_{sw} B \uparrow e$, С/П).

После останова на индикаторе ε_n .

Набрать соответствующие значения для следующего образца и т. д.

3. Определение пористости набухшего грунта

$$n_n = \frac{n + \varepsilon_{sw}}{1 + 0,01\varepsilon_{sw}}$$

Программа 56

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	—	—	10	06	1	1	01
01	FBX	FBX	0	07	+	+	10
02	1	1	01	08	÷	÷	13
03	0	0	00	09	С/П	С/П	50
04	0	0	00	10	БΠ	БΠ	51
05	÷	÷	13	11	00	00	00

Счет

Набрать: $n \uparrow \varepsilon_{sw}$, С/П ($n B \uparrow \varepsilon_{sw}$, С/П).

После останова на индикаторе n_n .

Набрать соответствующие значения для следующего образца и т. д.

4. Определение влажности набухшего грунта

$$W_n = \frac{\varepsilon_{sw}(e+1) + 100e}{\rho_s}$$

Программа 57

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	X-П0	40	08	×	×	12
01	1	1	01	09	+	+	10
02	+	+	10	10	↔	↔	14
03	×	×	12	11	÷	÷	13
04	ИП0	П-X0	60	12	С/П	С/П	50
05	1	1	01	13	БП	БП	51
06	0	0	00	14	00	00	00
07	0	0	00				

Счет

Набрать: $\rho_s \uparrow \epsilon_{sw} \uparrow e$, С/П($\rho_s B \uparrow \epsilon_{sw} B \uparrow e$, С/П).

После останова на индикаторе W_n .

Набрать соответствующие значения для следующего образца и т. д.

5. Определение плотности набухшего грунта

$$\rho_n = \frac{\rho_s - 1}{(e + 1)(0,01\epsilon_{sw} + 1)} + 1.$$

Счет

Набрать: $\rho_s \uparrow \epsilon_{sw} \uparrow e$, С/П($\rho_s B \uparrow \epsilon_{sw} B \uparrow e$, С/П).

После останова на индикаторе ρ_n .

Набрать соответствующие значения для следующего образца и т. д.

Характеристики набухших грунтов в случае водонасыщенных исходных образцов

1. Определение влажности набухшего грунта (исходный грунт водонасыщен):

$$W_n = (1 + 0,01\epsilon_{sw}) \cdot (W + 100/\rho_s).$$

Программа 58

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	↑	B↑	0E	10	×	×	12
01	1	1	0,1	11	↔	↔	14
02	+	+	10	12	1	1	0,1
03	↔	↔	14	13	—	—	11
04	1	1	0,1	14	↔	↔	14
05	0	0	00	15	÷	÷	13
06	0	0	00	16	1	1	01
07	÷	÷	13	17	+	+	10

Продолжение программы 58

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
08	1	1	01	18	С/П	С/П	50
09	+	+	10	19	БП	БП	51
				20	00	00	00

Программа 59

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	F1/X	F1/X	23	09	0	0	00
01	1	1	01	10	÷	÷	13
02	0	0	00	11	1	1	01
03	0	0	00	12	+	+	10
04	×	×	12	13	×	×	12
05	+	+	10	14	С/П	С/П	50
06	↔	↔	14	15	БП	БП	51
07	1	1	01	16	00	00	00
08	0	0	00				

Счет

Набрать $\epsilon_{sw} \uparrow W \uparrow \rho_s$, С/П($\epsilon_{sw} B \uparrow WB \uparrow \rho_s$, С/П).

После останова на индикаторе W_n .

Набрать соответствующие значения для следующего образца и т. д.

2. Определение плотности набухшего грунта (исходный грунт водонасыщен)

$$\rho_n = 1 + \frac{\rho - 1}{1 + 0,01\epsilon_{sw}}.$$

Программа 60

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	↑	B↑	0E	08	1	1	01
01	1	1	01	09	+	+	10
02	—	—	11	10	÷	÷	13
03	↔	↔	14	11	1	1	01
04	1	1	01	12	+	+	10
05	0	0	00	13	С/П	С/П	50
06	0	0	00	14	БП	БП	51
07	÷	÷	13	15	00	00	00

Счет

Набрать: $\epsilon_{sw} \uparrow \rho$, С/П ($\epsilon_{sw} B \uparrow \rho$, С/П).
После останова на индикаторе ρ_n .

УСАДКА ГРУНТОВ

Определение величины объемной усадки грунтов

1. *Определение усадки по измерению объема образца при высыхании*

$$\epsilon_{sh} = (1 - \pi d^2 h / 4V) \cdot 100,$$

где ϵ_{sh} — объемная усадка, %; d , h — диаметр и высота соответственно цилиндрического образца после усадки, см³; V — объем исходного образца, см³.

Программа 61

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	FX^2	FX^2	22	09	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14
01	$\times$	$\times$	12	10	—	—	11
02	$F\pi$	$F\pi$	20	11	1	1	01
03	$\times$	$\times$	12	12	0	0	00
04	4	4	04	13	0	0	00
05	$\div$	$\div$	13	14	$\times$	$\times$	12
06	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14	15	С/П	С/П	50
07	$\div$	$\div$	13	16	БП	БП	51
08	1	1	01	17	00	00	00

Счет

Набрать: $V \uparrow h \uparrow d$, С/П ($VB \uparrow hB \uparrow d$, С/П).

После останова на индикаторе ϵ_{sh} .

Набрать соответствующие значения для следующего образца и т. д.

2. *Определение величины усадки по измерению плотности скелета грунта*

$$\epsilon_{sh} = (1 - \rho_d / \rho_{dy}) \cdot 100,$$

где ρ_d , ρ_{dy} — плотности скелета исходного образца и образца после усадки соответственно, г/см³.

Программа 62

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	$\div$	$\div$	13	06	0	0	00
01	1	1	01	07	$\times$	$\times$	12

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
02	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14	08	С/П	С/П	50
03	—	—	11	09	БП	БП	51
04	1	1	01	10	00	00	00
05	0	0	00				

Счет

Набрать: $\rho_d \uparrow \rho_{dy}$, С/П ($\rho_d B \uparrow \rho_{dy}$, С/П).

После останова на индикаторе ϵ_{sh} .

Набрать соответствующие значения для следующего образца и т. д.

3. *Определение величины усадки по измерению коэффициента пористости*

$$\epsilon_{sh} = \frac{e - e_y}{e + 1} \cdot 100,$$

где e , e_y — коэффициенты пористости исходного образца и образца после усадки соответственно.

Программа 63

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	—	—	11	07	0	0	00
01	FBX	FBX	0	08	0	0	00
02	1	1	01	09	$\times$	$\times$	12
03	+	+	10	10	С/П	С/П	50
04	$\div$	$\div$	13	11	БП	БП	51
05	$/- /$	$/- /$	0	12	00	00	00
06	1	1	01				

Счет

Набрать: $e_y \uparrow e$, С/П ($e_y B \uparrow e$, С/П).

После останова на индикаторе ϵ_{sh} .

Набрать соответствующие значения для следующего образца и т. д.

4. *Определение величины усадки по изменению пористости*

$$\epsilon_{sh} = \frac{n - n_y}{1 - 0,01n_y},$$

где n , n_y — пористость исходного образца и образца после усадки соответственно, %.

Программа 64

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	—	—	11	07	↔	↔	14
01	FBX	FBX	0	08	—	—	11
02	1	1	01	09	÷	÷	13
03	0	0	00	10	С/П	С/П	50
04	0	0	00	11	БП	БП	51
05	÷	÷	13	12	00	00	00
06	1	1	01				

Счет

Набрать: $n \uparrow n_y$, С/П ($nB \uparrow n_y$, С/П).

После останова на индикаторе ϵ_{sh} .

Набрать соответствующие значения для следующего образца и т. д.

Характеристики грунтов после усадки

1. Плотность скелета грунта после усадки

$$\rho_{dy} = \rho_d \cdot (1 - 0,01 \epsilon_{sh}).$$

Программа 65

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	↑	B↑	0E	06	↔	↔	14
01	1	1	01	07	—	—	11
02	0	0	00	08	÷	÷	13
03	0	0	00	09	С/П	С/П	50
04	÷	÷	13	10	БП	БП	51
05	1	1	01	11	00	00	00

Счет

Набрать: $\rho_d \uparrow \epsilon_{sh}$, С/П ($\rho_d B \uparrow \epsilon_{sh}$, С/П).

После останова на индикаторе ϵ_{sh} .

Набрать соответствующие значения для следующих образцов.

2. Коэффициент пористости грунтов после усадки

$$e_y = e - 0,01 \epsilon_{sh} (e + 1).$$

Программа 66

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	X-П0	40	07	÷	÷	13
01	1	1	01	08	ИП0	П-X0	60
02	+	+	10	09	↔	↔	14
03	×	×	12	10	—	—	11
04	1	1	01	11	С/П	С/П	50
05	0	0	00	12	БП	БП	51
06	0	0	00	13	00	00	00

Счет

Набрать: $\epsilon_{sh} \uparrow e$, С/П ($\epsilon_{sh} B \uparrow e$, С/П).

После останова на индикаторе e_y .

Набрать соответствующие значения для следующего образца и т. д.

3. Пористость грунта после усадки

$$n_y = \frac{n - \epsilon_{sh}}{1 - 0,01 \epsilon_{sh}}.$$

Программа 67

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	—	—	11	07	↔	↔	14
01	FBX	FBX	0	08	—	—	11
02	1	1	01	09	÷	÷	13
03	0	0	00	10	С/П	С/П	50
04	0	0	00	11	БП	БП	51
05	÷	÷	13	12	00	00	00
06	1	1	01				

Счет

Набрать: $n \uparrow \epsilon_{sh}$, С/П ($nB \uparrow \epsilon_{sh}$, С/П).

После останова на индикаторе n_y .

Набрать соответствующие значения для следующего образца и т. д.

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

Компрессионные испытания в одометре

$$e_0 = \rho_s (1 + 0,01 W) / (\rho - 1);$$

$$\Delta e_k = \Delta h_k (1 + e_0) / h_0;$$

$$e_k = e_0 - \Delta e_k;$$

$$e'_k = \rho_s W_k / 100 \text{ (для водонасыщенных грунтов);}$$

$e'_x = \rho_s(1 + 0.01 W_x) / (\rho_x - 1)$ (для любых грунтов);

$\alpha = e'_x / e_x$;

$\Delta e_i = \Delta h_i(1 + e_0) / h_0$;

$e_i = e_0 - \Delta e_i$; $e'_i = e_i \alpha$;

$a_{(i-1) \div i} = \frac{e'_{i-1} - e'_i}{P_i - P_{i-1}}$;

$E_{(i-1) \div i} = \frac{(1 - \xi) \cdot (1 + 2\xi)}{1 + \xi} \cdot \frac{1 + e_0}{a_{(i-1) \div i}}$;

$\frac{\Delta h}{H} = \frac{e_0 - e'_i}{e_0 + 1} \cdot 1000$,

где e_0 , e_x , e_i , e'_x , e'_i — коэффициенты пористости исходного образца, образца после завершения испытаний, образца после стабилизации при данной нагрузке и исправленные значения последних соответственно; ρ , ρ_s — плотность образца и частиц соответственно, г/см³; W , W_x — влажность исходная и после завершения испытаний соответственно, %; h_0 , Δh_x , Δh_i — высота исходного образца, величина деформации конечная и при данной нагрузке соответственно, мм; $a_{(i-1) \div i}$ — коэффициент компрессии в данном интервале нагрузок, Н⁻¹; $E_{(i-1) \div i}$ — модуль общей деформации, Н; $\Delta h / H$ — модуль осадка, мм/м.

Программа 68

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ИП0	П-Х0	60	41	П9	Х-П9	49
01	↔	↔	14	42	С/П	С/П	50
02	÷	÷	13	43	ИП4	П-Х4	64
03	ИП2	П-Х2	62	44	÷	÷	13
04	2	2	02	45	ИП7	П-Х7	67
05	F10X	F10X	15	46	×	×	12
06	÷	÷	13	47	ИП5	П-Х5	65
07	1	1	01	48	↔	↔	14
08	+	+	10	49	—	—	11
09	×	×	12	50	ИП6	П-Х6	66
10	1	1	01	51	×	×	12
11	—	—	11	52	ИП8	П-Х8	68
12	П5	Х-П5	45	53	↔	↔	14
13	П8	Х-П8	48	54	П8	Х-П8	48
14	1	1	01	55	—	—	11
15	+	+	10	56	↔	↔	14
16	П7	Х-П7	47	57	ИП9	П-Х9	69
17	↔	↔	14	58	↔	↔	14
18	ИП4	П-Х4	64	59	П9	Х-П9	49
19	÷	÷	13	60	↔	↔	14
20	×	×	12	61	—	—	11
21	ИП5	П-Х5	65	62	÷	÷	13
22	↔	↔	14	63	ПА	Х-ПА	4—
23	—	—	11	64	ИП7	П-Х7	67

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
24	ПП	ПП	53	65	↔	↔	14
25	82	82	82	66	÷	÷	13
26	1	1	01	67	ИПД	П-Хd	6Г
27	ИПД	П-Хd	6Г	68	×	×	12
28	—	—	11	69	ПВ	Х-Пb	4L
29	ИПД	П-Хd	6Г	70	ИП5	П-Х5	65
30	2	2	02	71	ИП8	П-Х8	68
31	×	×	12	72	—	—	11
32	1	1	01	73	ИП7	П-Х7	67
33	+	+	10	74	÷	÷	13
34	×	×	12	75	3	3	03
35	ИПД	П-Хd	6Г	76	F10X	F10X	15
36	1	1	01	77	×	×	12
37	+	+	10	78	ПС	Х-Пс	4C
38	÷	÷	13	79	С/П	С/П	50
39	ПД	Х-Пd	4Г	80	БП	БП	51
40	СХ	СХ	0Г	81	43	43	43

Подпрограммы к программе 68

Для водонасыщенных грунтов

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
82	ИП0	П-Х0	60	87	÷	÷	13
83	ИП3	П-Х3	63	88	↔	↔	14
84	×	×	12	89	÷	÷	13
85	2	2	02	90	П6	Х-П6	46
86	F10X	F10X	15	91	В/о	В/о	52

Для любых грунтов

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
82	ИП0	П-Х0	60	90	+	+	10
83	ИП1	П-Х1	61	91	×	×	12
84	÷	÷	13	92	1	1	01
85	ИП3	П-Х3	63	93	—	—	11
86	2	2	02	94	↔	↔	14
87	F10X	F10X	15	95	÷	÷	13
88	÷	÷	13	96	П6	Х-П6	46
89	1	1	01	97	В/о	В/о	52

Примечание. Если грунты не насыщены водой, а величины ρ_x и W_x неизвестны, то в программу ввести по адресам: 24 КНОП; 25 КНОП; команды по адресам 50 и 51 пропустить (или ввести: 50 КНОП, 51 КНОП), подпрограмму можно не вводить.

Счет

Ввести в регистры памяти: $\rho_s \rightarrow \text{П0}(X-\text{П0})$, $\rho_k \rightarrow \text{П1}(X-\text{П1})$, $W \rightarrow \text{П2}(X-\text{П2})$, $W_k \rightarrow \text{П3}(X-\text{П3})$, $h_0 \rightarrow \text{П4}(X-\text{П4})$, $\xi \rightarrow \text{ПД}(X-\text{ПД})$. Если грунты водонасыщенные, то ρ_k можно не вводить.

Набрать: $\Delta h_k \uparrow \rho$, $\text{С/П}(\Delta h_k B \uparrow \rho, \text{С/П})$.

После останова вывести на индикатор: $\text{ИП5}(\text{П-Х5}) \rightarrow e_0$; $\text{ИП6}(\text{П-Х6}) \rightarrow \alpha$.

Набрать: $P_1 \uparrow \Delta h_1$, $\text{С/П}(P_1 B \uparrow \Delta h_1, \text{С/П})$.

После останова вывести на индикатор:

$\text{ИП8}(\text{П-Х8}) \rightarrow e_1$; $\text{ИПА}(\text{П-Хa}) \rightarrow a_{0+1}$; $\text{ИПВ}(\text{П-Хb}) \rightarrow E_{0+1}$; $\text{ИПС}(\text{П-Хc}) \rightarrow \Delta h/H$.

Набрать: $P_2 \uparrow \Delta h_2$, $\text{С/П}(P_2 B \uparrow \Delta h_2, \text{С/П})$.

После останова вывести на индикатор:

$\text{ИП8}(\text{П-Х8}) \rightarrow e_2$; $\text{ИПА}(\text{П-Хa}) \rightarrow a_{1+2}$;

$\text{ИПВ}(\text{П-Хb}) \rightarrow E_{1+2}$; $\text{ИПС}(\text{П-Хc}) \rightarrow \Delta h_2/H$.

Далее последовательно набирать P_i и Δh_i в порядке возрастания нагрузок, определяя соответствующие значения e_i , $a_{(i-1)+i}$, $E_{(i-1)+i}$, $\Delta h_i/H$ для данного испытания.

После завершения расчетов по данному испытанию перейти к вычислениям для следующего образца.

Для этого в регистры П0, П1, П2, П3, П4 и ПД ввести соответствующие значения, нажать клавишу В/о, набрать $\Delta h_k \uparrow \rho$, $\text{С/П}(\Delta h_k B \uparrow \rho, \text{С/П})$ и далее, как указано выше.

Пример

$\rho_s = 2,65 \text{ г/см}^3$; $\rho_k = 1,935 \text{ г/см}^3$; $W = 31,58\%$; $W_k = 28,87\%$; $h_0 = 22 \text{ мм}$; $\xi = 0,7$; $\Delta h_k = 0,79 \text{ мм}$; $\rho = 1,898 \text{ г/см}^3$

P_i , 10Н	0	1	2	3	5
Δh_i , мм	0	0,22	0,43	0,6	0,79
e_i	0,837	0,812	0,795	0,781	0,765
$a_{(i-1)+i}$, см/кг	—	0,025	0,017	0,014	0,008
$E_{(i-1)+i}$, кг/см ²	—	31,1	44,7	55,2	98,9
$\Delta h_i/H$	—	13,6	23,1	30,8	39,3

ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

Сопротивление пенетрации корпуса

Метод основан на определении глубины погружения в грунт конуса с углом при вершине 30° под нагрузкой

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n P_i^2 - (1/n) \cdot \left(\sum_{i=1}^n P_i \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_i h_i^2 - (1/n) \sum_{i=1}^n P_i \sum_{i=1}^n h_i^2},$$

где P_m — сопротивление пенетрации корпуса, Па; P_i — нагрузка на конус, Н; h_i — глубина погружения конуса, см.

Программа 69

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	FX^2	FX^2	22	40	ИП5	П-Х5	65
01	П1	Х-П1	41	41	$\leftrightarrow$	$\leftrightarrow$	14
02	ИП3	П-Х3	63	42	—	—	11
03	+	+	10	43	П7	Х-П7	47
04	П3	Х-П3	43	44	ИП2	П-Х2	62
05	$\leftrightarrow$	$\leftrightarrow$	14	45	FX^2	FX^2	22
06	ИПА	П-Хa	6—	46	ИП6	П-Х6	66
07	×	×	12	47	÷	÷	13
08	П0	Х-П0	40	48	ИП4	П-Х4	64
09	ИП2	П-Х2	62	49	$\leftrightarrow$	$\leftrightarrow$	14
10	+	+	10	50	—	—	11
11	П2	Х-П2	42	51	ИП7	П-Х7	67
12	ИП0	П-Х0	60	52	÷	÷	13
13	FX^2	FX^2	22	53	↑	$B \uparrow$	0E
14	ИП4	П-Х4	64	54	ИП3	П-Х3	63
15	+	+	10	55	FX^2	FX^2	22
16	П4	Х-П4	44	56	ИП6	П-Х6	66
17	ИП0	П-Х0	60	57	÷	÷	13
18	ИП1	П-Х1	61	58	ИП8	П-Х8	68
19	×	×	12	59	$\leftrightarrow$	$\leftrightarrow$	14
20	ИП5	П-Х5	65	60	—	—	11
21	+	+	10	61	ИП7	П-Х7	67
22	П5	Х-П5	45	62	×	×	12
23	ИП1	П-Х1	61	63	×	×	12
24	FX^2	FX^2	22	64	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
25	ИП8	П-Х8	68	65	$F1/X$	$F1/X$	23
26	+	+	10	66	$\leftrightarrow$	$\leftrightarrow$	14
27	П8	Х-П8	48	67	С/П	С/П	50
28	ИП6	П-Х6	66	68	П9	Х-П9	49
29	1	1	01	69	СХ	СХ	0Г
30	+	+	10	70	П2	Х-П2	42
31	П6	Х-П6	46	71	П3	Х-П3	43
32	С/П	С/П	50	72	П4	Х-П4	44
33	БП	БП	51	73	П5	Х-П5	45
34	00	00	00	74	П6	Х-П6	46
35	ИП2	П-Х2	62	75	П8	Х-П8	48
36	ИП3	П-Х3	63	76	+	+	10
37	×	×	12	77	ИП9	П-Х9	69
38	ИП6	П-Х6	66	78	БП	БП	51
39	÷	÷	13	79	00	00	00

Счет

Ввести в регистр памяти: $l \rightarrow \text{ПА}(X \rightarrow \text{Па})$.

Если нагрузка непосредственно на конус (без рычага), то набрать: $F_1 \uparrow h_1$, $\text{С/П}(F_1 B \uparrow h_1, \text{С/П})$.

После останова набрать следующую пару значений $F_2 \uparrow h_2$, $\text{С/П}(F_2 B \uparrow h_2, \text{С/П})$ и т. д.

После ввода всех пар значений F и h для данного испытания и останова набрать БП 35 С/П.

После останова на индикаторе P_m . Нажать клавишу $\rightleftharpoons(\leftrightarrow)$, на индикаторе значение коэффициента корреляции R и h^2 , характеризующего инвариантность данных.

Пример

$l=4$

$F \dots\dots\dots 0,1 \quad 0,2 \quad 0,3; P_m=2$
 $h \dots\dots\dots 0,3 \quad 0,5 \quad 0,7; r=0,993.$

Сдвиговые испытания

$$C = \left(\sum_{i=1}^n \tau_i P_i^2 - \sum_{i=1}^n P_i \sum_{i=1}^n P_i \tau_i \right) / \Delta;$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \left(n \sum_{i=1}^n \tau_i P_i - \sum_{i=1}^n \tau_i \sum_{i=1}^n P_i \right) / \Delta;$$

$$\Delta = n \sum_{i=1}^n P_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n P_i \right)^2;$$

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (P_i \operatorname{tg} \varphi + C - \tau_i)^2};$$

$$\sigma_C = \sigma_\tau \sqrt{\frac{1}{\Delta} \sum_{i=1}^n P_i^2}; \quad \sigma_{\operatorname{tg} \varphi} = \sigma_\tau \sqrt{n/\Delta};$$

$$v_C = \sigma_C / C; \quad v_{\operatorname{tg} \varphi} = \sigma_{\operatorname{tg} \varphi} / \operatorname{tg} \varphi,$$

где P_i — нагрузка, Н; τ_i — сдвигающее усилие при данной нагрузке, Па; C — сцепление, Па; φ — угол внутреннего трения, градус; n — число определений (точек); σ_τ , σ_C , $\sigma_{\operatorname{tg} \varphi}$ — стандартные отклонения соответствующих величин; v_C , $v_{\operatorname{tg} \varphi}$ — коэффициенты изменчивости соответствующих величин.

Программа 70

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	49	ПД	П-Хd	4Г
01	П1	Х-П1	41	50	÷	÷	13
02	СХ	СХ	0Г	51	П8	Х-П8	48
03	П2	Х-П2	42	52	ИП2	П-Х2	62
04	П3	Х-П3	43	53	×	×	12
05	П4	Х-П4	44	54	ИП3	П-Х3	63
06	П5	Х-П5	45	55	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14
07	П6	Х-П6	46	56	—	—	11
08	С/П	С/П	50	57	ИП1	П-Х1	61
09	ПД	Х-Пd	4Г	58	÷	÷	13
10	ИП3	П-Х3	63	59	П7	Х-П7	47
11	+	+	10	60	ИП5	П-Х5	65
12	П3	Х-П3	43	61	ИП3	П-Х3	63
13	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14	62	FX ²	FX ²	22
14	ПС	Х-Пc	4Г	63	ИП1	П-Х1	61
15	ИП2	П-Х2	62	64	÷	÷	13

Продолжение программы 70

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
16	+	+	10	65	—	—	11
17	П2	Х-П2	42	66	ИП8	П-Х8	68
18	ИПС	П-Хc	6Г	67	ИП6	П-Х6	66
19	FX ²	FX ²	22	68	×	×	12
20	ИП4	П-Х4	64	69	—	—	11
21	+	+	10	70	ИП1	П-Х1	61
22	П4	Х-П4	44	71	2	2	02
23	ИПД	П-Хd	6Г	72	—	—	11
24	FX ²	FX ²	22	73	÷	÷	13
25	ИП5	П-Х5	65	74	F√	F√	21
26	+	+	10	75	П9	Х-П9	49
27	П5	Х-П5	45	76	ИП4	П-Х4	64
28	ИПС	П-Хc	6Г	77	ИП1	П-Х1	61
29	ИПД	П-Хd	6Г	78	÷	÷	13
30	×	×	12	79	ИПД	П-Хd	6Г
31	ИП6	П-Х6	66	80	÷	÷	13
32	+	+	10	81	F√	F√	21
33	П6	Х-П6	46	82	ИП9	П-Х9	69
34	FL0	FL0	51	83	×	×	12
35	08	08	08	84	ПА	Х-Па	4—
36	ИП2	П-Х2	62	85	ИП7	П-Х7	67
37	ИП3	П-Х3	63	86	÷	÷	13
38	×	×	12	87	ИПД	П-Хd	6Г
39	ИП1	П-Х1	61	88	F1/X	F1/X	23
40	÷	÷	13	89	F√	F√	21
41	—	—	11	90	ИП9	П-Х9	69
42	П6	Х-П6	46	91	×	×	12
43	ИП4	П-Х4	64	92	ПВ	Х-Пb	4Л
44	ИП2	П-Х2	62	93	ИП8	П-Х8	68
45	FX ²	FX ²	22	94	÷	÷	13
46	ИП1	П-Х1	61	95	С/П	С/П	50
47	÷	÷	13	96	БП	БП	51
48	—	—	11	97	00	00	00

Счет

Набрать: n , С/П.

После останова последовательно ввести все пары значений P_i и τ_i : набрать $P_1 \uparrow \tau_1$, С/П ($P_1 \uparrow \tau_1$, С/П), после останова — $P_2 \uparrow \tau_2$, С/П и т. д.

После ввода всех значений P_i и τ_i и останова на индикаторе $V_{\operatorname{tg} \varphi}$ нажать клавишу $\rightleftharpoons(\leftrightarrow)$ — на индикаторе V_C .

Вызвать из регистров памяти:

ИП7 (П-Х7) → C , ИП8 (П-Х8) → $\operatorname{tg} \varphi$, ИП9 (П-Х9) → σ_τ , ИПА (П-Ха) → σ_C , ИПВ (П-Хb) → $\sigma_{\operatorname{tg} \varphi}$.

Для расчета сдвиговых характеристик следующего инженерно-геологического элемента (образца) набрать соответствующее значение n , С/П и далее, как сказано выше.

Пример

P_i 1,0 1,5 2 2,5 3
 τ_i 1,2 1,4 1,8 2,1 2,4
 $\operatorname{tg} \varphi = 0,62$; $C = 0,54$; $\sigma_r = 0,048$; $\sigma_c = 0,065$; $\sigma_{\operatorname{tg} \varphi} = 0,03$; $V_c = 0,12$;
 $V_{\operatorname{tg} \varphi} = 0,049$.

ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРУНТОВ

АНАЛИЗ ВОДЫ И ВОДНОЙ ВЫТЯЖКИ

Применяются две формы выражения результатов анализа водных вытяжек: в расчете на 100 г воздушного сухого и абсолютно сухого грунта. Первая форма используется чаще, но вторая предпочтительнее. Использовать для приготовления водной вытяжки абсолютно сухой грунт нельзя. Применяются два метода для получения результатов анализа по второй форме: в величину навески грунта для приготовления водной вытяжки вносится поправка на гигроскопическую влажность или используется коэффициент пересчета результатов анализа на абсолютно сухой грунт.

Определение навески грунта при приготовлении водной вытяжки с соотношением грунта и воды 1:5:

$$m = \frac{V}{5} (1 + 0,01W),$$

где m — навеска грунта, г; W — влажность грунта, %; V — объем воды, мл.

Программа 71

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	↑	B↑	0E	07	÷	÷	13
01	2	2	02	08	ИП0	П-X0	60
02	F10X	F10X	15	09	×	×	12
03	÷	÷	13	10	С/П	С/П	50
04	1	1	01	11	БП	БП	51
05	+	+	10	12	00	00	00
06	5	5	05				

Счет

Ввести в регистр памяти: $V \rightarrow \text{П0} (X-\text{П0})$.

Набрать: W , С/П.

После останова на индикаторе m .

Набрать значение влажности для следующего образца, С/П и т. д.
 Определение коэффициента пересчета результатов анализа, рассчитанных на 100 г воздушно-сухого грунта, на абсолютно сухой грунт:

$$K = (1 + 0,01W).$$

Программа 72

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	↑	B↑	0E	05	+	+	10
01	2	2	02	06	С/П	С/П	50
02	F10X	F10X	15	07	БП	БП	51
03	÷	÷	13	08	00	00	00
04	1	1	01				

Счет

Набрать: W , С/П.

После останова на индикаторе K .

Набрать значение влажности для следующего образца, С/П и т. д.

Определение содержания Cl^- , HCO_3^- (в отсутствие CO_3^{2-}), Ca^{2+} , Mg^{2+} объемным методом.

Программа 73

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ИП0	П-X0	60	07	↑	B↑	0E
01	×	×	12	08	ИП2	П-X2	62
02	ИП1	П-X1	61	09	×	×	12
03	×	×	12	10	С/П	С/П	50
04	↔	↔	14	11	БП	БП	51
05	÷	÷	13	12	00	00	00
06	↑	B↑	0E				

Счет

Ввести в регистры памяти: $N \rightarrow \text{П0} (X-\text{П0})$; 1000 или 500 $\rightarrow \text{П1} (X-\text{П1})$; $a \rightarrow \text{П2} (X-\text{П2})$, где N — нормальность титрованного раствора; $a = \text{Э} : 1000$; Э — эквивалент определяемого иона; $a_{\text{Cl}} = 0,03546$; $a_{\text{HCO}_3} = 0,06102$; $a_{\text{Ca}} = 0,02004$; $a_{\text{Mg}} = 0,01216$.

Набрать: $n \uparrow m$, С/П ($n \uparrow m$, С/П), где n — объем пробы, взятый для титрования, мл; m — объем раствора, израсходованный при титровании, мл.

После останова на индикаторе содержание данного иона для воды (в г/л) или для водной вытяжки (в г/100 г).

Нажать клавишу $\rightleftharpoons$ ($\leftrightarrow$), на индикаторе то же в мг-экв/л или мг-экв/100 г.

Набрать соответствующие значения для следующего образца и т. д.

Примечание. В регистр П1 вводится: 1000 при анализе воды или водной вытяжки при соотношении грунта и воды 1:10; 500—при анализе водной вытяжки при соотношении грунта и воды 1:5.

Определение HCO_3^- и CO_3^{2-} при совместном присутствии в пробах объемным методом.

Программа 74

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	$\uparrow$	$B\uparrow$	01	14	ИП5	П-Х5	65
01	2	2	02	15	×	×	12
02	×	×	12	16	П5	Х-П5	45
03	П4	Х-П4	44	17	ИП2	П-Х2	62
04	—	—	11	18	×	×	12
05	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14	19	П4	Х-П4	44
06	ИП0	П-Х0	60	20	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14
07	ИП1	П-Х1	61	21	$\uparrow$	$B\uparrow$	0Е
08	×	×	12	22	$\uparrow$	$B\uparrow$	0Е
09	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14	23	ИП3	П-Х3	63
10	÷	÷	13	24	×	×	12
11	П5	Х-П5	45	25	С/П	С/П	50
12	×	×	12	26	БП	БП	51
13	ИП4	П-Х4	64	27	00	00	00

Счет

Ввести в регистры памяти: $N \rightarrow \text{П0 (Х-П0)}$; 1000 или 500 $\rightarrow \text{П1 (Х-П1)}$; 0,0305 $\rightarrow \text{П2 (Х-П2)}$; 0,06102 $\rightarrow \text{П3 (Х-П3)}$.

Набрать: $n \uparrow m \uparrow m_{\text{ф}}$, С/П ($n \uparrow B \uparrow m \uparrow B \uparrow m_{\text{ф}}$, С/П),

где n —объем пробы, взятый для титрования, мл;

m —общий объем рабочего раствора, израсходованный для титрования, мл;

$m_{\text{ф}}$ —объем рабочего раствора, израсходованный для титрования по фенолфталеину, мл.

После останова на индикаторе содержание HCO_3^- (в г/л или г/100 г); нажать клавишу $\rightleftharpoons$ —на индикаторе то же (в мг-экв/л или мг-экв/100 г).

Вызвать из регистров:

ИП4 (П-Х4) $\rightarrow$ содержание CO_3^{2-} в г/л или г/100 г;

ИП5 (П-Х5) $\rightarrow$ то же в мг-экв/л или мг-экв/100 г.

Набрать соответствующие значения для следующего образца и т. д.

Определение кальция и магния ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ и Ca^{2+} в разных пробах) объемным методом.

Программа 75

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П4	Х-П4	44	12	×	×	12
01	—	—	11	13	П6	Х-П6	46
02	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14	14	ИП4	П-Х4	64
03	ИП0	П-Х0	60	15	ИП5	П-Х5	65
04	ИП1	П-Х1	61	16	×	×	12
05	×	×	12	17	$\uparrow$	$B\uparrow$	0Е
06	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14	18	$\uparrow$	$B\uparrow$	0Е
07	÷	÷	13	19	ИП2	П-Х2	62
08	П5	Х-П5	45	20	×	×	12
09	×	×	12	21	С/П	С/П	50
10	П7	Х-П7	47	22	БП	БП	51
11	ИП3	П-Х3	63	23	00	00	00

Счет

Ввести в регистры памяти: $N \rightarrow \text{П0 (Х-П0)}$; 1000 или 500 $\rightarrow \text{П1 (Х-П1)}$; 0,02004 $\rightarrow \text{П2 (Х-П2)}$; 0,01216 $\rightarrow \text{П3 (Х-П3)}$.

Набрать: $n \uparrow m_{\Sigma} \uparrow m_{\text{Ca}}$, С/П ($n \uparrow B \uparrow m_{\Sigma} \uparrow B \uparrow m_{\text{Ca}}$, С/П), где n —объем пробы, взятой для титрования, мл; m_{Σ} —объем раствора, израсходованный на титрование суммы кальция и магния, мл; m_{Ca} —то же, для кальция, мл.

После останова на индикаторе содержание кальция (в г/л или г/100 г). Нажать клавишу $\rightleftharpoons$, на индикаторе содержание кальция (в мг-экв/л или мг-экв/100 г). Вызвать из регистров: ИП6 (П-Х6) $\rightarrow$ содержание магния (в г/л или г/100 г); ИП7 (П-Х7) $\rightarrow$ то же (в мг-экв/л или мг-экв/100 г).

Набрать соответствующие значения для следующего образца и т. д.

Определение сульфатов весовым методом.

Программа 76

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	—	—	11	08	$\uparrow$	B	0Е
01	ИП1	П-Х1	61	09	ИП3	П-Х3	63
02	×	×	12	10	×	×	12
03	ИП0	П-Х0	60	11	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14
04	÷	÷	13	12	С/П	С/П	50
05	ИП2	П-Х2	62	13	БП	БП	51
06	×	×	12	14	00	00	00
07	$\uparrow$	$B\uparrow$	0Е				

Счет

Ввести в регистры памяти: $n \rightarrow \text{П0 (X-П0)}$; 1000 или 500 $\rightarrow \text{П1 (X-П1)}$; 0,4115 $\rightarrow \text{П2 (X-П2)}$; 20,82 $\rightarrow \text{П3 (X-П3)}$.

Набрать: $m \uparrow m_0$, С/П ($m \uparrow m_0$, С/П), где n —объем пробы, взятой для осаждения сульфатов, мл; m —масса тигля с осадкой, г; m_0 —масса пустого тигля, г.

После останова на индикаторе содержание SO_4^{2-} в г/л или г/100 г. Нажать клавишу $\div$, на индикаторе содержание SO_4^{2-} (в мг-экв/л или мг-экв/100 г).

Набрать соответствующие значения для следующего образца, С/П и т. д.

Примечания. Программу можно использовать для расчетов при определении других компонентов весовым методом. При этом в регистре П2 ввести коэффициент пересчета взвешиваемой формы в определяемую (фактор весового анализа), в регистр ПЗ—величину (1000/Э), где Э—эквивалент определяемого вещества.

Расчет содержания натрия и калия по разности, пересчет анализа в %-экв. форму.

Программа 77

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	7	7	07	24	—	—	11
01	П0	X-П0	40	25	ИП8	П-X8	68
02	1	1	01	26	—	—	11
03	3	3	03	27	П4	X-П4	44
04	П1	X-П1	41	28	×	×	12
05	П2	X-П2	42	29	П5	X-П5	45
06	1	1	01	30	F0	F0	25
07	0	0	00	31	КИП1	КП-X1	Г1
08	0	0	00	32	×	×	12
09	ИП9	П-X9	69	33	КП2	КX-П2	L2
10	ИП4	П-Xa	6—	34	FL0	FL0	5Г
11	+	+	10	35	30	30	30
12	ИПВ	П-Xb	6L	36	ИП4	П-X4	64
13	+	+	10	37	2	2	02
14	ИПС	П-Xc	6[	38	3	3	03
15	+	+	10	39	×	×	12
16	ПД	X-Пd	4Г	40	3	3	03
17	÷	÷	13	41	F10X	F10X	15
18	↑	B↑	0E	42	÷	÷	13
19	↑	B↑	0E	43	ПЗ	X-ПЗ	43
20	ИПД	П-Xd	6Г	44	С/П	С/П	50
21	ИП6	П-X6	66	45	БП	БП	51
22	—	—	11	46	00	00	00
23	ИП7	П-X7	67				

Счет

Ввести в регистры памяти содержание катионов и анионов (в мг-экв):

$\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{П6 (X-П6)}$; $\text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{П7 (X-П7)}$; $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{П8 (X-П8)}$;
 $\text{Cl}^- \rightarrow \text{П9 (X-П9)}$; $\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{П4 (X-П4)}$; $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{ПВ (X-ПВ)}$;
 $\text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{ПС (X-ПС)}$.

Нажать клавишу С/П. После останова вызвать из регистров памяти значения содержания натрия: ИПЗ (П-X3) $\rightarrow \text{Na}^+$, г/л (г/100 г); ИП4 (П-X4) $\rightarrow \text{Na}^+$, мг-экв/л (мг-экв/100 г); ИП5 (П-X5) $\rightarrow \text{Na}^+$, %-экв.

Содержание ионов в %-экв. форме:

ИП6 (П-X6) $\rightarrow \text{Ca}^{2+}$; ИП7 (П-X7) $\rightarrow \text{Mg}^{2+}$; ИП8 (П-X8) $\rightarrow \text{Fe}^{2+}$;
ИП9 (П-X9) $\rightarrow \text{Cl}^-$; ИП4 (П-Xa) $\rightarrow \text{SO}_4^{2-}$; ИПВ (П-Xb) $\rightarrow \text{HCO}_3^-$;
ИПС (П-Xc) $\rightarrow \text{CO}_3^{2-}$; ИПД (П-Xd) $\rightarrow$ сумма содержания катионов и анионов (в мг-экв).

Ввести в регистры соответствующие значения для следующего образца, нажать клавишу С/П и т. д.

Если отсутствуют ионы Fe^{2+} , CO_3^{2-} , то в соответствующие регистры ввести 0.

Расчет анализа в %-экв. форме (натрий и калий определены прямыми методами). Число катионов не менее 5, число анионов не менее 4.

Программа 78

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	5	5	05	27	0	0	00
01	П0	X-П0	40	28	0	0	00
02	8	8	08	29	ИП9	П-X9	69
03	П1	X-П1	41	30	ИП4	П-Xa	6—
04	П2	X-П2	42	31	+	+	10
05	1	1	01	32	ИПВ	П-Xb	6L
06	0	0	00	33	+	+	10
07	0	0	00	34	ИПС	П-Xc	6[
08	ИПЗ	П-X3	63	35	+	+	10
09	ИП4	П-X4	64	36	ПД	X-Пd	4Г
10	+	+	10	37	ПП	ПП	53
11	ИП5	П-X5	65	38	42	42	42
12	+	+	10	39	С/П	С/П	50
13	ИП6	П-X6	66	40	БП	БП	51
14	+	+	10	41	00	00	00
15	ИП7	П-X7	67	42	÷	÷	13
16	+	+	10	43	↑	B↑	0E
17	П8	X-П8	48	44	↑	B↑	0E
18	ПП	ПП	53	45	↑	B↑	0E
19	42	42	42	46	КИП1	КП-X1	Г1
20	4	4	04	47	×	×	12
21	П0	X-П0	40	48	КП2	КX-П2	L2
22	1	1	01	49	F0	F0	25
23	3	3	03	50	FL0	FL0	5Г
24	П1	X-П1	41	51	46	46	46
25	П2	X-П2	42	52	B/o	B/o	52
26	1	1	01				

Счет

Ввести в регистры памяти содержание катионов (ПЗ÷П7 до пяти катионов) и содержание анионов (П9, ПА, ПВ, ПС—до четырех анионов). Нажать клавиши СХ, С/П.

После останова в регистрах 3÷7—содержание соответствующих катионов (в %-экв), в регистрах 9, А, В, С—содержание анионов (в %-экв), в регистрах П8—сумма катионов, ПД—сумма анионов (в мг-экв).

Ввести в регистры соответствующие значения для следующего образца и т. д.

Расчет анализа в %-экв. форме. Число катионов или анионов до 10.

Программа 79

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	21	ИПА	П-Ха	6—
01	3	3	03	22	+	+	10
02	+	+	10	23	ИПВ	П-Хb	6
03	П1	Х-П1	41	24	+	+	10
04	П2	Х-П2	42	25	ИПС	П-Хc	6[
05	1	1	01	26	+	+	10
06	0	0	00	27	ПД	Х-Пd	4Г
07	0	0	00	28	÷	÷	13
08	ИП3	П-Х3	63	29	↑	В↑	0Е
09	ИП4	П-Х4	64	30	↑	В↑	0Е
10	+	+	10	31	↑	В↑	0Е
11	ИП5	П-Х5	65	32	КИП1	КП-Х1	Г1
12	+	+	10	33	×	×	12
13	ИП6	П-Х6	66	34	КП2	КХ-П2	Л2
14	+	+	10	35	F0	F0	25
15	ИП7	П-Х7	67	36	FL0	FL0	5Г
16	+	+	10	37	32	32	32
17	ИП8	П-Х8	68	38	С/П	С/П	50
18	+	+	10	39	БП	БП	51
19	ИП9	П-Х9	69	40	00	00	00
20	+	+	10				

Счет

Содержание катионов или анионов (в мг-экв) ввести в регистры памяти: ПЗ÷П9, А, В, С (до 10 значений).

Набрать: *n*, С/П (*n*—число катионов или анионов). После останова в регистрах памяти—содержание соответствующих ионов (в %-экв), в регистре D—сумма данных ионов (в мг-экв).

Ввести в регистры содержания анионов или катионов следующего образца, набрать: *n*, С/П и т. д.

Расчет гипотетического состава солей по результатам анализа водной вытяжки.

Программа 80

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ИП1	П-Х1	61	46	ПА	Х-Па	4—
01	П6	Х-П6	46	47	ИП2	П-Х2	62
02	ИП5	П-Х5	65	48	—	—	11
03	—	—	11	49	FX<0	FX<0	5[
04	FX<0	FX<0	5[	50	67	67	67
05	31	31	31	51	/-/	/-/	0L
06	/-/	/-/	0L	52	ПД	Х-Пd	4Г
07	П7	Х-П7	47	53	0	0	00
08	0	0	00	54	ПВ	Х-Пb	4L
09	П9	Х-П9	49	55	ИП0	П-Х0	60
10	ПС	Х-Пc	4[	56	С/П	С/П	50
11	↔	↔	14	57	ПС	Х-Пc	4[
12	ИП2	П-Х2	62	58	ИП4	Х-П4	64
13	—	—	11	59	П9	Х-П9	49
14	FX<0	FX<0	5	60	0	0	00
15	75	75	75	61	ПА	Х-Па	4—
16	/-/	/-/	0L	62	ПВ	Х-Пb	4L
17	0	0	00	63	ИП2	Х-П2	62
18	П8	Х-П8	48	64	ПД	Х-Пd	4Г
19	↔	↔	14	65	ИП0	П-Х0	60
20	ПА	Х-Па	4—	66	С/П	С/П	50
21	ИП4	Х-П4	64	67	ПВ	Х-Пb	4L
22	—	—	11	68	ИП2	П-Х2	62
23	FX<0	FX<0	5[	69	ПА	Х-Па	4—
24	85	85	85	70	0	0	00
25	/-/	/-/	0L	71	ПС	Х-Пc	4[
26	ПВ	Х-Пb	4L	72	ПД	Х-Пd	4Г
27	0	0	00	73	ИП3	П-Х3	63
28	ПД	Х-Пd	4Г	74	С/П	С/П	50
29	ИП3	П-Х3	63	75	П8	Х-П8	48
30	С/П	С/П	50	76	ИП2	П-Х2	62
31	ИП5	П-Х5	65	77	П7	Х-П7	47
32	П6	Х-П6	46	78	ИП4	П-Х4	64
33	СХ	СХ	0Г	79	ПВ	Х-Пb	4L
34	П7	Х-П7	47	80	0	0	00
35	П8	Х-П8	48	81	ПА	Х-Па	4—
36	↔	↔	14	82	ПД	Х-Пd	4Г
37	П9	Х-П9	49	83	ИП3	П-Х3	63
38	ИП4	П-Х4	64	84	С/П	С/П	50
39	—	—	11	85	ПД	Х-Пd	4Г
40	FX<0	FX<0	5[	86	ИП4	П-Х4	64
41	57	57	57	87	ПА	Х-Па	4—
42	/-/	/-/	0L	88	0	0	00
43	0	0	00	89	ПВ	Х-Пb	4L
44	ПС	Х-Пc	4[	90	ИП0	П-Х0	60
45	↔	↔	14	91	С/П	С/П	50

Счет

Ввести в регистры памяти содержание катионов и анионов (в мг-экв/100 г):

$\text{Na}^+ \rightarrow \text{П0}(\text{X-П0}); \text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{П1}(\text{X-П1}); \text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{П2}(\text{X-П2}); \text{Cl}^- \rightarrow \text{П3}(\text{X-П3}); \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{П4}(\text{X-П4}); (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}) \rightarrow \text{П5}(\text{X-П5}).$

Нажать клавиши В/о, С/П.

После останова на индикаторе содержание NaCl (в мг-экв/100 г). Вызвать из регистров памяти содержание других солей (в мг-экв/100 г):

ИП6 (П-Х6) $\rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$; ИПВ (П-Хв) $\rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4$;

ИП7 (П-Х7) $\rightarrow \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$; ИПС (П-Хс) $\rightarrow \text{CaCl}_2$;

ИП8 (П-Х8) $\rightarrow \text{NaHCO}_3$; ИПD (П-Хd) $\rightarrow \text{MgCl}_2$.

ИП9 (П-Х9) $\rightarrow \text{CaSO}_4$;

ИПА (П-Ха) $\rightarrow \text{MgSO}_4$;

Ввести в регистры памяти соответствующие значения для следующего образца, нажать клавиши В/о, С/П и т. д.

Оценка состава порового раствора по результатам анализа водной вытяжки.

Результат анализа водной вытяжки даст возможность приблизительно оценить состав порового раствора. В случае глинистых грунтов такой пересчет применим лишь для ионов хлора (NO_3^- , NO_2^-). Для грубодисперсных грунтов пересчет может быть осуществлен относительно комплекса легкорастворимых солей.

Программа 81

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	—	—	11	04	×	×	12
01	÷	÷	13	05	С/П	С/П	50
02	3	3	03	06	БП	БП	51
03	F10X	F10X	15	07	00	00	00

Счет

Набрать: $X \uparrow W \uparrow W_g$, С/П ($X \uparrow W \uparrow W_g \uparrow W_g$, С/П), где X —содержание соответствующего иона или соли по результатам анализа водной вытяжки (в г/100 г); W —естественная влажность грунта, %; W_g —гигроскопическая влажность грунта, %.

После останова на индикаторе содержание данного иона (соли) в поровом растворе (в г/л). Результат такого расчета следует сравнить с величиной растворимости данного вещества.

Набрать соответствующие значения для следующего образца. С/П и т. д.

Интерпретация результатов анализа солянокислых вытяжек

Анализ солянокислой вытяжки должен включать определения оксидов кальция, марганца, магния, железа (двух- и трехвалентного), а также сульфатов, карбонатов (CO_2). Для интерпретации необходимы

также данные о содержании легкорастворимых солей (водная вытяжка), составе поглощенного комплекса катионов и содержании общей серы.

Условные обозначения

$r\text{Ca}_{\text{лр}}^{2+}$, $r\text{Mg}_{\text{лр}}^{2+}$, $r\text{SO}_{4\text{лр}}^{2-}$ —содержание соответствующих легкорастворимых соединений в грунте по данным анализа водной вытяжки, в мг-экв/100 г;

$r\text{Ca}_{\text{п}}^{2+}$, $r\text{Mg}_{\text{п}}^{2+}$ —содержание соответствующих катионов в поглощенном комплексе грунта в мг-экв/100 г;

SO_3 , CaO , MnO , MgO , FeO —содержание в грунте соответствующих соединений по результатам анализа солянокислой вытяжки, %; S , CO_2 —общее содержание соответствующих соединений в грунте, %.

Значения 1000/Э: SO_3 —25; MnO —28,2; S —62,5; FeO —27,8; CaO —35,7; MgO —49,5;

мг-экв: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ —0,086; FeS_2 —0,06.

Содержание средне- и труднорастворимых солей по результатам анализа солянокислой вытяжки.

Программа 82

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ИП6	П-Х6	66	26	П1	Х-П1	41
01	×	×	12	27	С/П	С/П	50
02	П5	Х-П5	45	28	ИПА	П-Ха	6—
03	↔	↔	14	29	×	×	12
04	—	—	11	30	—	—	11
05	П4	Х-П4	44	31	+	+	10
06	С/П	С/П	50	32	/—/	/—/	0L
07	ИП7	П-Х7	67	33	П2	Х-П2	42
08	×	×	12	34	С/П	С/П	50
09	ИП5	П-Х5	65	35	ИПВ	П-Хв	6L
10	—	—	11	36	×	×	12
11	2	2	02	37	ИП5	П-Х5	65
12	÷	÷	13	38	—	—	11
13	П5	Х-П5	45	39	П3	Х-П3	43
14	С/П	С/П	50	40	ИП4	П-Х4	64
15	ИП8	П-Х8	68	41	ИПС	П-Хс	6 [
16	×	×	12	42	×	×	12
17	—	—	11	43	П4	Х-П4	44
18	+	+	10	44	ИП5	П-Х5	65
19	/—/	/—/	0L	45	ИПD	П-Хd	6Г
20	ИП4	П-Х4	64	46	×	×	12
21	—	—	11	47	П5	Х-П5	45
22	П0	Х-П0	40	48	С/П	С/П	50
23	С/П	С/П	50	49	БП	БП	51
24	ИП9	П-Х9	69	50	00	00	00
25	×	×	12				

В регистры памяти ввести значения соединений (в 1000/Э и экв):

25→П6(Х-П6); 62,5→П7(Х-П7); 35,7→П8(Х-П8); 28,2→П9(Х-П9);
49,5→ПА(Х-Па); 27,8→ПВ(Х-Пв); 0,086→ПС(Х-Пс); ^ 36→ПД(Х-Пд).

Набрать: $rSO_{4\text{лр}}^{2-} \uparrow SO_3$, С/П ($rSO_{4\text{лр}}^{2-} B \uparrow SO_3$, С/П).

После останова: S (в %), С/П.

После останова: $rCa_{\text{лр}}^{2+} \uparrow rCa_{\text{п}}^{2+} \uparrow CaO$, С/П ($rCa_{\text{лр}}^{2+} B \uparrow rCa_{\text{п}}^{2+} B \uparrow CaO$, С/П).

После останова: MnO, С/П.

После останова: $rMg_{\text{лр}}^{2+} \uparrow rMg_{\text{п}}^{2+} \uparrow MgO$, С/П ($rMg_{\text{лр}}^{2+} B \uparrow rMg_{\text{п}}^{2+} B \uparrow MgO$, С/П).

После останова: FeO, С/П.

После останова вызвать из регистров памяти данные о содержании следующих солей (в %):

ИП4 (П-Х4) → гипса;

ИП5 (П-Х5) → FeS₂;

ИПО (П-Х0) → труднорастворимых солей Ca;

ИП1 (П-Х1) → труднорастворимых солей Mn;

ИП2 (П-Х2) → труднорастворимых солей Mg;

ИП3 (П-Х3) → труднорастворимых солей FeO (II).

Последние 4 величины необходимы при определении состава карбонатных минералов.

После завершения расчетов по одному образцу перейти к расчетам по следующему образцу: набрать соответствующие значения для $rSO_{4\text{лр}}^{2-} \uparrow SO_3$, С/П и т. д.

Содержание карбонатных минералов по результатам анализа солянокислых вытяжек.

Программа 83

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ИПО	П-Х0	60	42	49	49	49
01	ИП1	П-Х1	61	43	ИП8	П-Х8	68
02	—	—	11	44	ПВ	Х-Пв	4L
03	ПС	Х-Пс	4	45	ИП3	П-Х3	63
04	$FX \geq 0$	$FX \geq 0$	59	46	ПА	Х-Па	4—
05	24	24	24	47	БП	БП	51
06	ИП2	П-Х2	62	48	49	49	49
07	—	—	11	49	ИП5	П-Х5	65
08	П5	Х-П5	45	50	ИП4	П-Х4	64
09	$FX \geq 0$	$FX \geq 0$	59	51	—	—	11
10	31	31	31	52	П9	Х-П9	49
11	ИП3	П-Х3	63	53	$FX \geq 0$	$FX \geq 0$	59
12	—	—	11	54	66	66	66
13	П8	Х-П8	48	55	ИП3	П-Х3	63

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
14	$FX \geq 0$	$FX \geq 0$	59	56	—	—	11
15	37	37	37	57	ИП4	П-Х4	64
16	ИП4	П-Х4	64	58	ПД	Х-Пд	4Г
17	—	—	11	59	↔	↔	14
18	ИП3	П-Х3	63	60	$FX < 0$	$FX < 0$	5 [
19	ПА	Х-Па	4—	61	С/П	С/П	50
20	↔	↔	14	62	ИП9	П-Х9	69
21	$FX \geq 0$	$FX \geq 0$	59	63	ПС	Х-Пс	4 [
22	43	43	43	64	БП	БП	51
23	С/П	С/П	50	65	70	70	70
24	ИПО	П-Х0	60	66	ИП5	П-Х5	65
25	П1	Х-П1	41	67	ПД	Х-Пд	4Г
26	0	0	00	68	0	0	00
27	П2	Х-П2	42	69	ПС	Х-Пс	4 [
28	П3	Х-П3	43	70	ИПА	П-Ха	6—
29	П4	Х-П4	44	71	ИПС	П-Хс	6 [
30	С/П	С/П	50	72	+	+	10
31	ИПС	П-Хс	61	73	2	2	02
32	П2	Х-П2	42	74	÷	÷	13
33	0	0	00	75	П3	Х-П3	43
34	П3	Х-П3	43	76	ИПВ	П-Хв	6L
35	П4	Х-П4	44	77	ИПД	П-Хд	6Г
36	С/П	С/П	50	78	+	+	10
37	ИП5	П-Х5	65	79	2	2	02
38	ПА	Х-Па	4—	80	÷	÷	13
39	0	0	00	81	П4	Х-П4	44
40	ПВ	Х-Пв	4L	82	С/П	С/П	50
41	БП	БП	51				

Счет

Ввести в регистры памяти содержание катионов труднорастворимых солей (см. предыдущую программу) и карбонатного CO₂, (в мг-экв/100 г). Если CO₂ приведено в процентах, то для перевода в мг-экв/100 надо его содержание в % умножить на K=45,45.

CO₂→ПО(Х-ПО); Ca→П1(Х-П1); Mn→П2(Х-П2); Mg→П3(Х-П3); Fe→П4(Х-П4).

Нажать клавиши: В/о, С/П

После останова вызвать из регистров содержание карбонатных минералов (в мг-экв/100 г). Для перевода в % умножить на значение карбоната (в мг-экв):

ИП1 (П-Х1)→на индикаторе содержание CaCO₃ (в мг-экв/100 г), набрать 0,050 ×, на индикаторе содержание CaCO₃ (в %);

ИП5(П-Х5)→содержание MnCO₃ (в мг-экв/100 г), набрать 0,0574 × —то же (в %);

ИП6(П-Х6)→MgCO₃ (в мг-экв/100 г); 0,0422 × —то же (в %);

ИП7(П-Х7)→FeCO₃ (в мг-экв/100 г); 0,0579× — то же (в %).
 Приступить к расчетам по следующему образцу, предварительно нажав клавишу В/о.

КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ, СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ, СПЕКТРАЛЬНЫЙ И ДРУГИЕ ВИДЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Приведенные в этом разделе программы применимы при выполнении анализов методом сравнения какой-либо характеристики исследуемого вещества и ряда эталонов с различным содержанием определяемого компонента.

Наибольшая точность достигается при прямолинейной зависимости показаний прибора (значения характеристики) от содержания определяемого компонента в исследуемом веществе. Если график этой зависимости криволинеен, то ее обычно приводят к прямолинейной, преобразуя аргумент или функцию. Наиболее часто используют следующие виды зависимостей:

$$C = a + bX; \quad (1)$$

$$\lg C = a + bX; \quad (2)$$

$$C = a + b \lg(A - X); \quad (3)$$

$$C = a + b \lg X, \quad (4)$$

где C — концентрация определяемого компонента;

X — показание прибора.

Первый вид зависимости (прямолинейная) широко используется в любых видах анализов, но применим обычно лишь в узких интервалах изменений концентраций. Второй — встречается также достаточно часто, например в спектральном анализе, когда увеличение концентрации сопровождается снижением чувствительности метода. Третий вид является основным при фотокалориметрических, спектрофотометрических, атомноабсорбционных анализах, основанных на изменении оптической плотности под влиянием определяемого компонента. В этой зависимости величина A — показание прибора в случаях полного отсутствия определяемого компонента ($X=0$). Если шкала прибора градуирована в величинах ($A=X$), то целесообразно использовать четвертый вид зависимости.

Точность такого анализа во многом зависит от точности зависимости (калибровочного графика). Предлагаемая программа дает возможность оценить эту точность по величине среднеквадратичного отклонения определяемой величины от фактической.

Необходимо учитывать, что при использовании зависимости второго вида первоначально определяется среднеквадратическое отклонение логарифма концентрации. Программа рассчитывает величину $\sigma^2 = 10^{a/c}$, которая показывает, во сколько раз определяемая концентрация может отличаться от фактической.

Программа 84 предназначена для расчетов в случае линейной зависимости показаний прибора от концентрации (зависимость 1).

Программа 85 универсальна. Она позволяет произвести расчет для всех перечисленных выше зависимостей. Ею удобно пользоваться также и в тех случаях, когда вид зависимости заранее неизвестен, нужно произвести расчеты по разным уравнениям и подобрать оптимальное по минимальному значению стандартного отклонения.

Программа 84

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	41	—	—	11
01	П1	Х-П1	41	42	П6	Х-П6	46
02	СХ	СХ	0Г	43	ИП4	П-Х4	64
03	П2	Х-П2	42	44	ИП2	П-Х2	62
04	П3	Х-П3	43	45	FX ²	FX ²	22
05	П4	Х-П4	44	46	ИП1	П-Х1	61
06	П5	Х-П5	45	47	÷	÷	13
07	П6	Х-П6	46	48	—	—	11
08	С/П	С/П	50	49	÷	÷	13
09	ПС	Х-Пс	4Г	50	П8	Х-П8	48
10	ИП2	П-Х2	62	51	ИП2	П-Х2	62
11	+	+	10	52	×	×	12
12	П2	Х-П2	42	53	ИП3	Х-П3	63
13	↔	↔	14	54	↔	↔	14
14	ПD	Х-Пd	4Г	55	—	—	11
15	ИП3	П-Х3	63	56	ИП1	П-Х1	61
16	+	+	10	57	÷	÷	13
17	П3	Х-П3	43	58	П7	Х-П7	47
18	ИПС	Х-Пс	6Г	59	ИП5	П-Х5	65
19	FX ²	FX ²	22	60	ИП3	П-Х3	63
20	ИП4	П-Х4	64	61	FX ²	FX ²	22
21	+	+	10	62	ИП1	П-Х1	61
22	П4	Х-П4	44	63	÷	÷	13
23	ИПD	П-Хd	6Г	64	—	—	11
24	FX ²	FX ²	22	65	ИП8	П-Х8	68
25	ИП5	П-Х5	65	66	ИП6	П-Х6	66
26	+	+	10	67	×	×	12
27	П5	Х-П5	45	68	—	—	11
28	ИПС	П-Хс	6Г	69	ИП1	П-Х1	61
29	ИПD	П-Хd	6Г	70	2	2	02
30	×	×	12	71	—	—	11
31	ИП6	П-Х6	66	72	÷	÷	13
32	+	+	10	73	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
33	П6	Х-П6	46	74	С/П	С/П	50
34	FL0	FL0	5Г	75	ИП8	П-Х8	68
35	08	08	08	76	×	×	12
36	ИП2	П-Х2	62	77	ИП7	П-Х7	67
37	ИП3	П-Х3	63	78	+	+	10
38	×	×	12	79	БП	БП	51
39	ИП1	П-Х1	61	80	74	74	74
40	÷	÷	13				

Счет

Набрать: число значений для эталонных растворов n , С/П. Значение n должно быть больше 2.

После останова последовательно ввести все пары значений для эталонных растворов:

$C_1 \uparrow X_1$, С/П ($C_1 \uparrow X_1$, С/П); после останова — $C_2 \uparrow X_2$, С/П ($C_2 \uparrow X_2$, С/П) и т. д.

После ввода данных по эталонным растворам и останова на индикаторе значение стандартной ошибки, характеризующее точность графика.

Набрать значение показания прибора для испытуемого образца: X , С/П.

После останова — на индикаторе соответствующая концентрация.

Набрать следующее значение X , С/П и т. д.

Для перехода к расчетам по другим эталонам нажать клавишу В/о, набрать следующее значение n , С/П и далее, как сказано выше.

Пример приведен после программы 85.

Программа 85

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	48	ИП1	П-Х1	61
01	П1	Х-П1	41	49	÷	÷	13
02	СХ	СХ	0Г	50	—	—	11
03	П2	Х-П2	42	51	÷	÷	13
04	П3	Х-П3	43	52	П8	Х-П8	48
05	П4	Х-П4	44	53	ИП2	П-Х2	62
06	П5	Х-П5	45	54	×	×	12
07	П6	Х-П6	46	55	ИП3	П-Х3	63
08	С/П	С/П	50	56	↔	↔	14
09	КНОП	КНОП	54	57	—	—	11
10	КНОП	КНОП	54	58	ИП1	П-Х1	61
11	ПС	Х-Пс	4Г	59	÷	÷	13
12	ИП2	П-Х2	62	60	П7	Х-П7	47
13	+	+	10	61	ИП5	П-Х5	65
14	П2	Х-П2	42	62	ИП3	П-Х3	63
15	↔	↔	14	63	FX^2	FX^2	22
16	ПД	Х-Пд	4Г	64	ИП1	П-Х1	61
17	ИП3	П-Х3	63	65	÷	÷	13
18	+	+	10	66	—	—	11
19	П3	Х-П3	43	67	ИП8	П-Х8	68
20	ИПС	П-Хс	6Г	68	ИП6	П-Х6	66
21	FX^2	FX^2	22	69	×	×	12
22	ИП4	П-Х4	64	70	—	—	11
23	+	+	10	71	ИП1	П-Х1	61
24	П4	Х-П4	44	72	2	2	02
25	ИПД	П-Хд	6Г	73	—	—	11
26	FX^2	FX^2	22	74	÷	÷	13
27	ИП5	П-Х5	65	75	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
28	+	+	10	76	КНОП	КНОП	54

Продолжение программы 85

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
29	П5	Х-П5	45	77	С/П	С/П	50
30	ИПС	П-Хс	6Г	78	КНОП	КНОП	54
31	ИПД	П-Хд	6Г	79	КНОП	КНОП	54
32	×	×	12	80	ИП8	П-Х8	68
33	ИП6	П-Х6	66	81	×	×	12
34	+	+	10	82	ИП7	П-Х7	67
35	П6	Х-П6	46	83	+	+	10
36	$FL0$	$FL0$	5Г	84	КНОП	КНОП	54
37	08	08	08	85	БП	БП	51
38	ИП2	П-Х2	62	86	77	77	77
39	ИП3	П-Х3	63	87	↔	↔	14
40	×	×	12	88	Flg	Flg	17
41	ИП1	П-Х1	61	89	↔	↔	14
42	÷	÷	13	90	В/о	В/о	52
43	—	—	11	91	ИПА	П-Ха	6—
44	П6	Х-П6	46	92	↔	↔	14
45	ИП4	П-Х4	64	93	—	—	11
46	ИП2	П-Х2	62	94	Flg	Flg	17
47	FX^2	FX^2	22	95	В/о	В/о	52

Примечания. Приведенный вариант программы предназначен для расчетов в случае простой линейной зависимости $C=a+bX$. Если зависимость соответствует другому уравнению, то в программу необходимо ввести исправления (табл. 1).

Таблица 1

Адрес	Уравнение зависимости		
	$lg C=a+bX$	$C=a+b lg(A-X)$	$C=a+b lg X$
09	ПП	ПП	ПП
10	87	91	94
76	10^X	КНОП	КНОП
78	КНОП	ПП	ПП
79	КНОП	91	94
84	10^X	КНОП	КНОП

Примечание. При уравнении $C=a+bX$ по всем адресам нажать клавишу КНОП.

Счет

Если расчет проводится по уравнению $C=a+b lg(A-X)$, то ввести в регистр памяти значение A : $A \rightarrow ПА(X-Па)$.

Далее для всех видов зависимостей вычисления проводятся одинаково: набрать n , С/П. После останова последовательно ввести все пары значений C и X для эталонов:

$C_1 \uparrow X_1$, С/П ($C_1 \uparrow X_1$, С/П), после останова $C_2 \uparrow X_2$, С/П и т. д. После ввода всех значений C и X для эталонов и останова на индикаторе стандартное отклонение расчетной величины C от фак-

тической (ошибка графика). Набрать значение X для анализируемого раствора: X , С/П. После останова на индикаторе его концентрация. Набрать значение X для следующего раствора, С/П и т. д.

Для перехода к расчетам по другим стандартным растворам нажать клавишу В/о.

Примеры

Уравнение $C=a+bX$:

$n=4$; $C_1=8$, $X_1=2$; $C_2=11,5$, $X_2=3$; $C_3=13,5$, $X_3=4$; $C_4=17$, $X_4=5$; $\sigma=0,47$; $X=3,5$; $CX=12,5$.

Уравнение $\lg C=a+bX$:

$n=4$; $C_1=4,3$, $X_1=2$; $C_2=8,1$, $X_2=3$; $C_3=11,7$, $X_3=4$; $C_4=22,2$, $X_4=5$; $\sigma'=1,09$; $X=3,5$; $CX=9,75$.

Уравнение $C=a+b \lg(A-X)$:

$n=4$; $A=10$; $C_1=8$, $X_1=7,8$; $C_2=11,5$, $X_2=6,6$; $C_3=13,5$, $X_3=4,9$; $C_4=17$, $X_4=2,4$; $\sigma=0,46$; $X=12,5$; $CX=12,45$.

Уравнение $C=a+b \lg X$:

$n=4$; $C_1=8$, $X_1=2,2$; $C_2=11,5$, $X_2=3,4$; $C_3=13,5$, $X_3=5,1$; $C_4=17$, $X_4=7,6$; $\sigma=0,46$; $X=4,1$; $CX=12,45$.

ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

ОПОЛЗНИ

Оценка существующего и прогноз дальнейшего развития оползней имеют важное практическое значение. Особую актуальность проблема профилактики оползней и борьбы с ними приобрела в последние годы в связи с массовой активизацией оползневых процессов. Согласно международной статистике, около 80% современных оползней в той или иной степени связано с хозяйственной деятельностью человека.

Положение усугубляется еще и тем, что практически во всем мире из года в год неуклонно возрастает дефицит свободных территорий с благоприятными инженерно-геологическими условиями. Поэтому возникает острая необходимость освоения неудобных земель, к числу которых относятся и оползнеопасные территории.

Оползни причиняют огромный материальный ущерб, нередко вызывают и человеческие жертвы. Например, по данным профессора Р. Шустера, сумма прямых и косвенных убытков, связанных с оползнями, по состоянию на конец 70-х годов составляла в США не менее 1 млрд. дол. в год. В Японии за 1969-1972 гг. склоновыми

процессами разрушено 7228 зданий, погибло 519 человек, что в среднем составляет около 43% от общего числа погибших от всех других стихийных бедствий. Значительные разрушения вызвали в 1988—1989 гг. оползни в Таджикистане, на Кавказе, в Ставропольском и Краснодарском краях и других районах СССР. В частности, в предгорных районах Чечено-Ингушетии было полностью разрушено более 700 домов, сотни домов находились в аварийном состоянии.

Для выбора комплекса защитных мер нередко приходится выполнять оперативные расчеты устойчивости склонов, имеющих различное геологическое строение, которое предопределяет развитие оползней разного механизма, а соответственно и применение разных расчетных схем. Кроме того, решаются и более частные задачи.

Программирующие микрокалькуляторы весьма удобны для таких оперативных расчетов, которые можно выполнять и в полевых условиях.

Механизм и генезис оползней

Количественная оценка и прогноз устойчивости оползнеопасных и оползневых склонов проводятся применительно к механизму оползней и их генезису.

Механизм оползневого процесса является не только основой выбора расчетной схемы, но и важнейшим классификационным признаком. Обычно под механизмом оползня понимают закономерное взаимодействие отдельных элементов оползневой геосистемы, приводящее к последовательному изменению ее состояния. Внешне это изменение выражается в деформациях геологической среды на склоне.

Существует множество общих классификаций оползней по механизму, но наиболее распространены классификации М. К. Рзасвой, К. А. Гулакяна и В. В. Кюнтцеля. Разработаны также региональные классификации, примером которых может служить классификация оползней Северного Кавказа [7].

Обобщенная схема типизации оползней по механизму их развития, составленная на основе названных классификаций, приведена в табл. 2.

Таблица 2

Типы	Подтипы
Оползни скольжения (сдвига, блоковые)	Срезающие (скальвающие) асеквентные и инсеквентные Соскальзывающие консеквентные
Оползни выдавливания (раздавливания, блоковые, структурно-пластические)	—
Оползни течения (консистентные, оползни-потоки)	Пластического течения (пластические) Вязкопластического течения (оползни-потоки) Вязкого течения (оплывины, сплывы)

Типы	Подтипы
Оползни выплывания	Суффозионные (суффозионно-структурные, суффозионно-пластические) Оползни гидродинамического выпора
Оползни внезапного разжижения Оползни проседания (просадочные) Оползни сложного механизма	— Сложное сочетание и переход одних типов и подтипов оползней в другие

Примечание. В скобках — бытующие названия.

Срезающие асеквентные и инсеквентные оползни образуются в результате скольжения по ослабленным поверхностям, переходящего в срез (скалывание) блоков жестких однородных или слоистых пород, залегающих несогласно с направлением и крутизной склонов. Деформации пород развиваются вследствие регрессивного изменения напряженного состояния и «мгновенной» потери прочности. Основной деформирующийся горизонт (ОДГ) обычно представлен глинистыми, песчано (карбонатно)-глинистыми отложениями преимущественно полутвердой и твердой консистенций средней и высокой степеней уплотнения и литификации. Поверхность оползневого скольжения выражена четко, в продольном сечении оползня имеет преимущественно вогнутую, приближающуюся к круглоцилиндрической, или криволинейную неправильную форму, иногда имеет вид ломаной линии.

Соскальзывающие консеквентные оползни образуются на склонах, сложенных однородными или слоистыми породами, залегающими согласно с направлением и крутизной склонов.

Соскальзывание пакетов, пачек, блоков и массивов пород происходит по ослабленным зонам и поверхностям (трещинам, контактам слоев и т. п.). Оползневые деформации возникают в результате регрессивного изменения напряженного состояния массивов пород, увлажнения и размягчения контактов слоев. Как правило, ОДГ представлен пластичными глинистыми прослоями слабой и средней степени уплотнения и литификации. Поверхность смещения выражена четко. Чаще всего имеет плоскую форму.

Оползни выдавливания образуются в результате скола, отседания и смещения крупных блоков жестких однородных или слоистых пород вследствие вязкопластического течения подстилающего относительно слабого пласта и его выдавливания под весом перекрывающей толщи. Обычно эти оползни имеют характерный ступенчатый рельеф в верхней половине за счет отчленения новых и новых блоков, постепенно смещающихся вниз по склону.

Чаще всего ОДГ сложен глинистыми породами пластичной и полутвердой консистенции, слабой и средней степени уплотнения и литификации, залегающими в склоне или его основании. Смещение

происходит во всем объеме ОДГ, поэтому поверхность смещения выражена нечетко.

Оползни течения — одни из самых многочисленных. Пластические оползни являются результатом достаточно медленного пластического течения всей толщи однородных или слоистых глинистых пород или ее нижней части с одновременным сколом и смещением вышележащих пород. Оползневый процесс развивается вследствие регрессивного изменения реологических свойств пород ОДГ при их увлажнении. Представлен ОДГ глинистыми породами пластичной или полутвердой консистенции слабой и средней степени уплотнения и литификации, слагающими всю толщу оползневых накоплений или ее нижнюю часть. Поскольку смещение происходит во всем объеме ОДГ, поверхность смещения выражена нечетко.

Оползни-потоки образуются в результате быстрого вязкопластического течения всей массы рыхлых песчано-глинистых, пылеватых и глинистых, иногда с примесью грубообломочных отложений вследствие резкого снижения их прочности при увлажнении. Формируется ОДГ во всем объеме оползневых накоплений. Поверхность смещения, как правило, выражена четко, обычно она имеет криволинейное очертание. Ее форма предопределена рельефом кровли несмещенных пород.

Оползни-отплывины представляют собой быстрое вязкое течение почв и грунтов деятельного слоя, представленного глинистыми, пылеватыми, песчано-глинистыми и щебнистыми отложениями с глинистым заполнителем. Оползневое смещение обычно происходит в виде разовой подвижки вследствие резкого снижения прочности при избыточном увлажнении (разжижении) и высоких гидравлических градиентах. ОДГ занимает весь объем смещающихся пород. Поверхность смещения обычно совпадает с подошвой деятельного слоя или геологическими контактами пород.

Оползни выплывания образуются в результате либо суффозии, либо гидродинамического выпора. Суффозионные оползни представляют собой смещение продуктов обрушения суффозионных ниш, сложенных однородными или слоистыми породами, вследствие выплывания песчаных и пылеватых отложений при высоких гидравлических градиентах, а также выноса воднорастворимых солей.

Обычно ОДГ сложен водонасыщенными пылеватыми и песчаными грунтами, находящимися в текучем состоянии, а также проницаемыми породами, засоленными водорастворимыми солями, залегающими на склоне или в его основании. Поверхность смещения не выражена, поскольку оно происходит во всем объеме ОДГ.

Оползни гидродинамического выпора образуются под воздействием гидродинамического давления потока грунтовых вод, заключенного в хорошо проницаемых грунтах. В оползневом смещении участвуют водоносные песчаные и пылеватые грунты, а также перекрывающие их однородные или слоистые отложения. Обычно происходит фронтальный отрыв блока пород с последующей его дезинтеграцией.

Оползни внезапного разжижения, иногда именуемые оползнями «норвежского» типа, происходят на склонах, сложенных недоуплотненными глинистыми грунтами, имеющими в ненарушенном сложении влажность выше предела текучести или около него. Эти грунты весьма тиксотропны, склонны к разжижению при динамических нагрузках, поэтому оползни могут происходить даже на очень пологих склонах после сейсмических толчков, вибродинамических нагрузок от проходящего транспорта и т. п.

Оползни проседания образуются в результате скола, проседания с одновременным смещением блоков «сухих» лёссовых пород вследствие лавинной потери прочности в нижней части «замоченной» просадочной толщи. Именно в этой части, в условиях перехода лёссовых пород в текучее состояние при избыточном увлажнении, формируется ОДГ. Поверхность смещения просадочных оползней выражена достаточно четко. В голове оползня она вертикальная, в остальной части — определяется рельефом кровли несмещенных пород. Следует отметить, что в лёссовых породах не всегда возникают только просадочные оползни, наличие просадочной толщи на склоне — не единственный критерий оползней проседания. Довольно часто такие склоны деформируются срезающими оползнями скольжения, оползнями течения, известны случаи образования оползней выдавливания (например, на Северном Кавказе, в долине р. Кубань).

Наконец, оползни сложного механизма представляют собой сочетание и переход одних типов оползней в другие. Наиболее характерны оползни скольжения, выдавливания, проседания, переходящие в потоки.

Основной деформирующий горизонт сложных оползней представлен обычно пластическими глинистыми и песчано-глинистыми породами слабой и средней степени уплотнения и литификации. Поверхность смещения обычно имеет сложную криволинейную форму.

По генетическому признаку, учитывающему главные оползнеобразующие факторы, различают оползни абразионные, вызванные переработкой берегов морей, озер и водохранилищ; эрозионные, возникающие под влиянием донной и боковой русловой эрозии; гидрогеогенные, образующиеся в результате геологической деятельности инфильтрующихся атмосферных осадков и подземных вод; антропогенные, вызванные изменением конфигурации склонов в результате десквамации, подрезки, рытья траншей, котлованов и т. п.; полигенные, образующиеся под воздействием группы факторов.

Количественная оценка, прогноз устойчивости склонов и развития оползневого процесса

Перед количественной локальной оценкой и прогнозом устойчивости склонов всегда проводится качественная оценка наличия или возможности развития оползней того или иного типа. При этом, как правило, применяются историко-геологические методы, оценка

оползневого риска и методы аналогии с учетом генезиса, возраста, стадии формирования и морфологии склона.

В результате историко-геологического анализа оползневые и оползнеопасные склоны районированы по степени относительной устойчивости с выделением устойчивых, условно устойчивых и неустойчивых участков; определяются основные оползнеобразующие факторы и генеральные направления противооползневой защиты. Оползневый риск оценивается по коэффициенту оползневой пораженности территории.

Наиболее простым из методов аналогий является сравнительно-геологический метод Е. П. Емельяновой, разработанный и достаточно обоснованный для областей с горизонтальным залеганием слоистых или однородных глинистых пород.

Локальная оценка и прогноз устойчивости склонов расчетными количественными методами предполагают наличие следующих исходных данных:

геологические разрезы по наиболее характерным расчетным створам, составленным при соотношении вертикального и горизонтального масштабов 1:1; на разрезах должны быть показаны профиль рельефа, границы инженерно-геологических элементов с относительно однородными по литологии и свойствам породами; положение поверхностей и зон ослабления в массиве (тектонические зоны дробления, зоны выветривания, поверхности и зоны смещения старых оползней, контакты слоев, прослои слабых пород и т. п.); границы распространения оползневых накоплений; положение уровня подземных вод и границы обводненных зон; сведения о типах существующих или предполагаемых оползней по механизму, положения границ оползневых или оползнеопасных участков в плане;

сейсмические условия территории;

места приложения и величины антропогенных статических и динамических нагрузок (от зданий, сооружений, проходящих транспортных средств и т. п.);

гидравлические градиенты и величины напоров подземных вод; расчетные и нормативные показатели ряда физико-механических свойств пород, участвующих в оползневых смещениях, и несмещенных (естественная влажность, плотность, плотность частиц грунта; сцепление и угол внутреннего трения, определенные по методике, наиболее полно моделирующей работу грунта в природных условиях; иногда требуется определение показателей сжимаемости и прочности на раздавливание).

Для количественной оценки и прогноза устойчивости склонов разработаны и широко применяются расчетные методы, основанные на определенных физических моделях оползневого процесса с применением математического аппарата. При этом рассматриваются условия предельного равновесия, наблюдающиеся перед оползневым смещением и сразу после него. Существует множество методов расчета

устойчивости склонов, критическому обзору которых посвящены специальные работы [4, 9].

Наиболее распространены и широко применяются в практике методы «равноустойчивого» откоса В. В. Соколовского, равнопрочного откоса (метод Фр) Н. Н. Маслова; метод, основанный на принципе крупноцилиндрической поверхности скольжения, впервые предложенный в 1962 г. В. Феллениусом, а затем в различных модификациях применявшийся многими другими учеными (К. Терцаги, М. Н. Гольдштейном, Г. Л. Фисенко и др.); методы, основанные на предположении, что форма поверхности смещения предопределена условиями геологического строения склона (методы прислоненного откоса или алгебраического сложения сил И. В. Федорова, Н. А. Цытовича, А. М. Демина; метод горизонтальных сил Маслова—Берера; метод многоугольника сил Г. М. Шахунянца и др.).

Подавляющее большинство расчетных методов оценки устойчивости склонов разработано для плоской задачи, не учитывающей условия равновесия по боковым граням расчетных отсеков и боковым поверхностям смещения всего оползневого массива. В условиях плоской задачи рассматривается равновесие элементарного отсека шириной в единицу длины (обычно 1 м), ограниченного вертикальными поверхностями. Силы, действующие по боковым граням этого отсека, принимаются равными нулю.

Большая часть инженерных методов расчета устойчивости склонов разработана применительно к оползням скольжения (срезающим и консеквентным). Эти же методы с известными допущениями можно применять и для оползней выдавливания, некоторых подтипов оползней проседания.

Для случаев нарушения устойчивости склонов оползнями других типов (течения, выплывания, внезапного разжижения) общепринятых методов нет. Существуют лишь частные методические предложения [8, 9].

В качестве критерия оценки степени устойчивости склона используется количественный показатель—коэффициент устойчивости K_y (коэффициент запаса устойчивости), который определяют из отношения удерживающих сил к сдвигающим.

К сдвигающим силам наиболее логично отнести алгебраическую сумму тангенциальных составляющих веса отсеков (положительных при уклоне подошвы отсека по падению склона и отрицательных—при обратном уклоне), а также сейсмические, гидростатические и гидродинамические (фильтрационные) силы.

К удерживающим силам обычно относят сопротивление сдвигу и тангенциальные силы, действующие в отсеках с обратным уклоном линии оползневого скольжения.

Склон считается устойчивым, если $K_y > 1$; при $K_y = 1$ склон находится в условиях предельного равновесия (в начале или после завершения оползневого процесса).

При строительном освоении склона величина $K_y \geq K_{y, \text{доп}}$, где $K_{y, \text{доп}}$ —допускаемая величина K_y ; $K_{y, \text{доп}} = \frac{n_c K_n}{m}$; n_c , K_n , m —коэффициенты сочетаний нагрузок, надежности и условий работы соответственно, которые определяются нормативными документами для проектирования зданий и сооружений, а также инструкцией по проектированию и строительству противооползневых и противообвальных защитных сооружений (СН519—79).

Допускаемый коэффициент устойчивости склона $K_{y, \text{доп}} \geq 1,2$.

Специальные расчетные методы разработаны также для определения других количественных характеристик оползневого процесса: глубины и удаленности от бровки склона вертикальной трещины отрыва при образовании срезающих оползней; критической глубины подошвы слабого слоя при образовании консеквентных оползней скольжения; предельной высоты приросточного уступа при образовании оползней выдавливания; положения наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения; прогноза изменения коэффициента устойчивости; предельной высоты вертикального откоса; длины зоны формирования суффозионного оползня и др.

Следует отметить, что универсальных расчетных методов нет. Выбор наиболее достоверного метода во многом будет определяться предварительной качественной оценкой условий развития оползневого процесса с помощью историко-геологических и сравнительно-геологических методов.

Программы для расчета устойчивости склона и других количественных характеристик оползневого процесса

Программы составлены по формулам, приведенным в работах [3, 8, 9]. И. О. Тихвинский расчет устойчивости склонов рекомендует выполнять методом алгебраического сложения сил, действующих в данной конкретной обстановке (фильтрационных, сейсмических и др.) [8].

Рассмотрим наиболее типичные примеры сочетаний действующих на склон сил, соответствующие расчеты и программы для микрокалькуляторов БЗ-34 и МК-61.

1. Расчет устойчивости необводненного склона (откоса) при отсутствии сейсмических воздействий.

Расчетные схемы приведены на рис. 1, 2.

Формула для расчета коэффициента устойчивости склона:

$$K_y = \frac{\sum P_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i + \sum C_i l_i \cdot 1 \text{ м} + \sum P_i \sin \alpha_i''}{\sum P_i \sin \alpha_i'}$$

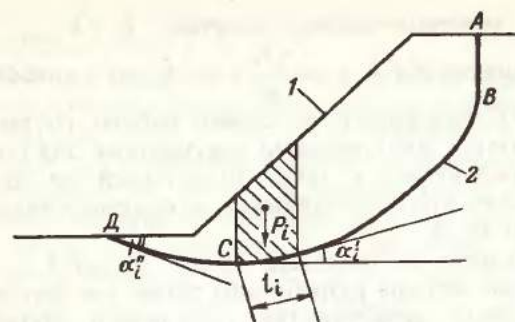


Рис. 1. Схема расчетного отсека необводненного склона (откоса):
1 — поверхность склона;
2 — поверхность смещения оползня

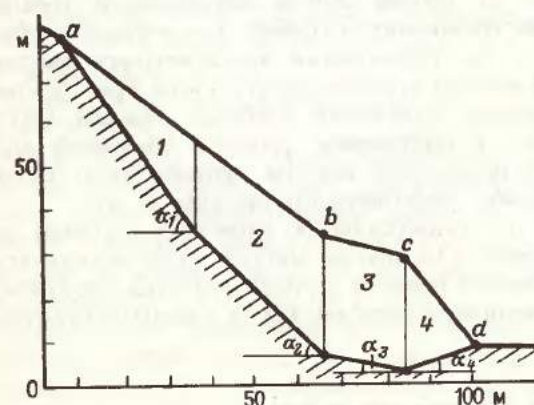


Рис. 2. Схема к расчету устойчивости необводненного склона (откоса):
1-4 — расчетные отсеки;
 $\alpha_1 - \alpha_4$ — углы наклона подошвы отсеков

где K_y — коэффициент устойчивости массива шириной 1 м, «вырезанного» в склоне вдоль оси ожидаемого оползня; P_i — вес i -го расчетного блока, ограниченного вертикальными гранями, снизу — линией скольжения (подошвой оползня), МН (дуга линии скольжения заменяется отрезками прямой линии; число расчетных блоков (отсеков) и расстояния между их боковыми гранями подбираются таким образом, чтобы ломаная линия, образованная подошвами отсеков, наиболее точно соответствовала линии скольжения оползня); α_i — угол наклона подошвы отсека, градус (положительный α_i' для участков, где линия скольжения оползня наклонена в сторону падения склона, и отрицательный α_i'' — при обратном уклоне линии скольжения); l_i — длина подошвы отсека, м; ϕ_i , C_i — угол внутреннего трения (градус) и сцепление (МПа) соответственно, характеризующие сопротивление сдвигу пород по подошве отсека.

Вес непригруженного отсека $P_i = V_i \rho_i \cdot 1$ м, где V_i — площадь сечения отсека, м²; ρ_i — средний удельный вес пород в отсеке, МН/м³; при наличии пригрузки на поверхности отсека (зданий, сооружений, насыпей и т. п.) ее вес суммируется с весом пород, составляющих отсек. Это положение относится и ко всем последующим примерам.

Программа 86

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ИП0	П-Х0	60	24	П8	Х-П8	48
01	ИП1	П-Х1	61	25	С/П	С/П	50
02	F cos	F cos	1Г	26	БП	БП	51
03	x	x	12	27	00	00	00
04	ИП2	П-Х2	62	28	1-1	1-1	0L
05	F tg	F tg	1E	29	F sin	F sin	1[
06	x	x	12	30	x	x	12
07	ИП5	П-Х5	65	31	ИП7	П-Х7	67
08	+	+	10	32	+	+	10
09	П5	Х-П5	45	33	П7	Х-П7	47
10	ИП3	П-Х3	63	34	С/П	С/П	50
11	ИП4	П-Х4	64	35	БП	БП	51
12	x	x	12	36	00	00	00
13	ИП6	П-Х6	66	37	ИП5	П-Х5	65
14	+	+	10	38	ИП6	П-Х6	66
15	П6	Х-П6	46	39	+	+	10
16	ИП0	П-Х0	60	40	ИП7	П-Х7	67
17	ИП1	П-Х1	61	41	+	+	10
18	FХ ≥ 0	FХ ≥ 0	59	42	ИП8	П-Х8	68
19	28	28	28	43	÷	÷	13
20	F sin	F sin	1[	44	С/П	С/П	50
21	x	x	12	45	БП	БП	51
22	ИП8	П-Х8	68	46	00	00	00
23	+	+	10				

Счет

Ввести в регистры памяти для первого отсека:

$P_i \rightarrow \text{П0 (Х-П0)}$, $\alpha_i \rightarrow \text{П1 (Х-П1)}$, $\phi_i \rightarrow \text{П2 (Х-П2)}$,
 $C_i \rightarrow \text{П3 (Х-П3)}$, $l_i \rightarrow \text{П4 (Х-П4)}$, нажать С/П.

После останова повторить все операции для остальных отсеков. После последнего останова нажать клавиши БП, 37, С/П. На индикаторе — значение K_y всего склона.

По этой же программе можно рассчитать коэффициент устойчивости каждого отдельно взятого расчетного блока (отсека). Для этого надо, предварительно очистив регистры памяти, ввести для каждого блока значения $P_i \div l_i$, С/П, после останова нажать клавиши БП, 37, С/П. На индикаторе — K_y данного отсека. Снова очистить регистры памяти, ввести значения $P_i \div l_i$ для второго блока, повторить те же операции — получим значения K_y для второго блока и т. д.

Пример

Схема расчета показана на рис. 2 и в табл. 3.

После расчета по программе на индикаторе высвечивается значение $K_y = 1,317111 \approx 1,32$.

Таблица 3

Номер расчетного отсека	Регистры памяти, П(Х-П)		
	0	1	4
	P_i , МН	α_i , градус	l_i , м
1	3	60	36
2	7	45	29
3	8	15	20
4	3	-20	17

Примечание. В регистре 2 во всех расчетных отсеках $\varphi_i = 18^\circ$; в регистре 3 $C_i = 0,06$ МПа.

2. Расчет устойчивости обводненного склона (откоса) при отсутствии сейсмических воздействий.

Поверхность скольжения оползня пересекает водоносный горизонт. Расчетная схема приведена на рис. 3. Формула для расчета коэффициента устойчивости склона:

$$K_y = \frac{\sum [(P_i - \rho_n \omega_i \cdot 1 \text{ м}) \cos \alpha_i + \rho_n \omega_i l_i \cdot 1 \text{ м} \sin (\beta_i - \alpha_i)] \operatorname{tg} \varphi_i + \sum C_i l_i + \sum (P_i - \rho_n \omega_i \cdot 1 \text{ м}) \sin \alpha_i''}{\sum (P_i - \rho_n \omega_i \cdot 1 \text{ м}) \sin \alpha_i' + \sum \rho_n \omega_i l_i \cdot 1 \text{ м} \cos (\beta_i - \alpha_i)}$$

где ρ_n — удельный вес воды, равный $0,01 \text{ МН/м}^3$; ω_i — площадь сечения обводненной части отсека, м^2 ; l_i — гидравлический градиент в пределах отсека; β_i — угол наклона равнодействующей фильтрационного давления (положительный при направлении фильтрационного потока в сторону падения склона и отрицательный — при обратном направлении), градус.

Уклон равнодействующей фильтрационного давления для безнапорного потока принимается равным среднему между уклонами

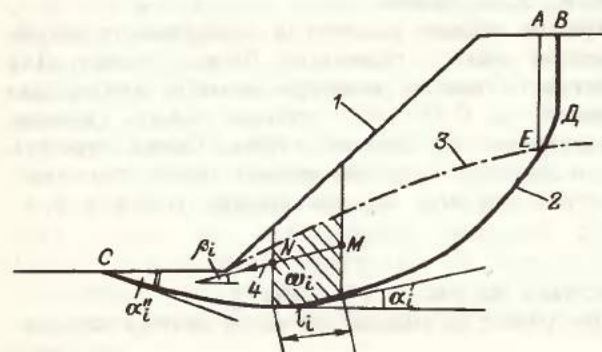


Рис. 3. Схема расчетного отсека обводненного склона: 1 — поверхность склона; 2 — поверхность смещения оползня; 3 — уровень подземных вод; 4 — равнодействующая фильтрационного давления; β_i — угол наклона равнодействующей фильтрационного давления в пределах отсека; ω_i — обводненная часть отсека

депрессивной кривой и подошвы водоносного горизонта, для напорного потока — среднему между уклонами кровли и подошвы водоносного горизонта. Гидравлический градиент допускается принимать равным отношению разности отметок депрессивной или пьезометрической поверхности потока в пределах отсека к длине отрезка, проведенного через середины граней отсека обводненной зоны [8, 9].

Следует подчеркнуть, что поправка на гидростатическое взвешивание $(P_i - \rho_n \omega_i \cdot 1 \text{ м})$ вводится только для обводненных отсеков или их частей.

Программа 87

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ИП0	П-Х0	60	38	+	+	10
01	ИП3	П-Х3	63	39	ПВ	Х-Пb	4L
02	—	—	11	40	ИП0	П-Х0	60
03	ИП1	П-Х1	61	41	ИП3	П-Х3	63
04	F cos	F cos	1Г	42	—	—	11
05	×	×	12	43	ИП1	П-Х1	61
06	ИП3	П-Х3	63	44	FX ≥ 0	FX ≥ 0	59
07	ИП2	П-Х2	62	45	54	54	54
08	F sin	F sin	1 [	46	F sin	F sin	1 [
09	×	×	12	47	×	×	12
10	ИП2	П-Х2	62	48	ИП4	П-Ха	6—
11	ИП1	П-Х1	61	49	+	+	10
12	—	—	11	50	ПА	Х-Па	4—
13	F sin	F sin	1 [	51	С/П	С/П	50
14	×	×	12	52	БП	БП	51
15	+	+	10	53	00	00	00
16	ИП4	П-Х4	64	54	1—1	1—1	0L
17	F tg	F tg	1E	55	F sin	F sin	1 [
18	×	×	12	56	×	×	12
19	ИП7	П-Х7	67	57	ИП9	П-Х9	69
20	+	+	10	58	+	+	10
21	П7	Х-П7	47	59	П9	Х-П9	49
22	ИП5	П-Х5	65	60	С/П	С/П	50
23	ИП6	П-Х6	66	61	БП	БП	51
24	×	×	12	62	00	00	00
25	ИП8	П-Х8	68	63	ИП7	П-Х7	67
26	+	+	10	64	ИП8	П-Х8	68
27	П8	Х-П8	48	65	+	+	10
28	ИП3	П-Х3	63	66	ИП9	П-Х9	69
29	ИП2	П-Х2	62	67	+	+	10
30	F sin	F sin	1 [	68	ИП4	П-Ха	6—
31	×	×	12	69	ИПb	П-Хb	6L
32	ИП2	П-Х2	62	70	+	+	10
33	ИП1	П-Х1	61	71	÷	÷	13
34	—	—	11	72	С/П	С/П	50
35	F cos	F cos	1Г	73	БП	БП	51
36	×	×	12	74	00	00	00
37	ИПb	П-Хb	6L				

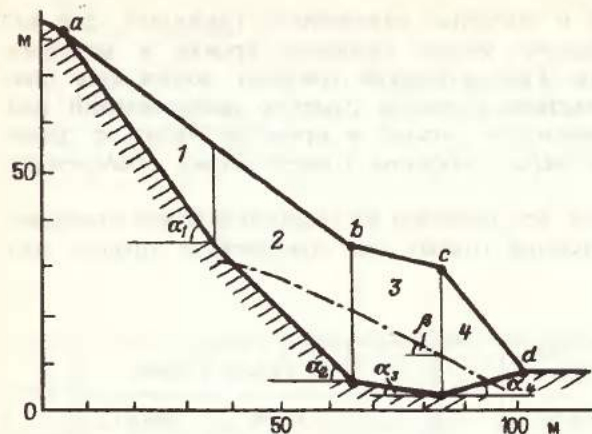


Рис. 4. Схема к расчету устойчивости обводненного склона:
1—4—расчетные отсеки;
 α_1 — α_4 —углы наклона подошвы отсеков; β —угол наклона равнодействующей фильтрационного давления

Счет

Ввести в регистры памяти для первого расчетного отсека:

$P_i \rightarrow P0(X-P0)$, $\alpha_i \rightarrow P1(X-P1)$, $\beta_i \rightarrow P2(X-P2)$, $(\rho_n \omega_i) \rightarrow P3(X-P3)$, $\varphi_i \rightarrow P4(X-P4)$; $C_i \rightarrow P5(X-P5)$, $l_i \rightarrow P6(X-P6)$; нажать С/П.

После останова повторить все операции для остальных отсеков. После последнего останова нажать клавиши БП, 63, С/П. На индикаторе — значение K_y .

Как и в предыдущем примере, можно рассчитать K_y для каждого отсека. Это примечание касается и всех последующих примеров.

Следует отметить, что значение $\rho_n \omega_i \cdot 1 \text{ м}$, вводимое в регистр памяти $P3(X-P3)$, рассчитывается заранее.

Пример

Схема расчета показана на рис. 4 и в табл. 4.

Расчет по программе дает значение $K_y = 1,2132219 \approx 1,21$.

3. Расчет устойчивости склона (откоса) при условии, что поверхность оползневого смещения проходит по кровле напорного водоносного горизонта, а сейсмическое воздействие отсутствует.

Формула для расчета K_y :

$$K_y = \frac{\sum (P_i - \rho_n h_i l_i \cdot 1 \text{ м}) \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i + \sum C_i l_i + \sum P_i \sin \alpha_i''}{\sum P_i \sin \alpha_i'}$$

где h_i — средняя высота напора подземных вод относительно подошвы отсека, м.

Значение $\rho_n h_i \cdot 1 \text{ м}$ рассчитывается заранее.

Таблица 4

Номер расчетного отсека	Регистры памяти, П(Х-П)			
	0	1	3	6
	P_i , МН	α_i , градус	$\rho_n \omega_i \cdot 1 \text{ м}$, МН	l_i , м
1	3	60	0	36
2	7	45	0,75	29
3	8	15	1,7	20
4	3	-20	0,42	17

Примечание. В регистре памяти 2 в расчетных отсеках 2—4 $\beta_i = 22^\circ$; в регистре памяти 4 во всех расчетных отсеках $\varphi_i = 18^\circ$; в регистре памяти 5 $C_i = 0,06 \text{ МПа}$.

Программа 88

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ИП0	П-Х0	60	26	ИП9	П-Х9	69
01	ИП1	П-Х1	61	27	+	+	10
02	ИП5	П-Х5	65	28	П9	Х-П9	49
03	×	×	12	29	С/П	С/П	50
04	—	—	11	30	БП	БП	51
05	ИП2	П-Х2	62	31	00	00	00
06	$F \cos$	$F \cos$	1Г	32	1—1	1—1	0L
07	×	×	12	33	$F \sin$	$F \sin$	1 [
08	ИП3	П-Х3	63	34	×	×	12
09	$F \operatorname{tg}$	$F \operatorname{tg}$	1Е	35	ИП8	П-Х8	68
10	×	×	12	36	+	+	10
11	ИП6	П-Х6	66	37	П8	Х-П8	48
12	+	+	10	38	С/П	С/П	50
13	П6	Х-П6	46	39	БП	БП	51
14	ИП4	П-Х4	64	40	00	00	00
15	ИП5	П-Х5	65	41	ИП6	П-Х6	66
16	×	×	12	42	ИП7	П-Х7	67
17	ИП7	П-Х7	67	43	+	+	10
18	+	+	10	44	ИП8	П-Х8	68
19	П7	Х-П7	47	45	+	+	10
20	ИП0	П-Х0	60	46	ИП9	П-Х9	69
21	ИП2	П-Х2	62	47	÷	÷	13
22	$FX \geq 0$	$FX \geq 0$	59	48	С/П	С/П	50
23	32	32	32	49	БП	БП	51
24	$F \sin$	$F \sin$	1 [	50	00	00	00
25	×	×	12				

Счет

Ввести в регистры памяти последовательно для первого, второго и остальных отсеков:

$P_i \rightarrow P0(X-P0)$, $\rho_n h_i \cdot 1 \text{ м} \rightarrow P1(X-P1)$,
 $\alpha_i \rightarrow P2(X-P2)$, $\varphi_i \rightarrow P3(X-P3)$,
 $C_i \rightarrow P4(X-P4)$, $l_i \rightarrow P5(X-P5)$,

нажать С/П; после последнего останова БП, 41, С/П. На индикаторе — значение K_y .

Пример

Схема расчета приведена в табл. 5.

После расчета по программе 88 значение на индикаторе $K_y = 1,2921808 \approx 1,29$.

Таблица 5

Номер расчетного отсека	Регистры памяти, П(Х-П)		
	0	2	5
	P_i , МН	α_i , градус	l_i , м
1	3	60	36
2	7	45	29
3	8	15	20
4	3	-20	17

Примечание. В регистре памяти 1 во всех расчетных отсеках $p_i \cdot l_i \cdot 1 \text{ м} = 0,01 \text{ МН}$; в регистре 3 $\varphi_i = 18^\circ$; в регистре 4 $C_i = 0,06 \text{ МПа}$.

4. Расчет устойчивости необходимого склона (откоса) с учетом сейсмического воздействия.

Сейсмические силы учитываются при землетрясениях силой 6 баллов и выше.

Величина сейсмичности определяется по соответствующим схематическим картам СНиПа по проектированию строительства в сейсмических районах.

Сейсмическая сила для каждого расчетного отсека принимается равной произведению веса отсека на коэффициент сейсмичности m , определяемый ниже.

Расчетная сейсмичность, балл 6 7 8 9 10
Коэффициент сейсмичности m 0,01 0,025 0,05 0,10 0,25

Формула для расчета коэффициента устойчивости склона:

$$K_y = \frac{\sum P_i (\cos \alpha_i - m \sin \alpha_i) \operatorname{tg} \varphi_i + \sum C_i l_i \cdot 1 \text{ м} + \sum P_i \sin \alpha_i''}{\sum P_i \sin \alpha_i' + \sum P_i m \cos \alpha_i}$$

Программа 89

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ИП1	П-Х1	61	32	$FX \geq 0$	$FX \geq 0$	59
01	$F \cos$	$F \cos$	1Г	33	42	42	42
02	ИП1	П-Х1	61	34	$F \sin$	$F \sin$	1Г
03	$F \sin$	$F \sin$	1Г	35	×	×	12
04	ИП2	П-Х2	62	36	ИП9	П-Х9	69
05	×	×	12	37	+	+	10
06	—	—	11	38	П9	Х-П9	49

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
07	ИП0	П-Х0	60	39	С/П	С/П	50
08	×	×	12	40	БП	БП	51
09	ИП3	П-Х3	63	41	00	00	00
10	$F \operatorname{tg}$	$F \operatorname{tg}$	1Е	42	1—1	1—1	0L
11	×	×	12	43	$F \sin$	$F \sin$	1Г
12	ИП6	П-Х6	66	44	×	×	12
13	+	+	10	45	ИП8	П-Х8	68
14	П6	Х-П6	46	46	+	+	10
15	ИП4	П-Х4	64	47	П8	Х-П8	48
16	ИП5	П-Х5	65	48	С/П	С/П	50
17	×	×	12	49	БП	БП	51
18	ИП7	П-Х7	67	50	00	00	00
19	+	+	10	51	ИП6	П-Х6	66
20	П7	Х-П7	47	52	ИП7	П-Х7	67
21	ИП0	П-Х0	60	53	+	+	10
22	ИП1	П-Х1	61	54	ИП8	П-Х8	68
23	$F \cos$	$F \cos$	1Г	55	+	+	10
24	×	×	12	56	ИП9	П-Х9	69
25	ИП2	П-Х2	62	57	ИП4	П-Х4	6—
26	×	×	12	58	+	+	10
27	ИП4	П-Х4	6—	59	÷	÷	13
28	+	+	10	60	С/П	С/П	50
29	П4	Х-П4	4—	61	БП	БП	51
30	ИП0	П-Х0	60	62	00	00	00
31	ИП1	П-Х1	61				

Счет

Ввести в регистры памяти для первого расчетного отсека:

$P_i \rightarrow \text{П0 (Х-П0)}$, $\alpha_i \rightarrow \text{П1 (Х-П1)}$, $m \rightarrow \text{П2 (Х-П2)}$,
 $\varphi_i \rightarrow \text{П3 (Х-П3)}$, $C_i \rightarrow \text{П4 (Х-П4)}$, $l_i \rightarrow \text{П5 (Х-П5)}$.

Нажать клавишу С/П, после останова повторить все операции для остальных отсеков. После последнего останова нажать клавиши БП, 51, С/П. На индикаторе — значение K_y .

Пример

Схема расчета приведена в табл. 6.

Таблица 6

Номер расчетного отсека	Регистры памяти, П(Х-П)		
	0	1	5
	P_i , МН	α_i , градус	l_i , м
1	3	60	36
2	3	45	29
3	8	15	20
4	3	-20	17

Примечание. В регистре памяти 2 во всех расчетных отсеках $m = 0,01$; в регистре памяти 3 $\varphi_i = 18^\circ$; в регистре памяти 4 $C_i = 0,06 \text{ МПа}$.

После расчета по программе на индикаторе $K_y = 1,2913889 \approx 1,29$.

5. Расчет устойчивости обводненного склона (откоса) с учетом сейсмического воздействия.

Формула для расчета коэффициента устойчивости склона:

$$K_y = \frac{\sum [P'_i \cos \alpha_i + \rho_w \omega_i l_i \cdot 1 \text{ м} \sin(\beta_i - \alpha_i) - P_i m \sin \alpha_i] \operatorname{tg} \varphi_i + \sum C_i l_i \cdot 1 \text{ м} + P'_i \sin \alpha'_i}{\sum P'_i \sin \alpha'_i + \sum \rho_w \omega_i l_i \cos(\beta_i - \alpha_i) \cdot 1 \text{ м} + \sum P_i m \cos \alpha_i}$$

где P_i — вес отсека без учета гидростатического взвешивания, МН; P'_i — то же с учетом гидростатического взвешивания (для отсеков, подошва которых находится в пределах водоносного горизонта), МН.

Если подземные воды залегают на глубине менее 4 м, а склон (откос) сложен глинистыми породами или песками, расчетная сейсмичность увеличивается на 1 балл.

Программа 90

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ИП0	П-Х0	60	47	ИП0	П-Х0	60
01	ИП3	П-Х3	63	48	ИП7	П-Х7	67
02	—	—	11	49	×	×	12
03	ИП1	П-Х1	61	50	ИП1	П-Х1	61
04	Fcos	Fcos	1Г	51	Fcos	Fcos	1Г
05	×	×	12	52	×	×	12
06	ИП2	П-Х2	62	53	ИПD	П-Хd	6Г
07	ИП1	П-Х1	61	54	+	+	10
08	—	—	11	55	ПD	Х-Пd	4Г
09	Fsin	Fsin	1Г	56	ИП0	П-Х0	60
10	ИП2	П-Х2	62	57	ИП3	П-Х3	63
11	Fsin	Fsin	1Г	58	—	—	11
12	×	×	12	59	ИП1	П-Х1	61
13	ИП3	П-Х3	63	60	$FX \geq 0$	$FX \geq 0$	59
14	×	×	12	61	70	70	70
15	+	+	10	62	Fsin	Fsin	1Г
16	ИП0	П-Х0	60	63	×	×	12
17	ИП7	П-Х7	67	64	ИПB	П-Хb	6L
18	×	×	12	65	+	+	10
19	ИП1	П-Х1	61	66	ПB	Х-Пb	4L
20	Fsin	Fsin	1Г	67	С/П	С/П	50
21	×	×	12	68	БП	БП	51
22	—	—	11	69	00	00	00
23	ИП4	П-Х4	64	70	1—1	1—1	0L
24	Ftg	Ftg	1E	71	Fsin	Fsin	1Г
25	×	×	12	72	×	×	12
26	ИП8	П-Х8	68	73	ИП4	П-Хa	6—

Продолжение программы 90

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
27	+	+	10	74	+	+	10
28	П8	Х-П8	48	75	ПА	Х-Па	4—
29	ИП5	П-Х5	65	76	С/П	С/П	50
30	ИП6	П-Х6	66	77	БП	БП	51
31	×	×	12	78	00	00	00
32	ИП9	П-Х9	69	79	ИП8	П-Х8	68
33	+	+	10	80	ИП9	П-Х9	69
34	П9	Х-П9	49	81	+	+	10
35	ИП3	П-Х3	63	82	ИПА	П-Ха	6—
36	ИП2	П-Х2	62	83	+	+	10
37	Fsin	Fsin	1Г	84	ИПB	П-Хb	6L
38	×	×	12	85	ИПС	П-Хc	6Г
39	ИП2	П-Х2	62	86	+	+	10
40	ИП1	П-Х1	61	87	ИПD	П-Хd	6Г
41	—	—	11	88	+	+	10
42	Fcos	Fcos	1Г	89	÷	÷	13
43	×	×	12	90	С/П	С/П	50
44	ИПС	П-Хc	6Г	91	БП	БП	51
45	+	+	10	92	00	00	00
46	ПC	Х-Пc	4Г				

Счет

Ввести в регистры памяти последовательно для всех отсеков: $P_i \rightarrow$ П0 (Х-П0), $\alpha_i \rightarrow$ П1 (Х-П1), $\beta_i \rightarrow$ П2 (Х-П2), $\rho_w \omega_i$ (вычислить предварительно) $\rightarrow$ П3 (Х-П3), $\varphi_i \rightarrow$ П4 (Х-П4), $C_i \rightarrow$ П5 (Х-П5), $l_i \rightarrow$ П6 (Х-П6), $m \rightarrow$ П7 (Х-П7), С/П; после последнего останова — БП, 79, С/П. На индикаторе — значение K_y .

Пример

Таблица 7

Номер расчетного отсека	Регистры памяти, П (Х=П)			
	0	1	3	6
	P_i , МН	α_i , градус	$\rho_w \omega_i$, МН	l_i , м
1	3	60	0	36
2	7	45	0,75	29
3	8	15	1,7	20
4	3	-20	0,42	17

Примечание. В регистре памяти 2 в расчетных отсеках 2—4 $\beta_i = 22^\circ$; регистре памяти 4 $\varphi_i = 18^\circ$; регистре памяти 5 $C_i = 0,06$ МПа; регистре 7 $m = 0,01$.

После расчета по программе на индикаторе $K_y = 1,1893944 \approx 1,19$.

6. Расчет глубины вертикальной трещины отрыва для склонов (откосов), близких к предельному состоянию.

Этот расчет проводится при оценке возможности возникновения срезающих оползней скольжения на необводненных склонах однородного строения и преимущественно прямолинейного профиля.

Глубина вертикальной трещины составляет

$$H'_{90} = \frac{2C}{\rho \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)},$$

где C , φ , ρ — сцепление (МПа), угол внутреннего трения (градус), удельный вес (МН/м³) соответственно пород, слагающих склон.

Программа 91

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	2	2	02	08	—	—	11
01	ИП0	П-Х0	60	09	Ftg	Ftg	11
02	×	×	12	10	ИП2	П-Х2	62
03	4	4	04	11	×	×	12
04	5	5	05	12	÷	÷	13
05	ИП1	П-Х1	61	13	С/П	С/П	50
06	2	2	02	14	БП	БП	51
07	÷	÷	13	15	00	00	00

Счет

Ввести в регистры памяти: $C \rightarrow \text{П0}(\text{Х-П0})$, $\varphi \rightarrow \text{П1}(\text{Х-П1})$, $\rho \rightarrow \text{П2}(\text{Х-П2})$, С/П.

Пример

$C=0,02$ МПа, $\varphi=10^\circ$, $\rho=0,018$ МН/м³.

После расчета на индикаторе $H'_{90}=2,6483415 \approx 2,6$ м.

7. Расчет предельной (критической) высоты прировочного уступа.

Расчет проводится с целью оценки возможности развития оползня выдавливания по формуле

$$H_{кр} = H_{вд} + \frac{C}{\rho \operatorname{tg} \varphi} - \frac{\rho_{вд}}{\rho} H_{вд} \operatorname{tg}^4 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right),$$

где $H_{вд}$ — глубина залегания кровли выдавливаемого слоя относительно верхней бровки склона, м; C , φ — сцепление (МПа) и угол внутреннего трения (градус) соответственно, характеризующие остаточную прочность пород, определяемую по методу повторного сдвига; ρ — средний удельный вес всей толщи пород, залегающей выше кровли выдавливаемого слоя, МН/м³; $\rho_{вд}$ — удельный вес пород выдавливаемого слоя, МН/м³.

Если высота прировочного уступа более $H_{кр}$, то возможно развитие оползня выдавливания, а расчет устойчивости склона можно выполнять по формулам, приведенным выше для оползней скольжения.

Программа 92

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ИП0	П-Х0	60	14	Ftg	Ftg	1E
01	ИП3	П-Х3	63	15	FX ²	FX ²	22
02	ИП1	П-Х1	61	16	FX ²	FX ²	22
03	÷	÷	13	17	ИП0	П-Х0	60
04	ИП4	П-Х4	64	18	×	×	12
05	Ftg	Ftg	1E	19	ИП2	П-Х2	62
06	÷	÷	13	20	×	×	12
07	+	+	10	21	ИП1	П-Х1	61
08	4	4	04	22	÷	÷	13
09	5	5	05	23	—	—	11
10	ИП4	П-Х4	64	24	С/П	С/П	50
11	2	2	02	25	БП	БП	51
12	÷	÷	13	26	00	00	00
13	—	—	11				

Счет

Ввести в регистры памяти $H_{вд} \rightarrow \text{П0}(\text{Х-П0})$, $\rho \rightarrow \text{П1}(\text{Х-П1})$, $\rho_{вд} \rightarrow \text{П2}(\text{Х-П2})$, $C \rightarrow \text{П3}(\text{Х-П3})$, $\varphi \rightarrow \text{П4}(\text{Х-П4})$, нажать клавишу С/П.

После останова на индикаторе $H_{кр}$.

Пример

$H_{вд}=20$ м, $\rho=0,02$ МН/м³, $\rho_{вд}=0,016$ МН/м³, $C=0,01$ МПа, $\varphi=4^\circ$. После расчета на индикаторе $H_{кр}=15,051506 \approx 15$ м.

8. Расчет предельной высоты вертикального откоса, сложенного однородными породами.

Формула для расчета:

$$H_{90} = \frac{2C \cos \varphi}{\rho (1 - \sin \varphi)},$$

где H_{90} — предельная высота вертикального откоса, м; C , φ , ρ — соответственно сцепление (в МПа), угол внутреннего трения (в градусах), удельный вес пород (в МН/м³), слагающих откос.

Программа 93

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ИП2	П-Х2	62	08	Fsin	Fsin	1[
01	Fcos	Fcos	1Г	09	—	—	11
02	ИП0	П-Х0	60	10	ИП1	П-Х1	61
03	×	×	12	11	×	×	12
04	2	2	02	12	÷	÷	13
05	×	×	12	13	С/П	С/П	50
06	1	1	01	14	БП	БП	51
07	ИП2	П-Х2	62	15	00	00	00

Счет

Ввести в регистры памяти $C \rightarrow \text{П0}(\text{Х-П0})$, $\rho \rightarrow \text{П1}(\text{Х-П1})$, $\varphi \rightarrow \text{П2}(\text{Х-П2})$, нажать клавишу С/П.

После останова на индикаторе H_{90} .

Пример

$C=0,01$ МПа, $\rho=0,018$ МН/м³, $\varphi=8^\circ$. После расчета $H_{90}=1,2781871 \approx 1,3$ м.

9. Расчет критической глубины подошвы слабого слоя

Расчет выполняется для склонов (откосов) прямолинейного профиля, в строении которых принимают участие прочные породы, перекрытые более слабыми.

Формула для расчета:

$$h_{кр} = \frac{C \cos \varphi}{\rho \cos \alpha \sin(\alpha - \varphi)},$$

где $h_{кр}$ — критическая глубина подошвы слабого слоя, м; C , φ , ρ — сцепление (в МПа), угол внутреннего трения (в градусах), удельный вес пород (в МН/м³) слабого слоя соответственно; α — крутизна поверхности склона, градус.

Если глубина подошвы слабого слоя $h > h_{кр}$, то наиболее опасная линия скольжения проходит выше подошвы слабого слоя; при $h \leq h_{кр}$ — по подошве слабого слоя; при $C=0$ наиболее опасная линия скольжения может проходить на любой глубине в пределах слабого слоя, при этом крутизна склона α не может превышать значение критического угла равного по величине φ .

Программа 94

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ИП0	П-Х0	60	09	ИП1	П-Х1	61
01	ИП1	П-Х1	61	10	—	—	11
02	Fcos	Fcos	1Г	11	Fsin	Fsin	1[
03	×	×	12	12	×	×	12
04	ИП2	П-Х2	62	13	÷	÷	13
05	ИП3	П-Х3	63	14	С/П	С/П	50
06	Fcos	Fcos	1Г	15	БП	БП	51
07	×	×	12	16	00	00	00
08	ИП3	П-Х3	63				

Счет

Ввести в регистры памяти $C \rightarrow \text{П0}(\text{Х-П0})$, $\varphi \rightarrow \text{П1}(\text{Х-П1})$, $\rho \rightarrow \text{П2}(\text{Х-П2})$, $\alpha \rightarrow \text{П3}(\text{Х-П3})$, нажать клавишу С/П. После останова на индикаторе значение $h_{кр}$, м.

Пример

$C=0,05$ МПа, $\varphi=20^\circ$, $\rho=0,02$ МН/м³, $\alpha=25^\circ$. После расчета $h_{кр}=29,740899 \approx 29,7$ м.

10. Расчет скорости пластического течения грунтов на поверхности слоя

Формула для расчета, по Н. Н. Маслову [3]:

$$v_0 = \frac{\rho}{\eta} \left[H \left(H - \frac{C_c}{\sin \alpha - \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi_w} \right) - \frac{\left(H - \frac{C_c}{\sin \alpha - \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi_w} \right)^2}{2} \right] \times \\ \times (\sin \alpha - \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi_w) - \frac{C_c}{\eta} \left(H - \frac{C_c}{\sin \alpha - \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi_w} \right),$$

где v_0 — скорость пластического течения грунта, м/с; ρ — удельный вес грунта, МН/м³; C_c , φ_w — структурное сцепление (в МПа) и угол внутреннего трения (в градусах) соответственно; H — мощность оползающей толщи, м; η — коэффициент вязкости грунтов, МПа·с; α — наклон подстилающего слоя, градус.

Программа 95

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ИП3	П-Х3	63	19	2	2	02
01	ИП4	П-Х4	64	20	÷	÷	13
02	Fsin	Fsin	1[	21	—	—	11
03	ИП4	П-Х4	64	22	ИП0	П-Х0	60

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
04	Fcos	Fcos	1Г	23	×	×	12
05	ИП5	П-Х5	65	24	ИП1	П-Х1	61
06	Ftg	Ftg	1Е	25	÷	÷	13
07	×	×	12	26	ИП6	П-Х6	66
08	—	—	11	27	×	×	12
09	П6	Х-П6	46	28	ИП3	П-Х3	63
10	÷	÷	13	29	ИП1	П-Х1	61
11	ИП2	П-Х2	62	30	÷	÷	13
12	↔	↔	14	31	ИП7	П-Х7	67
13	—	—	11	32	×	×	12
14	П7	Х-П7	47	33	—	—	11
15	ИП2	П-Х2	62	34	С/П	С/П	50
16	×	×	12	35	БП	БП	51
17	ИП7	П-Х7	67	36	00	00	00
18	FX ²	FX ²	22				

Счет

Ввести в регистры памяти $\rho \rightarrow \text{П0 (Х-П0)}$, $\eta \rightarrow \text{П1 (Х-П1)}$, $H \rightarrow \text{П2 (Х-П2)}$, $C_c \rightarrow \text{П3 (Х-П3)}$, $\alpha \rightarrow \text{П4 (Х-П4)}$, $\varphi \rightarrow \text{П5 (Х-П5)}$, С/П.

После останова на индикаторе значение v_0 , м/с.

Пример

$\rho = 0,02 \text{ МН/м}^3$, $\eta = 5 \cdot 10^4 \text{ МПа} \cdot \text{с}$, $H = 20 \text{ м}$, $C_c = 0,01 \text{ МПа}$, $\alpha = 15^\circ$, $\varphi = 4^\circ$.

После расчета $v_0 = 1,1312346 \cdot 10^{-5} \text{ м/с} \approx 1,13 \cdot 10^{-5} \text{ м/с} \approx 0,98 \text{ м/сут.}$

В частном случае при отсутствии в оползающем грунте жесткого структурного сцепления ($C_c = 0$) формула приобретает вид:

$$v_0 = \frac{\rho}{2\eta} H^2 (\sin \alpha - \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi_w).$$

Программа 96

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ИП4	П-Х4	64	10	×	×	12
01	Fsin	Fsin	1Г	11	ИП0	П-Х0	60
02	ИП4	П-Х4	64	12	×	×	12
03	Fcos	Fcos	1Г	13	2	2	02
04	ИП5	П-Х5	65	14	÷	÷	13
05	Ftg	Ftg	1Е	15	ИП1	П-Х1	61
06	×	×	12	16	÷	÷	13
07	—	—	11	17	С/П	С/П	50
08	ИП2	П-Х2	62	18	БП	БП	51
09	FX ²	FX ²	22	19	00	00	00

Счет

Ввести в регистры памяти $\rho \rightarrow \text{П0 (Х-П0)}$, $\eta \rightarrow \text{П1 (Х-П1)}$, $H \rightarrow \text{П2 (Х-П2)}$, $\alpha \rightarrow \text{П4 (Х-П4)}$, $\varphi \rightarrow \text{П5 (Х-П5)}$, нажать клавишу С/П. На индикаторе — значение v_0 , м/с.

Пример

$\rho = 0,02 \text{ МН/м}^3$, $\eta = 5 \cdot 10^4 \text{ МПа} \cdot \text{с}$, $H = 20 \text{ м}$, $\alpha = 15^\circ$, $\varphi = 4^\circ$. После расчета $v_0 = 1,5301994 \cdot 10^{-5} \text{ м/с} \approx 1,32 \text{ м/сут.}$

Коэффициент вязкости можно определить методом «тяжелого шарика», описанным в работе [3], по формуле

$$\eta = \frac{\rho_w - \rho}{18v} d^2 g,$$

где η — коэффициент вязкости, МПа·с; ρ_w — фиктивный удельный вес шарика, МН/м³; ρ — удельный вес грунта, МН/м³; v — скорость погружения шарика в грунт, м/с; d — диаметр шарика, м; g — ускорение свободного падения (9,81 м/с²).

Фиктивный удельный вес шарика определяется из выражения

$$\rho_w = (P_c + P_r) / V_w,$$

где P_c — вес всей загруженной системы и шарика, МН; P_r — вес дополнительно прикладываемого к шару груза, МН; V_w — объем шарика (в м³), равный $\frac{4}{3}\pi r^3$, где r — радиус шарика, м.

После преобразований формула приобретает вид:

$$\eta = \frac{0,52(P_c + P_r)}{rv} - \frac{2,18\rho r^2}{v}.$$

Программа 97

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	0	0	00	14	1	1	01
01	,	,	0—	15	8	8	08
02	5	5	05	16	ИП2	П-Х2	62
03	2	2	02	17	FX ²	FX ²	22
04	ИП0	П-Х0	60	18	×	×	12
05	ИП1	П-Х1	61	19	ИП3	П-Х3	63
06	+	+	10	20	×	×	12
07	×	×	12	21	ИП4	П-Х4	64
08	ИП2	П-Х2	62	22	÷	÷	13
09	ИП4	П-Х4	64	23	—	—	11
10	×	×	12	24	С/П	С/П	50
11	÷	÷	13	25	БП	БП	51
12	2	2	02	26	00	00	00
13	,	,	0—				

Счет

Ввести в регистры памяти $P_c \rightarrow \Pi 0$ (X-Π0), $P_r \rightarrow \Pi 1$ (X-Π1), $r \rightarrow \Pi 2$ (X-Π2), $\rho \rightarrow \Pi 3$ (X-Π3), $v \rightarrow \Pi 4$ (X-Π4), нажать клавишу С/П. После останова на индикаторе η , МПа·с.

Пример

$P_c = 5,65 \cdot 10^{-7}$ МН, $P_r = 2 \cdot 10^{-5}$ МН, $r = 0,00485$ м,
 $\rho = 0,0184$ МН/м³, $v = 9,47 \cdot 10^{-11}$ м/с.
 После расчета $\eta = 23\,273\,112$ МПа·с = $2,3 \cdot 10^7$ МПа·с.

11. Прогноз длины зоны формирования суффозионного оползня выплывания

Расчетная схема приведена на рис. 5.

Формула для расчета, по И. О. Тихвинскому [9]:

$$L = \frac{H_{кр} - (h_{оп} + h_n)}{\lg \alpha_{оп} - \lg \alpha_n},$$

где L — горизонтальное проложение длины зоны формирования суффозионного оползня, м; $H_{кр}$ — критическая глубина кровли водоупора относительно уровня грунтовых вод в зоне суффозионного выноса, м; $h_{оп}$, h_n — глубина подошвы оползающих масс и глубина от этой подошвы до водоупора в месте первоначального возникновения суффозионного выноса соответственно, м; $\alpha_{оп}$, α_n — углы наклона кровли поверхности растекания оползающих масс грунтов и кровли водоупора соответственно, градус.

Формула справедлива при $\alpha_{оп} > \alpha_n$.

И. О. Тихвинский для приближенного прогноза величины L рекомендует принимать $h_{оп} = 2-4$ м, $\lg \alpha_{оп} = 0,09-0,14$, остальные параметры ($H_{кр}$, h_n , α_n) определяются исходя из геологического строения конкретного участка [9].

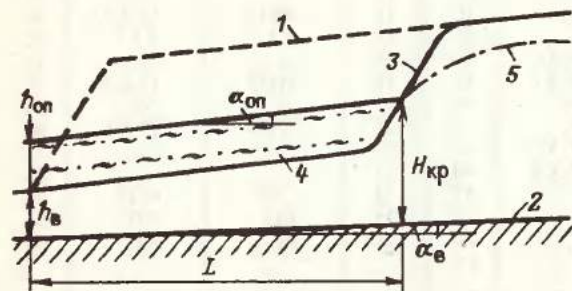


Рис. 5. Схема к прогнозу суффозионного оползня [9]:
 1 — исходный профиль рельефа; 2 — кровля водоупора; прогнозируемое состояние оползневой системы на момент завершения суффозионного выноса; 3 — прогнозируемый профиль рельефа; 4 — тело суффозионного оползня; 5 — уровень подземных вод

Программа 98

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ИП1	П-Х1	61	07	ИП5	П-Х5	65
01	ИП2	П-Х2	62	08	Ftg	Ftg	1E
02	ИП3	П-Х3	63	09	—	—	11
03	+	+	10	10	÷	÷	13
04	—	—	11	11	С/П	С/П	50
05	ИП4	П-Х4	64	12	БП	БП	51
06	Ftg	Ftg	1E	13	00	00	00

Счет

Ввести в регистры памяти $H_{кр} \rightarrow \Pi 1$ (X-Π1), $h_{оп} \rightarrow \Pi 2$ (X-Π2), $h_n \rightarrow \Pi 3$ (X-Π3), $\alpha_{оп} \rightarrow \Pi 4$ (X-Π4), $\alpha_n \rightarrow \Pi 5$ (X-Π5), нажать клавишу С/П. На индикаторе значение L , м.

Пример

$H_{кр} = 7$ м, $h_{оп} = 3$ м, $h_n = 2$ м, $\alpha_{оп} = 7^\circ$, $\alpha_n = 3^\circ$. После расчета $L = 28,418468 \approx 28,4$ м.

НАБУХАНИЕ МАССИВА ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Оценка величины деформации массива глинистых пород в результате набухания производится методом суммирования значений деформации элементарных слоев. Величина набухания рассчитывается интерполяцией, при этом зависимость $\epsilon_{swp} = f(\lg p)$ принимается линейной. Для расчета необходимы следующие данные: P_0 — давление на грунт от сооружения (фундамента), Па; ρ — плотность грунта, г/см³; ϵ_{sw} — свободное относительное набухание грунта в одометре, доли единицы; ϵ_{swp} — относительное набухание грунта под нагрузками, доли единицы; P_{sw} — давление набухания, Па.

При однородной толще набухания должно быть определено в одометре под давлениями: 0,25; 0,5; 1; 1,5; 2,3; 4; 6; $8 \cdot 10^5$ Па и т. д. Максимальная нагрузка соответствует давлению набухания. Давление на грунт при свободном набухании в одометре принято $2 \cdot 10^3$ Па.

При оценке свободного набухания массива (без сооружения) принимается $P_0 = 2 \cdot 10^3$ Па.

Расчеты проводятся по уравнениям:

$$\delta = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^8 \Delta h \epsilon_{ij};$$

$$\epsilon_{ij} = \epsilon_i - K [\lg (P_{i-1} + j \Delta h \rho) - \lg P_{i-1}];$$

$$K = (\epsilon_{i-1} - \epsilon_i) / (\lg P_i - \lg P_{i-1});$$

$$\Delta h = (H_i - H_{i-1}) / 8,$$

где δ — деформация массива глинистых пород, см; ϵ_{ij} — относительное набухание элементарного слоя в интервале глубин от H_{i-1} до H_i (в см) и интервале давлений от P_{i-1} до P_i (10^5 Па).

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П1	Х-П1	41	50	ПО	Х-ПО	40
01	↔	↔	14	51	÷	÷	13
02	П2	Х-П2	42	52	ПД	Х-Пд	4Г
03	ИП3	П-Х3	63	53	СХ	СХ	ОГ
04	—	—	11	54	ПС	Х-ПС	4[
05	$FX \geq 0$	$FX \geq 0$	59	55	ИП6	П-Х6	66
06	91	92	91(92)	56	ИПС	П-Хс	6[
07	$FX \neq 0$	$FX \neq 0$	57	57	ИПД	П-Хд	6Г
08	84	84	84	58	+	+	10
09	ИП2	П-Х2	62	59	ПС	Х-Пс	4[
10	ИП3	П-Х3	63	60	ИП9	П-Х9	69
11	÷	÷	13	61	×	×	12
12	Flg	Flg	17	62	ИП4	П-Х4	64
13	ИП2	П-Х2	62	63	3	3	03
14	ИП4	П-Х4	64	64	F10X	F10X	15
15	÷	÷	13	65	×	×	12
16	Flg	Flg	17	66	÷	÷	13
17	÷	÷	13	67	1	1	01
18	ИП6	П-Х6	66	68	+	+	10
19	ИП1	П-Х1	61	69	Flg	Flg	17
20	—	—	11	70	ИПВ	П-Хв	6L
21	×	×	12	71	×	×	12
22	ИП1	П-Х1	61	72	—	—	11
23	+	+	10	73	ИПД	П-Хд	6Г
24	П6	Х-П6	46	74	×	×	12
25	ИП3	П-Х3	63	75	ИПА	П-Ха	6—
26	П4	Х-П4	44	76	+	+	10
27	ИП2	П-Х2	62	77	ПА	Х-Па	4—
28	ИП1	П-Х1	61	78	FL0	FL0	5Г
29	П1	Х-П1	41	79	55	55	55
30	↔	↔	14	80	ИПС	П-Хс	6[
31	П2	Х-П2	42	81	ИП8	П-Х8	68
32	ИП6	П-Х6	66	82	+	+	10
33	ИП1	П-Х1	61	83	П8	Х-П8	48
34	—	—	11	84	ИП1	П-Х1	61
35	ИП2	П-Х2	62	85	П6	Х-П6	46
36	ИП4	П-Х4	64	86	ИП2	П-Х2	62
37	÷	÷	13	87	П4	Х-П4	44
38	Flg	Flg	17	88	С/П	П-Ха	50(6—)
39	÷	÷	13	89	БП	С/П	51(50)
40	ПВ	Х-Пв	4L	90	29	БП	29(51)
41	ИП2	П-Х2	62	91	ИП1	29	61(29)
42	ИП4	П-Х4	64	92	П6	П-Х1	46(61)
43	—	—	11	93	ИП2	Х-П6	62(46)
44	3	3	03	94	П4	П-Х2	44(62)
45	F10X	F10X	15	95	С/П	Х-П4	50(44)
46	×	×	12	96	БП	П-Ха	51(6—)
47	ИП9	П-Х9	69	97	00	С/П	00(50)
48	÷	÷	13	98		БП	(51)
49	8	8	08	99		00	(00)

Ввести в регистры памяти: $P_0 \rightarrow ПЗ(Х-ПЗ)$; $\epsilon_{sw} \rightarrow П6(Х-П6)$; $\rho \rightarrow П9(Х-П9)$; $0,02 \rightarrow П4(Х-П4)$; $0 \rightarrow П8(Х-П8)$; $0 \rightarrow ПА(Х-ПА)$.

Последовательно вводить все значения нагрузок, начиная с минимальной, и соответствующие величины набухания:

$$P_i \uparrow \epsilon_{sw} P C / П.$$

Каждую следующую пару значений вводить после завершения вычислений по предыдущей и остановки микрокалькулятора. Последняя пара значений: $P_n \uparrow 0 C / П$.

После завершения расчетов вызвать из регистров памяти: ИПА (П-Ха) величину деформации массива в результате набухания, см;

ИП8 (П-Х8) — мощность набухающей толщи, см.

При использовании микрокалькуляторов МК-61, МК-52 первая из этих величин после остановки высвечивается на индикаторе. Данные о послойном набухании толщи глинистых грунтов могут быть получены аналогично после ввода каждой пары значений и остановки калькулятора.

Для перехода к расчетам по следующему массиву нажать клавишу В/о, ввести в регистры памяти соответствующие значения параметров и далее выполнять, как сказано выше.

Пример 1

$$P_0 = 1,3 \cdot 10^5 \text{ Па}, \epsilon_{sw} = 0,24; \rho = 1,8 \text{ г/см}^3; P_{sw} = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Последовательно вводим пары значений: нагрузка — набухание, получаем результаты для каждой ступени нагрузки.

P_i , Н	0,25	0,5	1	1,5	2	2,5
$\epsilon_{sw} P$	0,114	0,08	0,046	0,026	0,016	0
Суммарная деформация массива, см	0	0	0	3,2	8,2	9,6
Мощность набухающей толщи, см	0	0	0	111	389	667

Общая деформация массива в результате набухания составит 9,6 см, мощность набухающей толщи — 667 см, в том числе нижняя часть толщи мощностью 2,8 м деформировалась на 1,4 см.

Пример 2

Параметры массива те же, но дополнительной нагрузки на него нет (сооружения нет). Требуется определить его свободное набухание. Принимаем $P_0 = 2 \cdot 10^3$ Па, вводим эту величину в регистр памяти ПЗ. Остальные параметры вводим те же, что и в примере 1.

Последовательно вводим все пары значений нагрузка — набухание и получаем результаты для каждой ступени нагрузки.

P_i , Н	0,25	0,5	1	1,5	2	2,5
$\epsilon_{sw} P$	0,114	0,08	0,046	0,026	0,012	0
Суммарная деформация массива, см	18,6	31,5	47,9	57,4	62,3	63,7
Мощность набухающей толщи, см	128	267	544	822	1100	1378

При неоднородной толще следует расчленить массив по глубине на однородные элементы (по плотности и относительному свободному набуханию). Между соседними элементами выделить переходные зоны. Для каждого элемента и переходной зоны определить среднее значение плотности. Рассчитать величину нагрузки на каждой из выделенных границ. Для этой цели служит приведенная ниже программа.

Программа 100

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П1	Х-П1	41	11	↔	↔	14
01	↔	↔	14	12	—	—	11
02	П2	Х-П2	42	13	×	×	12
03	0	0	00	14	3	3	03
04	П3	Х-П3	43	15	F10X	F10X	15
05	ИП0	П-Х0	60	16	÷	÷	13
06	ИП2	П-Х2	62	17	+	+	10
07	ИП1	П-Х1	61	18	С/П	С/П	50
08	ИП3	П-Х3	63	19	БП	БП	51
09	↔	↔	14	20	08	08	08
10	П3	Х-П3	43				

Счет

Ввести в регистр памяти значение нагрузки от сооружения:

$P_0 \rightarrow P0$ (Х-П0).

Набрать последовательно значения плотности для первого элемента и глубину его нижней границы: $\rho_1 \uparrow H_1$, С/П.

После останова на индикаторе нагрузка P_1 на глубине H_1 .

Набрать плотность для переходной зоны и ее нижнюю границу: $\rho_2 \uparrow H_2$, С/П.

После останова на индикаторе нагрузка P_2 на глубине H_2 .

Набрать плотность для второго выделенного элемента и его нижнюю границу: $\rho_3 \uparrow H_3$, С/П.

После останова на индикаторе нагрузка P_3 на глубине H_3 и т. д. для каждой выделенной границы.

Для каждого элемента выбрать несколько (не менее двух) нагрузок в полученном интервале для лабораторного определения величины набухания. Для переходных зон такие определения проводить не следует. Число испытаний зависит от величины интервала давлений на верхней и нижней границах элемента. Ступени давлений следует принять $0,25 \cdot 10^5$ Па до $P = 0,5 \cdot 10^5$ Па; $0,5$ — для интервала от $0,5$ до $2 \cdot 10^5$ Па; 1 — для интервала от 2 до $4 \cdot 10^5$ Па и 2 — для P более $4 \cdot 10^5$ Па.

Если нагрузки в лабораторных испытаниях не совпадают с величинами давлений на границах между выделенными элементами, то следует рассчитать соответствующие значения набухания экстраполяцией по следующей программе.

Программа 101

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П1	Х-П1	41	11	÷	÷	13
01	↔	↔	14	12	ИП2	П-Х2	62
02	П2	Х-П2	42	13	С/П	С/П	50
03	С/П	С/П	50	14	÷	÷	13
04	ИП1	П-Х1	61	15	F1g	F1g	17
05	↔	↔	14	16	×	×	12
06	—	—	11	17	ИП1	П-Х1	61
07	↔	↔	14	18	+	+	10
08	ИП2	П-Х2	62	19	С/П	С/П	50
09	÷	÷	13	20	БП	БП	51
10	F1g	F1g	17	21	00	00	00

Счет

Набрать известные значения для данного слоя: $P_1 \uparrow \epsilon_{sw1}$, С/П.

После останова: $P_2 \uparrow \epsilon_{sw2}$, С/П.

После останова набрать значение нагрузки, соответствующее границе (верхней или нижней) данного слоя: P_x , С/П.

После останова на индикаторе значение соответствующего относительного набухания.

Используя полученные данные, рассчитать суммарную деформацию массива по программе 99. Для этого ввести в регистры памяти значение P_0 , характеристики первого слоя ϵ_{sw} и ρ , а также $0,02$ и очистить регистры 8 и А. Последовательно набирать все P_i и ϵ_{swP} для данного слоя (полученные экспериментально и экстраполяцией), включая значения, соответствующие границе с переходной зоной. Результат расчета — суммарная величина набухания первого слоя.

Ввести в регистр 9 значение плотности переходной зоны, набрать величины нагрузки на нижней границе этой зоны и набухания второго выделенного элемента, для которого эта граница является верхней. Результат вычислений — суммарная величина набухания первого слоя и переходной зоны.

Ввести в регистр 9 значение плотности второго элемента и последовательно набирать значения P_i и ϵ_{swP} для этого элемента и т. д.

Пример

По литологическим признакам в разрезе массива выделены три основных слоя: покровный суглинок, делювиальная глина и коренные глинистые отложения (табл. 8).

Таблица 8

Номер слоя	Отложения	Глубина, см	Средняя плотность, г/см ³	Расчетные значения давлений на границах, 10 ⁵ Па
1	Покровный суглинок	0—100	1,6	1,3—1,46
1a	Переходная зона	100—110	1,7	1,46—1,477
2	Делювиальная глина	110—200	1,8	1,477—1,639
2a	Переходная зона	200—210	1,85	1,639—1,6575
3	Коренные отложения	210	1,9	1,6575

По программе 100 определим величины нагрузок на выделенных границах, учитывая нагрузку от сооружения $P_0 = 1,3 \cdot 10^5$ Па. Пользуясь этими значениями, определяем нагрузки, при которых должны быть проведены лабораторные испытания. Кроме того, необходимо определить давление набухания. Результаты приведены в табл. 9.

Таблица 9

Номер слоя	Глубина, см	Плотность, г/см ³	Давление, МПа	Относительное набухание, доли единицы	Суммарная деформация, см	Мощность набухающей толщи, см
1	0	1,6	13	0,005	0	0
			14	0,002	0,2	62
	100		14,6	0 *	0,2	100
2	110	1,8	14,77	0,051 *	0,5	110
			15	0,05	1,2	123
			16	0,045	3,8	178
	200		16,39	0,043 *	4,7	200
3	210	1,9	16,575	0,021 *	5,0	210
			17	0,02	5,5	232
			20	0,015	8,2	390
			25 **	0	9,9	653

* Расчетные значения.

** Давление набухания.

В зоне 1a плотность грунта 1,7 г/см³; в зоне 2a—1,85 г/см³.

Пользуясь результатами лабораторных определений, рассчитаем величину относительного набухания для граничных значений нагрузок методом экстраполяции по программе 101. Результаты расчетов приведены в табл. 9 (расчетные значения). Пользуясь программой 99, определим суммарную деформацию массива (послойно) и мощность набухающей толщи. Для этого введем в регистры памяти:

$P_0 = 1,3 \rightarrow \text{ПЗ}$ (Х-ПЗ), свободное набухание суглинков;

$\epsilon_{sw} = 0,1 \rightarrow \text{П6}$ (Х-П6), плотность суглинков;

$\rho = 1,6 \rightarrow \text{П9}$ (Х-П9); 0,02 $\rightarrow$ П4; 0 $\rightarrow$ П8; 0 $\rightarrow$ ПА.

Набираем последовательно значения нагрузок и относительного набухания для первого слоя:

1,3 $\uparrow$ 0,005, С/П;

1,4 $\uparrow$ 0,002, С/П;

1,46 $\uparrow$ 0, С/П.

После каждого останова получаем соответствующие значения суммарной деформации и мощности толщи, для которой она рассчитана (см. табл. 9).

Введем в регистр памяти плотность зоны 1a, 1,7 $\rightarrow$ П9. Набираем значение нагрузки и относительного набухания на нижней границе этой зоны: 1,477 $\uparrow$ 0,051, С/П.

Получаем величину суммарной деформации слоев 1 и 1a. Введем плотность второго слоя: 1,8 $\rightarrow$ П9.

Последовательно набираем:

1,5 $\uparrow$ 0,050, С/П;

1,6 $\uparrow$ 0,045, С/П;

1,639 $\uparrow$ 0,043, С/П.

Аналогично проводим расчеты для зоны 2a и слоя 3. Результаты всех расчетов приведены в табл. 9.

ПРОСАДКА

Расчет величины просадки проводится достаточно просто и не требует специальных программ, если известны значения относительной просадочности всех разновидностей грунтов по разрезу при ожидаемых бытовых нагрузках с учетом влияния строительных сооружений. Этот метод требует выполнения большого объема лабораторных исследований, в особенности в случае прогнозных расчетов по нескольким вариантам.

Предлагаемый метод расчета, программа для которого приводится ниже, также основан на суммировании ожидаемых деформаций отдельных слоев массива:

$$S_{sl} = \sum_{i=1}^n \epsilon_{sl_i} \Delta h_i,$$

где S_{sl} —суммарная просадка массива грунта, см; ϵ_{sl_i} —относительная просадочность отдельного слоя грунта; Δh_i —мощность отдельного слоя, см; n —число выделенных слоев.

Относительная просадочность грунта в данном слое в зависимости от нагрузки определяется интерполяцией:

$$\epsilon_{sl_i} = \epsilon_{sl_1} + K [\lg(P_{i-1} + \Delta h_i \rho_i) - \lg P_1],$$

$$\text{где } K = \frac{\epsilon_{sl_2} - \epsilon_{sl_1}}{\lg P_2 - \lg P_1};$$

ϵ_{sl_1} , ϵ_{sl_2} — относительные просадочности данной разновидности грунта (доли единицы) при давлениях P_1 и P_2 (10^5 Па) соответственно, по лабораторным данным.

При численном интегрировании произведения $\epsilon_{sl} \Delta h_i$ для каждого выделенного слоя грунта в качестве шага интегрирования принята 1/8 часть мощности слоя.

Для расчета необходимы следующие данные: P_0 — давление от сооружения, 10^5 Па; n_i , W_i , ρ_i — пористость (доли единицы), влажность (доли единицы), плотность ($г/см^3$) соответственно каждого выделенного слоя грунта; ϵ_{sl_1} , ϵ_{sl_2} — относительная просадочность грунта в данном слое при двух давлениях P_1 и P_2 (10^5 Па) соответственно; H_i — глубина нижней границы (подшвы) i -го слоя, см.

Мощность слоев, выделяемых в разрезе массива на основании литологических особенностей, не должна превышать 2 м.

Программа 102

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	↑	B↑	0E	30	ИП7	П-Х7	67
01	3	3	03	31	×	×	12
02	F10X	F10X	15	32	ПЗ	Х-ПЗ	43
03	×	×	12	33	ИП4	П-Х4	64
04	П4	Х-П4	44	34	ИПЗ	П-ХЗ	63
05	0	0	00	35	+	+	10
06	П1	Х-П1	41	36	П4	Х-П4	44
07	С/П	С/П	50	37	ИПА	П-Ха	6—
08	↑	B↑	0E	38	3	3	03
09	1	1	01	39	F10X	F10X	15
10	+	+	10	40	×	×	12
11	÷	÷	13	41	÷	÷	13
12	+	+	10	42	F1g	F1g	17
13	П7	Х-П7	47	43	ИП5	П-Х5	65
14	ИПД	П-Хd	6Г	44	×	×	12
15	ИПС	П-Хc	6Г	45	ИПС	П-Хc	6Г
16	—	—	11	46	+	+	10
17	ИПВ	П-Хb	6L	47	ИП6	П-Х6	66
18	ИПА	П-Ха	6—	48	×	×	12
19	÷	÷	13	49	ИП1	П-Х1	61
20	F1g	F1g	17	50	+	+	10
21	÷	÷	13	51	П1	Х-П1	41
22	П5	Х-П5	45	52	FL0	FL0	5Г
23	ИП9	П-Х9	69	53	33	33	33
24	ИП8	П-Х8	68	54	ИП9	П-Х9	69
25	—	—	11	55	П8	Х-П8	48
26	8	8	08	56	ИП1	П-Х1	61
27	П0	Х-П0	40	57	БП	БП	51
28	÷	÷	13	58	07	07	07
29	П6	Х-П6	46				

Счет

Набрать значение внешнего давления (от сооружения): P_0 , С/П.

После останова ввести в регистры памяти значения интервала глубин первого выделенного слоя грунта (H_1 и H_2 , $H_1 < H_2$) и данные лабораторных испытаний грунтов этого слоя при двух давлениях (P_1 и P_2 , $P_2 > P_1$; ϵ_{sl_1} и ϵ_{sl_2}): $H_1 \rightarrow П8$ (Х-П8), $H_2 \rightarrow П9$ (Х-П9), $P_1 \rightarrow ПА$ (Х-Па), $P_2 \rightarrow ПВ$ (Х-Пb), $\epsilon_{sl_1} \rightarrow ПС$ (Х-Пc), $\epsilon_{sl_2} \rightarrow ПD$ (Х-Пd).

Набрать значения для данного слоя:

$n \uparrow \rho \uparrow W$, С/П ($nB \uparrow \rho B \uparrow W$, С/П).

После останова на индикаторе суммарная просадка массива до глубины H_2 .

Ввести в регистры памяти значения для второго слоя: H_1 , H_2 , P_1 , P_2 , ϵ_{sl_1} , ϵ_{sl_2} .

Набрать значения для данного слоя: $n \uparrow \rho \uparrow W$, С/П.

После останова на индикаторе суммарная просадка первого и второго слоев.

Для расчета просадки следующего массива нажать клавишу В/о и далее, как указано выше.

Пример

Внешнее давление от сооружения $P_0 = 1 \cdot 10^5$ Па.

Мощность просадочной толщи 30 м.

Схема расчета приведена в табл. 10.

Таблица 10

Глубина, см		Данные лабораторных испытаний				n	ρ , $г/см^3$	W , %	Суммарная просадка, см
		P_1 , Н	P_2 , Н	ϵ_{sl_1}	ϵ_{sl_2}				
H_1	H_2								
0	200	1	2	0,003	0,022	0,48	1,46	0,08	1,6
200	400	1	2	0,004	0,02	0,5	1,43	0,1	4,5
400	600	2	3	0,022	0,033	0,46	1,56	0,11	8,7
600	800	2	3	0,025	0,032	0,5	1,43	0,1	14,2
800	1000	2	3	0,024	0,033	0,48	1,51	0,12	20,2
1000	1200	3	5	0,008	0,012	0,43	1,7	0,15	21,9
1200	1400	3	5	0,032	0,047	0,48	1,46	0,12	29
1400	1600	3	5	0,031	0,046	0,47	1,46	0,1	36,5
1600	1800	3	5	0,032	0,048	0,48	1,43	0,1	44,9
1800	2000	3	5	0,032	0,046	0,49	1,43	0,12	53,5
2000	2200	5	8	0,012	0,016	0,42	1,71	0,18	55,9
2200	2400	5	8	0,025	0,032	0,45	1,58	0,15	61
2400	2600	5	8	0,026	0,032	0,44	1,6	0,14	66,5
2600	2800	5	8	0,024	0,032	0,44	1,61	0,15	71,9
2800	3000	5	8	0,002	0,004	0,4	1,72	0,15	72,5

СТАТИСТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

ОСНОВНЫЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫБОРКИ

Определение основных статистических характеристик выборки:

среднего арифметического значения ($\bar{X}$), стандартного отклонения (σ_X), коэффициента вариации (V), стандартного отклонения среднего значения ($\sigma_{\bar{X}}$), доверительного интервала средних и индивидуальных значений:

$$\sigma_{\bar{X}}^2 = \frac{n}{n-1} (m_2 - m_1^2),$$

где n — число данных в выборке; m_1 , m_2 — центральные моменты первого и второго порядков соответственно;

$$\bar{X} = m_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i; \quad m_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^2;$$

$$V = \frac{\sigma_X}{\bar{X}} \cdot 100; \quad \sigma_{\bar{X}} = \sigma_X / \sqrt{n-1}.$$

Доверительные интервалы индивидуальных и средних значений определяются соотношениями:

$$\bar{X} \pm \sigma_X t_{\alpha/2} \text{ и } \bar{X} \pm \sigma_{\bar{X}} t_{\alpha/2},$$

где $t_{\alpha/2}$ — коэффициент Стьюдента для заданного уровня надежности и числа степеней свободы $f = n - 1$.

Среднее арифметическое значение характеристики является нормативным значением. Верхний (или нижний) предел доверительного интервала средних значений — расчетное значение данного показателя. Доверительный интервал индивидуальных значений дает возможность оценить наличие ошибочных данных, выходящих за границы этого интервала (при нормальном распределении значений в выборке), или данных, принадлежащих иной статистической совокупности (другому инженерно-геологическому элементу).

Программа 103

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	PD	X-Pd	4Г	40	÷	÷	13
01	CX	CX	0Г	41	1	1	01
02	Π0	X-Π0	40	42	0	0	00
03	Π1	X-Π1	41	43	0	0	00
04	Π7	X-Π7	47	44	×	×	12

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
05	ИΠD	Π-Xd	6Г	45	Π3	X-Π3	43
06	ΠD	X-Πd	4Г	46	ИΠ2	Π-X2	62
07	ИΠ1	Π-X1	61	47	ИΠ0	Π-X0	60
08	+	+	10	48	1	1	01
09	Π1	X-Π1	41	49	—	—	11
10	ИΠD	Π-Xd	6Г	50	$F\sqrt{\div}$	$F\sqrt{\div}$	21
11	FX^2	FX^2	22	51	$\div$	$\div$	13
12	ИΠ7	Π-X7	67	52	Π4	X-Π4	44
13	+	+	10	53	C/Π	C/Π	50
14	Π7	X-Π7	47	54	ΠD	X-Πd	4Г
15	ИΠ0	Π-X0	60	55	ИΠ4	Π-X4	64
16	1	1	01	56	×	×	12
17	+	+	10	57	↑	B↑	0E
18	Π0	X-Π0	40	58	ИΠ1	Π-X1	61
19	C/Π	C/Π	50	59	+	+	10
20	БΠ	БΠ	51	60	Π8	X-Π8	48
21	06	06	06	61	↔	↔	14
22	ИΠ7	Π-X7	67	62	ИΠ1	Π-X1	61
23	ИΠ0	Π-X0	60	63	↔	↔	14
24	÷	÷	13	64	—	—	11
25	ИΠ1	Π-X1	61	65	Π7	X-Π7	47
26	ИΠ0	Π-X0	60	66	ИΠD	Π-Xd	6Г
27	÷	÷	13	67	ИΠ2	Π-X2	62
28	Π1	X-Π1	41	68	×	×	12
29	FX^2	FX^2	22	69	↑	B↑	0E
30	—	—	11	70	ИΠ1	Π-X1	61
31	ИΠ0	Π-X0	60	71	+	+	10
32	↑	B↑	0E	72	↔	↔	14
33	1	1	01	73	ИΠ1	Π-X1	61
34	—	—	11	74	↔	↔	14
35	÷	÷	13	75	—	—	11
36	×	×	12	76	C/Π	C/Π	50
37	$F\sqrt{\div}$	$F\sqrt{\div}$	21	77	БΠ	БΠ	51
38	Π2	X-Π2	42	78	54	54	54
39	ИΠ1	Π-X1	61				

Счет

После ввода программы набрать: $F_{авт}$, В/о. Набрать последовательно все числа, после набора каждого нажать C/Π. Следующее число набирать после останова.

После набора всех чисел и останова нажать БΠ 22, C/Π.

После останова вызвать основные характеристики из следующих регистров:

ИΠ0 (Π-X0) → n ; ИΠ1 (Π-X1) → $\bar{X}$; ИΠ2 (Π-X2) → σ_X ; ИΠ3 (Π-X3) → V ; ИΠ4 (Π-X4) → $\sigma_{\bar{X}}$.

Если исследуемая выборка имеет нормальное распределение, то доверительные интервалы индивидуальных и средних значений (расчетные значения) определяются следующим образом: для данной

величины n и выбранного уровня надежности определить по приложению 1 значение критерия Стьюдента, не изменяя содержания регистров памяти и программу калькулятора, набрать значение критерия Стьюдента и нажать клавишу С/П.

После останова на индикаторе нижний предел доверительного интервала индивидуальных значений при данном уровне надежности; после « $\pm$ » на индикаторе его верхний предел.

В регистрах 7 и 8 — нижний и верхний пределы доверительного интервала среднего значения выборки соответственно (расчетный показатель).

Для определения доверительных интервалов, соответствующих другим уровням надежности, необходимо набрать следующее значение критерия Стьюдента и С/П.

Для перехода к расчету характеристик новой выборки нажать клавишу В/О, ввести последовательно числа новой выборки и далее как указано выше.

Пример

Выборка (1): 2; 3; 4; 5; 5; 5; 6; 6; 9.

$n=9$; $\bar{X}=5$; $\sigma_X=2$; $V=40\%$; $\sigma_{\bar{X}}=0,71$.

Для $\alpha=0,05$ $t=2,31$.

Границы доверительных интервалов: индивидуальных значений 0,38—9,62; средних значений 3,36—6,64.

Определение основных статистических характеристик выборки, проверка гипотезы о нормальном распределении

Центральные моменты K -го порядка

$$M_K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^K.$$

Начальные моменты K -го порядка

$$m_K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^K;$$

$$M_2 = m_2 - m_1^2;$$

$$M_3 = m_3 - 3M_2m_1 - m_1^3;$$

$$M_4 = m_4 - 4M_3m_1 - 6M_2m_1^2 - m_1^4;$$

$$\sigma_{\bar{X}}^2 = M_2 \cdot \frac{n}{n-1}; \quad V = \frac{\sigma_X}{\bar{X}} \cdot 100;$$

$$\sigma_{\bar{X}} = \sigma_X / \sqrt{n-1}.$$

Показатель асимметрии распределения

$$A = M_3 / \sqrt{M_2^3}.$$

Коэффициент эксцесса

$$E = \frac{M_4}{M_2^2} - 3.$$

Стандартная ошибка показателя асимметрии

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{6(n-1)}{(n+1) \cdot (n+3)}} \approx \sqrt{\frac{6}{n}}.$$

Стандартная ошибка коэффициента эксцесса

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{24n(n-2) \cdot (n-3)}{(n-1)^2 (n+3) \cdot (n+5)}} \approx \sqrt{\frac{24}{n}} = 2\sigma_A.$$

Нормализованные значения показателя асимметрии и коэффициента эксцесса при нормальном распределении не превышают 1,5:

$$Z_A = \frac{A}{\sigma_A} \leq 1,5; \quad Z_E = \frac{E}{\sigma_E} \leq 1,5.$$

Расчеты проводятся в два этапа. На первом этапе (программа 104) вычисляются значения $\bar{X}$, σ_n^2 (смещенная), A , E , Z_A , Z_E . Если распределение величин в выборке оказалось нормальным, то следует перейти ко второму этапу расчетов, введя программу 105. Порядок счета указан после программы. На этом этапе определяются значения σ_{n-1} (несмещенное значение), V , $\sigma_{\bar{X}}$, границы доверительных интервалов индивидуальных и средних значений.

Если распределение оказалось не нормальным, то могут быть использованы следующие приемы перевода его в нормальное:

исключение отдельных величин из выборки, если они значительно отличаются от остальной совокупности данных и могут считаться ошибочными; при небольших выборках такие единичные ошибки могут значительно нарушить симметрию распределения;

при положительной (правосторонней) асимметрии следует проверить распределение величин $\lg X$ (логнормальное распределение);

при отрицательной асимметрии следует проверить распределение величин e^X или X^a .

Если преобразование данных в выборки привело к нормализации распределения, то программа позволяет оценить доверительные интервалы таких преобразованных величин.

Программа 104

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	X-П0	40	49	ИП2	П-X2	62
01	П1	X-П1	41	50	×	×	12
02	СХ	СХ	0Г	51	—	—	11
03	П2	X-П2	42	52	П7	X-П7	47

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
04	П6	X-П6	46	53	ИП2	П-X2	62
05	П7	X-П7	47	54	×	×	12
06	П8	X-П8	48	55	4	4	04
07	С/П	С/П	50	56	×	×	12
08	КНОП	КНОП	54	57	ИП3	П-X3	63
09	ПА	X-Па	4—	58	6	6	06
10	ИП2	П-X2	62	59	×	×	12
11	+	+	10	60	ИПА	П-Xa	6—
12	П2	X-П2	42	61	+	+	10
13	ИПА	П-Xa	6—	62	ИПА	П-Xa	6—
14	FX^2	FX^2	22	63	×	×	12
15	ПВ	X-Пb	4L	64	+	+	10
16	ИП6	П-X6	66	65	—	—	0L
17	+	+	10	66	ИП8	П-X8	68
18	П6	X-П6	46	67	ИП1	П-X1	61
19	ИПВ	П-Xb	6L	68	÷	÷	13
20	FX^2	FX^2	22	69	+	+	10
21	ИП8	П-X8	68	70	ИП3	П-X3	63
22	+	+	10	71	FX^2	FX^2	22
23	П8	X-П8	48	72	÷	÷	13
24	ИПА	П-Xa	6—	73	3	3	03
25	ИПВ	П-Xb	6L	74	—	—	11
26	×	×	12	75	П5	X-П5	45
27	ИП7	П-X7	67	76	6	6	06
28	+	+	10	77	ИП1	П-X1	61
29	П7	X-П7	47	78	÷	÷	13
30	FL0	FL0	5Г	79	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
31	07	07	07	80	П9	X-П9	49
32	ИП1	П-X1	61	81	2	2	02
33	÷	÷	13	82	×	×	12
34	ИП6	П-X6	66	83	÷	÷	13
35	ИП1	П-X1	61	84	ПВ	X-Пb	4L
36	÷	÷	13	85	ИП7	П-X7	67
37	ИП2	П-X2	62	86	ИП3	П-X3	63
38	ИП1	П-X1	61	87	FX^2	FX^2	22
39	÷	÷	13	88	ИП3	П-X3	63
40	П2	X-П2	42	89	×	×	12
41	FX^2	FX^2	22	90	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
42	ПА	X-Па	4—	91	÷	÷	13
43	—	—	11	92	П4	X-П4	44
44	П3	X-П3	43	93	ИП9	П-X9	69
45	3	3	03	94	÷	÷	13
46	×	×	12	95	ИПВ	П-Xb	6L
47	ИПА	П-Xa	6—	96	С/П	С/П	50
48	+	+	10				

Счет

После ввода программы нажать клавиши $F_{\text{авт}}$, В/о.Набрать: n, С/П. После останова последовательно вводить все числа выборки: X_1 , С/П, X_2 , С/П и т. д. Каждое следующее число

набирать после завершения счета предыдущего и останова. После ввода всех чисел и останова на индикаторе Z_E , нажать $\rightleftharpoons$ ($\leftrightarrow$) — на индикаторе Z_A . Вызвать из памяти: ИП2 (П-X2) $\rightarrow \bar{X}$; ИП4 (П-X4) $\rightarrow A$; ИП5 (П-X5) $\rightarrow E$; ИП3 (П-X3) $\rightarrow \sigma_n^2$.

Если распределение оказалось нормальным ($|Z_A| \leq 1,5$; $|Z_E| \leq 1,5$), то можно перейти к расчету стандартной ошибки (несмещенной) и доверительных интервалов по следующей программе. Если распределение отличается от нормального, то следует рассмотреть содержащиеся возможные случайные ошибки и снова пересчитать оставшуюся выборку.

При положительной асимметрии следует проверить гипотезу о логнормальном распределении. Для этого в программе по адресу 08 ввести команду Flg или Fln (вместо КНОП).

Повторить расчеты с выборкой. В этом случае полученные результаты будут относиться к значениям $\lg X$ (или $\ln X$). Их также можно использовать в случае логнормального распределения для расчетов доверительных интервалов по следующей программе.

Аналогично при отрицательной асимметрии можно модифицировать значения, содержащиеся в выборке, введя в программу по адресу 08 команду Fe^X (F10X) или FX^2 .

Пример

Для приведенной выше выборки (см. программу 103, пример):

$$A=0,497; Z_A=0,609;$$

$$E=0,129; Z_E=0,079;$$

$$\bar{X}=5; \sigma_n^2=3,555555 \text{ (смещенное)}.$$

Распределение нормальное, можно переходить к расчетам доверительных интервалов по следующей программе.

Выборка (2): 2, 3, 5, 8, 8, 8, 11, 11, 38.

$$Z_A=2,535; Z_E=1,861; \bar{X}=10,44; A=2,07; E=3,04.$$

Положительная асимметрия. В программу 104 ввести по адресу 08 Fln. Результат расчета по программе 104:

$$Z_E=0,0009; Z_A=0,368; \ln \bar{X}=2,008; A=0,3; E=0,0015; \sigma_n^2=0,632.$$

Распределение нормальное (логнормальное), можно переходить к расчетам доверительных интервалов по следующей программе.

Программа 105

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	X-П0	40	29	↑	B↑	0E
01	1	1	01	30	ИП4	П-X4	64
02	—	—	11	31	×	×	12
03	ИП0	П-X0	60	32	ПА	X-Па	4—
04	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14	33	ИП2	П-X2	62

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
05	÷	÷	13	34	+	+	10
06	×	×	12	35	КНОП	КНОП	54
07	$F\sqrt{}$	$F\sqrt{}$	21	36	П6	Х-П6	46
08	П1	Х-П1	41	37	↔	↔	14
09	КНОП	КНОП	54	38	ИП1	П-Х1	61
10	ПС	Х-Пс	4Г	39	×	×	12
11	↔	↔	14	40	ПВ	Х-Пв	4L
12	П2	Х-П2	42	41	ИП2	П-Х2	62
13	÷	÷	13	42	+	+	10
14	2	2	02	43	КНОП	КНОП	54
15	$F10X$	$F10X$	15	44	П8	Х-П8	48
16	×	×	12	45	ИП2	П-Х2	62
17	П3	Х-П3	43	46	ИП4	П-Ха	6—
18	ИП1	П-Х1	61	47	—	—	11
19	ИП0	П-Х0	60	48	КНОП	КНОП	54
20	1	1	01	49	П5	Х-П5	45
21	—	—	11	50	ИП2	П-Х2	62
22	$F\sqrt{}$	$F\sqrt{}$	21	51	ИПВ	П-Хв	6L
23	÷	÷	13	52	—	—	11
24	П4	Х-П4	44	53	КНОП	КНОП	54
25	КНОП	КНОП	54	54	П7	Х-П7	47
26	ПD	Х-Пd	4Г	55	С/П	С/П	50
27	С/П	С/П	50	56	БП	БП	51
28	↑	В↑	0E	57	28	28	28

Счет

После набора программы: $F_{авт}$, В/о, набрать: $\bar{X} \uparrow \sigma_n^2 \uparrow n$, С/П ($\bar{X}B \uparrow \sigma_n^2 B \uparrow n$, С/П). Эти значения взяты из расчета по предыдущей программе.

После останова набрать значение коэффициента Стьюдента для соответствующего уровня надежности, нажать С/П.

После останова: ИПС (П-Хс) → σ_x (несмещенная); ИПD (П-Хd) → $\sigma_{\bar{x}}$; ИПЗ (П-ХЗ) → V ; ИП5 (П-Х5), ИП6 (П-Х6) — начало и конец доверительного интервала средних значений (расчетные значения); ИП7 (П-Х7), ИП8 (П-Х8) — начало и конец доверительного интервала индивидуальных значений.

Если для нормализации распределения использовано преобразование данных выборки, то в программу по адресам 09, 25, 35, 43, 48, 53 вместо КНОП вводится команда, обратная примененному преобразованию: при логарифмировании исходных данных вводится команда $F10X$ или Fe^X , при использовании для преобразования функций $Y=X^2$ или $Y=e^X$, вводится соответственно $F\sqrt{}$ или Fln . В этом случае после завершения расчетов указанным выше способом вызываются из регистров памяти соответствующие значения в на-

туральном виде. Преобразованные значения стандартных отклонений могут быть вызваны из регистров памяти 1 и 4, например: ИП1 (П-Х1) — $\sigma_{lg X}$; ИП4 (П-Х4) — $\sigma_{lg \bar{X}}$.

Пример

Для выборки 1 $\bar{X}=2$; $\sigma_n^2=3,5555$; $n=9$ (результаты расчетов по предыдущей программе). Для выбранного уровня надежности $t=2,31$. Результаты расчетов: $\sigma_x=2$; $\sigma_{\bar{x}}=0,707$; $V=40\%$.

Доверительные интервалы средних и индивидуальных значений: 3,37—6,63; 0,38—9,62.

Для выборки 2 в программу по адресам 09, 25, 35, 43, 48, 53 вводим команду Fe^X (логнормальное распределение).

Набираем: $(ln X \uparrow \sigma_{ln X}^2 \uparrow n, С/П)$ 2,008 $\uparrow$ 0,632 $\uparrow$ 9, С/П (результаты расчетов по предыдущей программе), $t=2,31$.

Результаты расчетов: $\sigma_x=2,324$; $\sigma_{\bar{x}}=1,347$; $V=115,7\%$; $\sigma_{ln X}=0,843$; $\sigma_{ln \bar{X}}=0,298$.

Доверительные интервалы: 3,74—14,83; 1,06—52,24.

Принадлежность частных значений к выборке

Определение t -критерия производится по уравнению

$$t = (X_i - \bar{X}) / \sigma_x.$$

Критические значения t для проверки принадлежности к выборке крайних вариантов при уровне значимости 0,05 приведены ниже.

n	5	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30	40
t	1,92	2,07	2,27	2,41	2,52	2,6	2,67	2,73	2,78	2,88	2,96	3,08
n	50	60	80	100	150	200	300	400	500	700	1000	2000
t	3,16	3,22	3,33	3,4	3,53	3,61	3,73	3,8	3,87	3,96	4,05	4,21

Программа 106

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П2	Х-П2	42	06	ИП2	П-Х2	62
01	↔	↔	14	07	÷	÷	13
02	П1	Х-П1	41	08	БП	БП	51
03	С/П	С/П	50	09	03	03	03
04	ИП1	П-Х1	61				
05	—	—	11				

Счет

Набрать: $\bar{X} \uparrow \sigma_x$, С/П ($\bar{X}B \uparrow \sigma_x$, С/П).

После останова набрать X_i , С/П.

После останова на индикаторе t набрать следующее значение X_i , С/П и т. д.

Для перехода к расчетам по следующей выборке нажать клавишу В/о и далее как сказано выше.

Сравнение выборок средних значений и дисперсий

Сравнение дисперсий производится по критерию Фишера
 $F = \sigma_1^2 / \sigma_2^2 \quad (\sigma_1 > \sigma_2)$.

Сравнение средних значений производится по критерию Стьюдента

$$t = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \cdot \sqrt{\frac{n_1 + n_2 - 2}{n_1 + n_2}} / \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$$

Критические значения критериев приведены в приложении.

Программа 107

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	FX^2	FX^2	22	22	+	+	10
01	П2	Х-П	42	23	÷	÷	13
02	F0	F0	25	24	-	-	11
03	П1	Х-П1	41	25	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
04	F0	F0	25	26	ИП1	П-Х1	61
05	П0	Х-П0	40	27	ИП4	П-Х4	64
06	С/П	С/П	50	28	-	-	11
07	FX^2	FX^2	22	29	×	×	12
08	П5	Х-П5	45	30	ИП2	П-Х2	62
09	F0	F0	25	31	ИП0	П-Х0	60
10	П4	Х-П4	44	32	÷	÷	13
11	F0	F0	25	33	ИП5	П-Х5	65
12	П3	Х-П3	43	34	ИП3	П-Х3	63
13	ИП2	П-Х2	62	35	÷	÷	13
14	ИП5	П-Х5	65	36	+	+	10
15	÷	÷	13	37	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
16	П6	Х-П6	46	38	÷	÷	13
17	1	1	01	39	ИП6	П-Х6	66
18	↑	В↑	0Е	40	С/П	С/П	50
19	2	2	02	41	БП	БП	51
20	ИП0	П-Х0	60	42	00	00	00
21	ИП3	П-Х3	63				

Счет

Набрать: $n_1 \uparrow \bar{X}_1 \uparrow \sigma_1$, С/П ($n_1 \uparrow B \uparrow \bar{X}_1 \uparrow \sigma_1$, С/П).

После останова набрать показатели для второй выборки:

$n_2 \uparrow \bar{X}_2 \uparrow \sigma_2$, С/П ($n_2 \uparrow B \uparrow \bar{X}_2 \uparrow \sigma_2$, С/П),

где $\sigma_1 > \sigma_2$.

После останова на индикаторе F, нажать клавишу ⇌, на индикаторе t_1 .

Оценка выдержанности и однородности горных пород

Сравнение отдельных частей массива производится путем сопоставления средних значений характеристик и их стандартов:

$$(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) / \sqrt{\sigma_{\bar{X}_1}^2 + \sigma_{\bar{X}_2}^2} < 3; \quad (\sigma_1 - \sigma_2) / \sqrt{\sigma_{\sigma_1}^2 + \sigma_{\sigma_2}^2} < 3,$$

где $\sigma_{\bar{X}} = \sigma_X / \sqrt{n-1}$; $\sigma_{\sigma} = \sigma_X / \sqrt{2n}$.

Программа 108

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П2	Х-П2	42	29	-	-	11
01	F0	F0	25	30	⇌	⇌	14
02	П1	Х-П1	41	31	÷	÷	13
03	F0	F0	25	32	П6	Х-П6	46
04	П0	Х-П0	40	33	ИП1	П-Х1	61
05	С/П	С/П	50	34	ИП2	П-Х2	62
06	П5	Х-П5	45	35	2	2	02
07	F0	F0	25	36	×	×	12
08	П4	Х-П4	44	37	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
09	F0	F0	25	38	÷	÷	13
10	П3	Х-П3	43	39	FX^2	FX^2	22
11	ИП1	П-Х1	61	40	ИП4	П-Х4	64
12	ИП2	П-Х2	62	41	ИП5	П-Х5	65
13	1	1	01	42	2	2	02
14	-	-	11	43	×	×	12
15	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21	44	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
16	÷	÷	13	45	÷	÷	13
17	FX^2	FX^2	22	46	FX^2	FX^2	22
18	ИП4	П-Х4	64	47	+	+	10
19	ИП5	П-Х5	65	48	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
20	1	1	01	49	ИП1	П-Х1	61
21	-	-	11	50	ИП4	П-Х4	64
22	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21	51	-	-	11
23	÷	÷	13	52	⇌	⇌	14
24	FX^2	FX^2	22	53	÷	÷	13
25	+	+	10	54	ИП6	П-Х6	66
26	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21	55	С/П	С/П	50
27	ИП0	П-Х0	60	56	БП	БП	51
28	ИП3	П-Х3	63	57	00	00	00

Счет

Набрать: $\bar{X}_1 \uparrow \sigma_1 \uparrow n_1$, С/П ($\bar{X}_1 \uparrow B \uparrow \sigma_1 \uparrow n_1$, С/П).

После останова набрать:

$\bar{X}_2 \uparrow \sigma_2 \uparrow n_2$, С/П ($\bar{X}_2 \uparrow B \uparrow \sigma_2 \uparrow n_2$, С/П).

После останова на индикаторе результат сравнения средних значений; нажать ⇌, на индикаторе результат сравнения стандартов.

Проверка независимости характеристик образцов, установление тренда

Наличие тренда устанавливается по следующему критерию:

$$\Delta^2/\sigma^2 = \sum (X_i - X_{i+1})^2 / \left[\sum X_i - \frac{1}{n} (\sum X_i)^2 \right]$$

Критические значения этого критерия приведены в табл. 11.

Таблица 11

Критические значения Δ^2/σ^2 для оценки тренда [2]

n	Уровень значимости		n	Уровень значимости	
	0,05	0,01		0,05	0,01
4	0,78	0,626	25	1,367	1,128
6	0,89	0,651	30	1,418	1,195
8	0,981	0,663	40	1,492	1,293
10	1,062	0,752	50	1,544	1,363
12	1,128	0,828	60	1,581	1,414
15	1,205	0,922	∞	2	2
20	1,3	1,041			

Программа 109

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П2	Х-П2	42	20	П3	Х-П3	43
01	П5	Х-П5	45	21	ИП5	П-Х5	65
02	FX ²	FX ²	22	22	ИП6	П-Х6	66
03	П3	Х-П3	43	23	П5	Х-П5	45
04	↔	↔	14	24	—	—	11
05	П1	Х-П1	41	25	FX ²	FX ²	22
06	1	1	01	26	ИП4	П-Х4	64
07	—	—	11	27	+	+	10
08	П0	Х-П0	40	28	П4	Х-П4	44
09	СХ	СХ	0Г	29	FL 0	FL 0	5Г
10	П4	Х-П4	44	30	11	11	11
11	С/П	С/П	50	31	ИП3	П-Х3	63
12	П6	Х-П6	46	32	ИП2	П-Х2	62
13	ИП2	П-Х2	62	33	FX ²	FX ²	22
14	+	+	10	34	ИП1	П-Х1	61
15	П2	Х-П2	42	35	÷	÷	13
16	ИП6	П-Х6	66	36	—	—	11
17	FX ²	FX ²	22	37	÷	÷	13
18	ИП3	П-Х3	63	38	С/П	С/П	50
19	+	+	10	39	БП	БП	51

Счет

Набрать: $n \uparrow X_1$, С/П ($n \uparrow X_1$, С/П); после останова набрать: X_2 С/П; после останова: X_3 С/П и т. д. все значения выборки по заданному направлению. После ввода всех значений и останова на индикаторе Δ^2/σ^2 .

Пример

Числа пластичности вдоль линии разреза: 10, 12, 13, 16, 14, 19;
 $\Delta^2/\sigma^2 = 0,86$.

Критическое значение этого отношения для уровня значимости 0,05 и $n=6$ 0,89 (см. табл. 11). $0,86 < 0,89$, следовательно тренд этих значений с надежностью 0,95 имеет место.

КОРРЕЛЯЦИЯ

Парный коэффициент корреляции:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right]}}$$

Значимость коэффициента корреляции определяется величиной t -критерия (критерий Стьюдента, прилож. 1):

$$t = r \sqrt{n-2} / \sqrt{1-r^2}$$

Программа 110

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	37	ИП3	П-Х3	63
01	П1	Х-П1	41	38	×	×	12
02	СХ	СХ	0Г	39	ИП1	П-Х1	61
03	П2	Х-П2	42	40	÷	÷	13
04	П3	Х-П3	43	41	—	—	11
05	П4	Х-П4	44	42	ИП4	П-Х4	64
06	П5	Х-П5	45	43	ИП2	П-Х2	62
07	П6	Х-П6	46	44	FX ²	FX ²	22
08	С/П	С/П	50	45	ИП1	П-Х1	61
09	ПВ	Х-ПВ	4Л	46	÷	÷	13
10	ИП3	П-Х3	63	47	—	—	11
11	+	+	10	48	ИП3	П-Х3	63
12	П3	Х-П3	43	49	FX ²	FX ²	22
13	↔	↔	14	50	ИП1	П-Х1	61
14	П4	Х-П4	4—	51	÷	÷	13
15	ИП2	П-Х2	62	52	/—/	/—/	0L

После останова — n_2 , С/П, далее ввести все значения Y_{2p} , содержащиеся во 2-й группе. После этого ввести последовательно третью, четвертую и последующие группы, начиная каждую с ввода n_i С/П и затем все значения Y данной группы. Число групп не должно превышать 9.

После ввода всех значений Y набрать: m (число групп), БП 38, С/П.

После останова вводить последовательно значения n_i (число значений в каждой группе: n_1 , С/П; n_2 , С/П и т. д.). Каждое следующее число n_i вводить после завершения расчета с предыдущим и останова.

После завершения ввода всех значений n_i и останова на индикаторе $\eta_{Y/X}$.

Пример

Y_i 2, 2, 4; 5, 6, 7; 7, 8, 8; 9, 10, 14.

Выборка Y_i , расположенная вдоль оси X , разбита на 4 группы по 3 члена в каждой:

$N=12$; $m=4$; $n_1=n_2=n_3=n_4=3$. $\eta_{Y/X}=0,91$.

Множественный коэффициент корреляции:

$$R_{1/2,3} = \sqrt{\frac{r_{1,2}^2 + r_{1,3}^2 - 2r_{1,2}r_{1,3}r_{2,3}}{1 - r_{2,3}^2}},$$

где $R_{1/2,3}$ — коэффициент корреляции X_1 с X_2 и X_3 ;
 $r_{1,2}$, $r_{1,3}$, $r_{2,3}$ — соответствующие парные коэффициенты корреляции.

Программа 112

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П2	Х-П2	42	27	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
01	F0	F0	25	28	ПЗ	Х-ПЗ	43
02	П1	Х-П1	41	29	ИП0	П-Х0	60
03	F0	F0	25	30	ИП2	П-Х2	62
04	П0	Х-П0	40	31	+	+	10
05	ИП1	П-Х1	61	32	ИП6	П-Х6	66
06	×	×	12	33	—	—	11
07	ИП2	П-Х2	62	34	1	1	01
08	×	×	12	35	ИП1	П-Х1	61
09	2	2	02	36	—	—	11
10	×	×	12	37	÷	÷	13
11	П6	Х-П6	46	38	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
12	ИП0	П-Х0	60	39	П4	Х-П4	44
13	FX^2	FX^2	22	40	ИП1	П-Х1	61
14	П0	Х-П0	40	41	ИП2	П-Х2	62
15	ИП1	П-Х1	61	42	+	+	10
16	FX^2	FX^2	22	43	ИП6	П-Х6	66
17	П1	Х-П1	41	44	—	—	11
18	+	+	10	45	1	1	01

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
19	ИП6	П-Х6	66	46	ИП0	П-Х0	60
20	—	—	11	47	—	—	11
21	1	1	01	48	÷	÷	13
22	ИП2	П-Х2	62	49	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
23	FX^2	FX^2	22	50	П5	Х-П5	45
24	П2	Х-П2	42	51	С/П	С/П	50
25	—	—	11	52	БП	БП	51
26	÷	÷	13	53	00	00	00

Счет

Набрать: $r_{1,2} \uparrow r_{1,3} \uparrow r_{2,3}$, С/П ($r_{1,2} B \uparrow r_{1,3} B \uparrow r_{2,3}$, С/П).

После останова значения множественных коэффициентов корреляции вызвать из регистров памяти: ИПЗ (П-ХЗ) → $R_{1/2,3}$; ИП4 (П-Х4) → $R_{2/1,3}$; ИП5 (П-Х5) → $R_{3/1,2}$.

Частные коэффициенты корреляции:

$$r_{1,2(3)} = \frac{r_{1,2} - r_{1,3}r_{2,3}}{\sqrt{(1 - r_{1,3}^2)(1 - r_{2,3}^2)}}.$$

Программа 113

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П2	Х-П2	42	21	ИП1	П-Х1	61
01	F0	F0	25	22	ИП0	П-Х0	60
02	П1	Х-П1	41	23	ИП2	П-Х2	62
03	F0	F0	25	24	×	×	12
04	П0	Х-П0	40	25	—	—	11
05	ИП1	П-Х1	61	26	1	1	01
06	ИП2	П-Х2	62	27	ИП0	П-Х0	60
07	×	×	12	28	FX^2	FX^2	22
08	—	—	11	29	—	—	11
09	1	1	01	30	1	1	01
10	ИП1	П-Х1	61	31	ИП2	П-Х2	62
11	FX^2	FX^2	22	32	FX^2	FX^2	22
12	—	—	11	33	—	—	11
13	1	1	01	34	×	×	12
14	ИП2	П-Х2	62	35	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
15	FX^2	FX^2	22	36	÷	÷	13
16	—	—	11	37	ИП3	П-Х3	63
17	×	×	12	38	С/П	С/П	50
18	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21	39	БП	БП	51
19	÷	÷	13	40	00	00	00
20	ПЗ	Х-ПЗ	43				

Счет

Набрать: $r_{1,2} \uparrow r_{1,3} \uparrow r_{2,3}$, С/П ($r_{1,2} B \uparrow r_{1,3} B \uparrow r_{2,3}$, С/П).

После останова на индикаторе $r_{1,2}(3)$, нажать клавишу $\rightleftarrows$ на индикаторе $r_{1,3}(2)$.

РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ

1. Линейная регрессия

$$Y = a + bX;$$

$$Q_X = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2; \quad Q_Y = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2;$$

$$Q_{XY} = \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i;$$

$$b = Q_{XY}/Q_X; \quad a = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n Y_i - b \sum_{i=1}^n X_i \right);$$

$$\sigma_{\hat{Y}}^2 = \frac{1}{n-2} (Q_Y - b Q_{XY}); \quad \sigma_b = \sigma_{\hat{Y}} / \sqrt{Q_X}; \quad \sigma_a = \sigma_{\hat{Y}} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\bar{X}^2}{Q_X}}.$$

Доверительные интервалы a и b :

$$a \pm t_{\alpha/2, n-2} \sigma_a; \quad b \pm t_{\alpha/2, n-2} \sigma_b.$$

Доверительный интервал расчетного значения $\hat{Y}$ в зависимости от величины X :

$$\hat{Y} \pm t_{\alpha/2, n-2} \sigma_{\hat{Y}/X};$$

$$\sigma_{\hat{Y}/X} = \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(X_i - \bar{X})^2}{Q_X}}.$$

Программа 114

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	49	ПD	Х-Пd	4Г
01	П1	Х-П1	41	50	÷	÷	13
02	СХ	СХ	0Г	51	П8	Х-П8	48
03	П2	Х-П2	42	52	ИП2	П-Х2	62
04	П3	Х-П3	43	53	×	×	12
05	П4	Х-П4	44	54	ИП3	П-Х3	63
06	П5	Х-П5	45	55	↔	↔	14
07	П6	Х-П6	46	56	—	—	11
08	С/П	С/П	50	57	ИП1	П-Х1	61
09	ПD	Х-Пd	4Г	58	÷	÷	13
10	ИП3	П-Х3	63	59	П7	Х-П7	47
11	+	+	10	60	ИП5	П-Х5	65
12	П3	Х-П3	43	61	ИП3	П-Х3	63
13	↔	↔	14	62	FX ²	FX ²	22

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
14	ПС	Х-ПС	4Г	63	ИП1	П-Х1	61
15	ИП2	П-Х2	62	64	÷	÷	13
16	+	+	10	65	—	—	11
17	П2	Х-П2	42	66	ИП8	П-Х8	68
18	ИПС	П-ХС	6Г	67	ИП6	П-Х6	66
19	FX ²	FX ²	22	68	×	×	12
20	ИП4	П-Х4	64	69	—	—	13
21	+	+	10	70	ИП1	П-Х1	61
22	П4	Х-П4	44	71	2	2	02
23	ИПD	П-Хd	6Г	72	—	—	11
24	FX ²	FX ²	22	73	÷	÷	13
25	ИП5	П-Х5	65	74	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
26	+	+	10	75	П9	Х-П9	49
27	П5	Х-П5	45	76	ИПD	П-Хd	6Г
28	ИПС	П-ХС	6Г	77	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
29	ИПD	П-Хd	6Г	78	÷	÷	13
30	×	×	10	79	ПB	Х-Пb	4L
31	ИП6	П-Х6	66	80	ИП2	П-Х2	62
32	+	+	10	81	ИП1	П-Х1	61
33	П6	Х-П6	46	82	÷	÷	13
34	FL0	FL0	5Г	83	ПС	Х-ПС	4Г
35	08	08	08	84	FX ²	FX ²	22
36	ИП2	П-Х2	62	85	ИП4	П-Х4	64
37	ИП3	П-Х3	63	86	÷	÷	13
38	×	×	12	87	ИП1	П-Х1	61
39	ИП1	П-Х1	61	88	F1/X	F1/X	23
40	÷	÷	13	89	П0	Х-П0	40
41	—	—	11	90	+	+	10
42	П6	Х-П6	46	91	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
43	ИП4	П-Х4	64	92	ИП9	П-Х9	69
44	ИП2	П-Х2	62	93	×	×	12
45	FX ²	FX ²	22	94	ПА	Х-Па	4—
46	ИП1	П-Х1	61	95	С/П	С/П	50
47	÷	÷	13	96	БП	БП	51
48	—	—	11	97	00	00	00

Счет

Набрать: n , С/П. После останова ввести последовательно все пары значений X и Y :

$X_1 \uparrow Y_1$, С/П; $X_2 \uparrow Y_2$, С/П и т. д.

Каждую последующую пару значений вводить после завершения расчетов по предыдущей паре и останова.

После ввода всех значений X и Y и останова вызвать из регистров памяти основные характеристики регрессии:

ИП7 (П-Х7) $\rightarrow a$; ИП8 (П-Х8) $\rightarrow b$;

ИП9 (П-Х9) $\rightarrow \sigma_{\hat{Y}}$; ИПА (П-Ха) $\rightarrow \sigma_a$;

ИПB (П-Хb) $\rightarrow \sigma_b$.

Для расчетов доверительных интервалов по следующей программе следует записать значения:

ИП0 (П-Х0) $\rightarrow 1/n$; ИПС (П-Хс) $\rightarrow \bar{X}$;

ИПД (П-Хд) $\rightarrow Q_x$.

Для проведения расчетов уравнения регрессии для следующей выборки набрать соответствующее значение n , С/П и далее как указано выше. Пример приведен ниже к следующей программе.

2. Расчеты доверительных интервалов коэффициентов уравнения линейной регрессии и расчетного значения $\hat{Y}$ в зависимости от величины X .

Программа 115

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П6	Х-П6	46	27	×	×	12
01	ИП4	П-Хa	6-	28	ИП7	П-Х7	67
02	×	×	12	29	+	+	10
03	↑	В↑	0E	30	ПЗ	Х-ПЗ	43
04	ИП7	П-Х7	67	31	↔	↔	14
05	↔	↔	14	32	ИПС	П-Хс	61
06	—	—	11	33	—	—	11
07	П1	Х-П1	41	34	FX ²	FX ²	22
08	↔	↔	14	35	ИПД	П-Хд	6Г
09	ИП7	П-Х7	67	36	÷	÷	13
10	+	+	10	37	ИП0	П-Х0	60
11	П2	Х-П2	42	38	+	+	10
12	ИПВ	П-Хb	6L	39	F√	F√	21
13	ИП6	П-Х6	66	40	ИП9	П-Х9	69
14	×	×	12	41	×	×	12
15	↑	В↑	0E	42	П2	Х-П2	42
16	ИП8	П-Х8	68	43	ИПЗ	П-ХЗ	63
17	↔	↔	14	44	+	+	10
18	—	—	11	45	П5	Х-П5	45
19	ПЗ	Х-ПЗ	43	46	ИПЗ	П-ХЗ	63
20	↔	↔	14	47	ИП2	П-Х2	62
21	ИП8	П-Х8	68	48	—	—	11
22	+	+	10	49	П4	Х-П4	44
23	П4	Х-П4	44	50	С/П	С/П	50
24	С/П	С/П	50	51	БП	БП	51
25	↑	В↑	0E	52	25	25	25
26	ИП8	П-Х8	68				

Счет

В регистры памяти ввести основные характеристики уравнения регрессии, рассчитанные по предыдущей программе:

$a \rightarrow$ П7 (Х-П7); $b \rightarrow$ П8 (Х-П8); $\sigma_f \rightarrow$ П9 (Х-П9); $\sigma_a \rightarrow$ П4 (Х-Па); $\sigma_b \rightarrow$ ПВ (Х-Пb); $\bar{X} \rightarrow$ ПС (Х-Пс); $Q_x \rightarrow$ ПД (Х-Пд); $1/n \rightarrow$ П0 (Х-П0).

Набрать значение $t_{\alpha/2, n-2}$, соответствующее выбранному уровню значимости (см. прилож. 1), нажать С/П. После останова вызвать из регистров памяти начало и конец доверительных интервалов:

значения a — ИП1, ИП2 (П-Х1; П-Х2);

значения b — ИП3, ИП4 (П-ХЗ; П-Х4).

Для расчетов доверительных интервалов значения $\hat{Y}_x$ для фиксированных значений X набрать величину X , С/П. После останова: ИПЗ (П-ХЗ) $\rightarrow \hat{Y}$, соответствующий данному значению X ; ИП4, ИП5 (П-Х4, П-Х5) $\rightarrow$ начало и конец доверительного интервала $\hat{Y}$ для данного значения X .

Набрать следующее значение X , С/П. После останова определить расчетное значение и его доверительный интервал как сказано выше и т. д.

Для проведения расчетов, соответствующих другому уровню надежности, нажать В/о, набрать следующее значение t , С/П и далее, как указано выше.

Пример

X 1 2 3 4 5
 Y 2,9 5,1 6,9 9,1 10,9

$n=5$; $1/n=0,2$; $Q_x=10$; $a=0,98$; $b=2$; $\sigma_a=0,133$; $\sigma_b=0,04$; $\sigma_f=0,1265$.

Доверительные интервалы при $t=2,35$:

a $0,668 \div 1,292$;

b $1,906 \div 2,094$.

Доверительные интервалы расчетных значений $\hat{Y}_x$ при фиксированных X приведены ниже.

X 1 2 3 4 5
 $\hat{Y}$ 2,98 4,98 6,98 8,98 10,98
 Доверительный интервал 2,75—3,21 4,82—5,14 6,85—7,11 8,82—9,14 10,45—11,21

3. Регрессия $Y=aX$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2}$$

Программа 116

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	25	06	06	06
01	П6	Х-П6	46	26	ИП1	П-Х1	61
02	СХ	СХ	0Г	27	÷	÷	13
03	П1	Х-П1	41	28	П7	Х-П7	47
04	П2	Х-П2	42	29	FX ²	FX ²	22
05	ПЗ	Х-ПЗ	43	30	ИП1	П-Х1	61
06	С/П	С/П	50	31	+	+	10

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
07	П5	Х-П5	45	32	ИП7	П-Х7	67
08	FX^2	FX^2	22	33	ИП2	П-Х2	62
09	ИП3	П-Х3	63	34	×	×	12
10	+	+	10	35	2	2	02
11	П3	Х-П3	43	36	×	×	12
12	$\leftrightarrow$	$\leftrightarrow$	14	37	—	—	11
13	П4	Х-П4	44	38	ИП3	П-Х3	63
14	FX^2	FX^2	22	39	+	+	10
15	ИП1	П-Х1	61	40	ИП6	П-Х6	66
16	+	+	10	41	2	2	02
17	П1	Х-П1	41	42	—	—	11
18	ИП4	П-Х4	64	43	÷	÷	13
19	ИП5	П-Х5	65	44	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
20	×	×	12	45	ИП7	П-Х7	67
21	ИП2	П-Х2	62	46	С/П	С/П	50
22	+	+	10	47	БП	БП	51
23	П2	Х-П2	42	48	00	00	00
24	FL0	FL0	5Г				

Счет

Набрать: n , С/П. После останова вводить последовательно все пары X_i и Y_i : $X_1 \uparrow Y_1$, С/П ($X_1 \uparrow Y_1$, С/П), после останова $X_2 \uparrow Y_2$ С/П и т. д. После ввода всех значений X_i и Y_i и останова на индикаторе «а», нажать $\leftrightarrow$ ($\leftrightarrow$) — на индикаторе $\sigma_{\bar{Y}}$.

Пример

X 1 2 3 4 5
 Y 3 5,8 9,2 11,9 15,1

$a=3,005$; $\sigma_{\bar{Y}}=0,18$.

4. Регрессия $Y=a/X$

$$a = \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{X_i} / \sum_{i=1}^n \frac{1}{X_i^2}$$

Программа 117

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	25	FL0	FL0	5Г
01	П1	Х-П1	41	26	06	06	06
02	СХ	СХ	0Г	27	ИП2	П-Х2	62
03	П2	Х-П2	42	28	÷	÷	13
04	П3	Х-П3	43	29	П5	Х-П5	45
05	П4	Х-П4	44	30	FX^2	FX^2	62
06	С/П	С/П	50	31	ИП2	П-Х2	62
07	П7	Х-П7	47	32	×	×	12

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
08	FX^2	FX^2	22	33	ИП5	П-Х5	65
09	ИП4	П-Х4	64	34	ИП3	П-Х3	63
10	+	+	10	35	×	×	12
11	П4	Х-П4	44	36	2	2	02
12	$\leftrightarrow$	$\leftrightarrow$	14	37	×	×	12
13	П6	Х-П6	46	38	—	—	11
14	$F1/X$	$F1/X$	23	39	ИП4	П-Х4	64
15	FX^2	FX^2	22	40	+	+	10
16	ИП2	П-Х2	62	41	ИП1	П-Х1	61
17	+	+	10	42	2	2	02
18	П2	Х-П2	42	43	—	—	11
19	ИП7	П-Х7	67	44	÷	÷	13
20	ИП6	П-Х6	66	45	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
21	÷	÷	13	46	ИП5	П-Х5	65
22	ИП3	П-Х3	63	47	С/П	С/П	50
23	+	+	10	48	БП	БП	51
24	П3	Х-П3	43	49	00	00	00

Счет

Набрать: n , С/П. После останова ввести все значения X_i и Y_i попарно. После останова на индикаторе a , нажать $\leftrightarrow$, на индикаторе $\sigma_{\bar{Y}}$.

Пример

X 1 2 3 4 5
 Y 4 1,9 1,3 1,1 0,9

$a=3,99$; $\sigma_{\bar{Y}}=0,1$.

5. Регрессия $Y=X^m$

$$m = \sum_{i=1}^n \lg X_i \lg Y_i / \sum_{i=1}^n (\lg X_i)^2$$

Программа 118

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	27	06	06	06
01	П1	Х-П1	41	28	ИП2	П-Х2	62
02	СХ	СХ	0Г	29	÷	÷	13
03	П2	Х-П2	42	30	П4	Х-П4	44
04	П3	Х-П3	43	31	FX^2	FX^2	22
05	П4	Х-П4	44	32	ИП2	П-Х2	62
06	С/П	С/П	50	33	×	×	12
07	$F1g$	$F1g$	17	34	ИП5	П-Х5	65
08	П7	Х-П7	47	35	ИП4	П-Х4	64
09	FX^2	FX^2	22	36	×	×	12

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
10	ИПЗ	П-ХЗ	63	37	2	2	02
11	+	+	10	38	×	×	12
12	ПЗ	Х-ПЗ	43	39	—	—	11
13	↔	↔	14	40	ИПЗ	П-ХЗ	63
14	Flg	Flg	17	41	+	+	10
15	П6	Х-П6	46	42	ИП1	П-Х1	61
16	FX ²	FX ²	22	43	2	2	02
17	ИП2	П-Х2	62	44	—	—	11
18	+	+	10	45	÷	÷	13
19	П2	Х-П2	42	46	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
20	ИП6	П-Х6	66	47	П8	Х-П8	48
21	ИП7	П-Х7	67	48	F10X	F10X	15
22	×	×	12	49	ИП4	П-Х4	64
23	ИП5	П-Х5	65	50	С/П	С/П	50
24	+	+	10	51	БП	БП	51
25	П5	Х-П5	45	52	00	00	00
26	FL0	FL0	5Г				

Счет

Набрать: n , С/П, после останова — $X_1 \uparrow Y_1$, С/П, затем $X_2 \uparrow Y_2$, С/П и т. д. После ввода всех значений X_i и Y_i и останова на индикаторе m . Нажать клавишу $\leftrightarrow$ — на индикаторе $\sigma_{\bar{Y}}$ — «геометрический» стандарт, т. е. среднескватическая величина, показывающая во сколько раз расчетное значение Y может отличаться от действительного:

$$\sigma_{\bar{Y}} = 10^{\sigma_{\bar{Y}}}$$

Пример

X 1 2 3 4 5
 Y 1 7 28 60 130

 $m=2,987; \sigma_{\bar{Y}}=1,093.$
6. Регрессия $Y=b \lg X$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \lg X_i}{\sum_{i=1}^n (\lg X_i)^2}$$

Программа 119

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	25	FL0	FL0	5Г
01	П1	Х-П1	41	26	06	06	06
02	СХ	СХ	0Г	27	ИПЗ	П-ХЗ	63
03	ПЗ	Х-ПЗ	43	28	÷	÷	13
04	П4	Х-П4	44	29	П8	Х-П8	48

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
05	П5	Х-П5	45	30	FX ²	FX ²	22
06	С/П	С/П	50	31	ИПЗ	П-ХЗ	63
07	П7	Х-П7	47	32	×	×	12
08	FX ²	FX ²	22	33	ИП5	П-Х5	65
09	ИП4	П-Х4	64	34	ИП8	П-Х8	68
10	+	+	10	35	×	×	12
11	П4	Х-П4	44	36	2	2	02
12	↔	↔	14	37	×	×	12
13	Flg	Flg	17	38	—	—	11
14	П6	Х-П6	46	39	ИП4	П-Х4	64
15	FX ²	FX ²	22	40	+	+	10
16	ИПЗ	П-ХЗ	63	41	ИП1	П-Х1	61
17	+	+	10	42	2	2	02
18	ПЗ	Х-ПЗ	43	43	—	—	11
19	ИП6	П-Х6	66	44	÷	÷	13
20	ИП7	П-Х7	67	45	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
21	×	×	12	46	ИП8	П-Х8	68
22	ИП5	П-Х5	65	47	С/П	С/П	50
23	+	+	10	48	БП	БП	51
24	П5	Х-П5	45	49	00	00	00

Счет

Набрать: n , С/П. После останова $X_1 \uparrow Y_1$, С/П, затем $X_2 \uparrow Y_2$, С/П и т. д. После ввода всех значений X_i и Y_i и останова на индикаторе b , нажать $\leftrightarrow$ — на индикаторе $\sigma_{\bar{Y}}$.

Пример

X 2 3 4 5 6
 Y 0,6 0,9 1,1 1,3 1,5

 $b=1,886; \sigma_{\bar{Y}}=0,038.$
7. Регрессия $Y=a^X$

$$\lg a = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \lg Y_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2}$$

Программа 120

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	26	06	06	06
01	П1	Х-П1	41	27	ИП2	П-Х2	62
02	СХ	СХ	0Г	28	÷	÷	13
03	П2	Х-П2	42	29	П5	Х-П5	45
04	ПЗ	Х-ПЗ	43	30	FX ²	FX ²	22

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
05	П4	Х-П4	44	31	ИП2	П-Х2	62
06	С/П	С/П	50	32	×	×	12
07	Flg	Flg	17	33	ИП5	П-Х5	65
08	П7	Х-П7	47	34	ИП4	П-Х4	64
09	FX ²	FX ²	22	35	×	×	12
10	ИП3	П-Х3	63	36	2	2	02
11	+	+	10	37	×	×	12
12	П3	Х-П3	43	38	—	—	11
13	↔	↔	14	39	ИП3	П-Х3	63
14	П6	Х-П6	46	40	+	+	10
15	FX ²	FX ²	22	41	ИП1	П-Х1	61
16	ИП2	П-Х2	62	42	2	2	02
17	+	+	10	43	—	—	11
18	П2	Х-П2	42	44	÷	÷	13
19	ИП6	П-Х6	66	45	F√	F√	21
20	ИП7	П-Х7	67	46	F10X	F10X	15
21	×	×	12	47	ИП5	П-Х5	65
22	ИП4	П-Х4	64	48	F10X	F10X	15
23	+	+	10	49	С/П	С/П	50
24	П4	Х-П4	44	50	БП	БП	51
25	FL0	FL0	5Г	51	00	00	00

Счет

Набрать: n , С/П. После останова набрать $X_1 \uparrow Y_1$, С/П, затем $X_2 \uparrow Y_2$, С/П и т. д. После ввода всех значений X_i и Y_i и останова на индикаторе a , нажать $\leftrightarrow$, σ_y^2 .
ИП5 $\rightarrow$ lg a ; ИП8 $\rightarrow$ $\sigma_{\lg \hat{y}}$.

Пример

X 2 3 4 5 6
 Y 2,5 3,2 5 8 10

$a=1,4914$; $\sigma_y^2=1,105$.

8. Регрессия $Y=e^{mx}$

$$m = \sum_{i=1}^n (X_i \ln Y_i) / \sum_{i=1}^n X_i^2.$$

Программа 121

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	23	П4	Х-П4	44
01	П1	Х-П1	41	24	FL0	FL0	5Г
02	СХ	СХ	0Г	25	06	06	06

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
03	П2	Х-П2	42	26	ИП2	П-Х2	62
04	П3	Х-П3	43	27	÷	÷	13
05	П4	Х-П4	44	28	П5	Х-П5	45
06	С/П	С/П	50	29	ИП4	П-Х4	64
07	Fln	Fln	18	30	×	×	12
08	П7	Х-П7	47	31	ИП3	П-Х3	63
09	FX ²	FX ²	22	32	↔	↔	14
10	ИП3	П-Х3	63	33	—	—	11
11	+	+	10	34	ИП1	П-Х1	61
12	П3	Х-П3	43	35	2	2	02
13	↔	↔	14	36	—	—	11
14	П6	Х-П6	46	37	÷	÷	13
15	ИП2	П-Х2	62	38	F√	F√	21
16	+	+	10	39	ИП8	Х-П8	48
17	П2	Х-П2	42	40	Fe ^x	Fe ^x	16
18	ИП6	П-Х6	66	41	ИП5	П-Х5	65
19	ИП7	П-Х7	67	42	С/П	С/П	50
20	×	×	12	43	БП	БП	51
21	ИП4	П-Х4	64	44	00	00	00
22	+	+	10				

Счет

Набрать: n , С/П. После останова набрать $X_1 \uparrow Y_1$, С/П, затем $X_2 \uparrow Y_2$, С/П и т. д. После ввода всех значений X_i и Y_i и останова на индикаторе m , нажать $\leftrightarrow \rightarrow \sigma_y^2$, ИП8 $\rightarrow \sigma_{\ln \hat{y}}$.

Пример

X 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6
 Y 3 4 7 12 20

$m=4,949$; $\sigma_y^2=1,089$; $\sigma_{\ln \hat{y}}=0,085$.

9. Регрессия $Y=aX^m$

$$Q_{\lg X} = \sum_{i=1}^n (\lg X_i)^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \lg X_i \right)^2; \quad Q_{\lg Y} = \sum_{i=1}^n (\lg Y_i)^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \lg Y_i \right)^2;$$

$$Q_{\lg X \lg Y} = \sum_{i=1}^n (\lg X_i \lg Y_i) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg X_i \sum_{i=1}^n \lg Y_i;$$

$$m = Q_{\lg X \lg Y} / Q_{\lg X}; \quad \lg a = \left(\sum_{i=1}^n \lg Y_i - m \sum_{i=1}^n \lg X_i \right) / n;$$

$$\sigma_{\lg \hat{y}}^2 = (Q_{\lg Y} - m Q_{\lg X \lg Y}) / (n - 2).$$

Программа 122

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	X-П0	40	43	—	—	11
01	П1	X-П1	41	44	ПD	X-Пd	4Г
02	CX	CX	0Г	45	ИП4	П-X4	64
03	П2	X-П2	42	46	ИП2	П-X2	62
04	П3	X-П3	43	47	$F\overline{X}^2$	$F\overline{X}^2$	22
05	П4	X-П4	44	48	ИП1	П-X1	61
06	П5	X-П5	45	49	÷	÷	13
07	П6	X-П6	46	50	—	—	11
08	C/П	C/П	50	51	ПB	X-Пb	4L
09	Flg	Flg	17	52	÷	÷	13
10	ПC	ПC	4 [	53	П9	X-П9	49
11	ИП3	П-X3	63	54	ИП2	П-X2	62
12	+	+	10	55	×	×	12
13	П3	X-П3	43	56	ИП3	П-X3	63
14	↔	↔	14	57	↔	↔	14
15	Flg	Flg	17	58	—	—	11
16	ПB	X-Пb	4L	59	ИП1	П-X1	61
17	ИП2	П-X2	62	60	÷	÷	13
18	+	+	10	61	П7	X-П7	47
19	П2	X-П2	42	62	$F10X$	$F10X$	15
20	ИПB	П-Xb	6L	63	П8	X-П8	48
21	$F\overline{X}^2$	$F\overline{X}^2$	22	64	ИП5	П-X5	65
22	ИП4	П-X4	64	65	ИП3	П-X3	63
23	+	+	10	66	$F\overline{X}^2$	$F\overline{X}^2$	22
24	П4	X-П4	44	67	ИП1	П-X1	61
25	ИПС	П-Xc	6 [	68	÷	÷	13
26	$F\overline{X}^2$	$F\overline{X}^2$	22	69	—	—	11
27	ИП5	П-X5	65	70	ИП9	П-X9	69
28	+	+	10	71	ИПD	П-Xd	6Г
29	П5	X-П5	45	72	×	×	12
30	ИПB	П-Xb	6L	73	—	—	11
31	ИПС	П-Xc	6 [	74	ИП1	П-X1	61
32	×	×	12	75	2	2	02
33	ИП6	П-X6	66	76	—	—	11
34	+	+	10	77	÷	÷	13
35	П6	X-П6	46	78	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
36	$F\overline{L}0$	$F\overline{L}0$	5Г	79	ПA	X-Па	4—
37	08	08	08	80	$F10X$	$F10X$	15
38	ИП2	П-X2	62	81	ИП8	П-X8	68
39	ИП3	П-X3	63	82	C/П	C/П	50
40	×	×	12	83	БП	БП	51
41	ИП1	П-X1	61	84	00	00	00
42	÷	÷	13				

Счет

Набрать: n , C/П. После останова — $X_1 \uparrow Y_1$, C/П, затем $X_2 \uparrow Y_2$, C/П и т. д. После ввода всех значений X_i и Y_i и останова на индикаторе a , нажать $\leftrightarrow \rightarrow \sigma'_{\bar{Y}}$.

Вызвать из регистров памяти:

ИП9 (П-X9) $\rightarrow m$, ИП7 (П-X7) $\rightarrow \lg a$, ИПA (П-Xa) $\rightarrow \sigma_{\lg \bar{Y}}$.

Пример

X..... 2 3 4 5 6
Y..... 6 10 16 22 30

$$a=2,104; m=1,465; \sigma'_{\bar{Y}}=1,03; \sigma_{\lg \bar{Y}}=0,013.$$

10. Регрессия $Y=a+b \lg X$

$$Q_{\lg X} = \sum_{i=1}^n (\lg X_i)^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \lg X_i \right)^2;$$

$$Q_Y = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2;$$

$$Q_{Y \lg X} = \sum_{i=1}^n (Y_i \lg X_i) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg X_i \sum_{i=1}^n Y_i;$$

$$b = Q_{Y \lg X} / Q_{\lg X}; a = \left(\sum_{i=1}^n Y_i - b \sum_{i=1}^n \lg X_i \right) / n;$$

$$\sigma_{\bar{Y}}^2 = (Q_Y - b Q_{Y \lg X}) / (n-2).$$

Программа 123

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	X-П0	40	40	ИП1	П-X1	61
01	П1	X-П1	41	41	÷	÷	13
02	CX	CX	0Г	42	—	—	11
03	П2	X-П2	42	43	ПD	X-Пd	4Г
04	П3	X-П3	43	44	ИП4	П-X4	64
05	П4	X-П4	44	45	ИП2	П-X2	62
06	П5	X-П5	45	46	$F\overline{X}^2$	$F\overline{X}^2$	22
07	П6	X-П6	46	47	ИП1	П-X1	61
08	C/П	C/П	50	48	÷	÷	13
09	П8	X-П8	48	49	—	—	11
10	ИП3	П-X3	63	50	÷	÷	13
11	+	+	10	51	ПA	X-Па	4—
12	П3	X-П3	43	52	ИП5	П-X5	65
13	↔	↔	14	53	ИП3	П-X3	63
14	Flg	Flg	17	54	$F\overline{X}^2$	$F\overline{X}^2$	22
15	П7	X-П7	47	55	ИП1	П-X1	61
16	ИП2	П-X2	62	56	÷	÷	13
17	+	+	10	57	—	—	11
18	П2	X-П2	42	58	ИПA	П-Xa	6—
19	ИП7	П-X7	67	59	ИПD	П-Xd	6Г
20	$F\overline{X}^2$	$F\overline{X}^2$	22	60	×	×	12
21	ИП4	П-X4	64	61	—	—	11
22	+	+	10	62	ИП1	П-X1	61

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
23	П4	Х-П4	44	63	2	2	02
24	ИП8	П-Х8	68	64	—	—	11
25	FX ²	FX ²	22	65	÷	÷	13
26	ИП5	П-Х5	65	66	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
27	+	+	10	67	ИП3	П-Х3	63
28	П5	Х-П5	45	68	ИП2	П-Х2	62
29	ИП7	П-Х7	67	69	ИПА	П-Ха	6—
30	ИП8	П-Х8	68	70	×	×	12
31	×	×	12	71	—	—	11
32	ИП6	П-Х6	66	72	ИП1	П-Х1	61
33	+	+	12	73	÷	÷	13
34	П6	Х-П6	46	74	ИПА	П-Ха	6—
35	FL0	FL0	5Г	75	С/П	С/П	50
36	08	08	08	76	БП	БП	51
37	ИП2	П-Х2	62	77	00	00	00
38	ИП3	П-Х3	63				
39	×	×	12				

Счет

Набрать: n , С/П. После останова набрать $X_1 \uparrow Y_1$, С/П, затем $X_2 \uparrow Y_2$, С/П и т. д. После ввода всех значений X_i и Y_i и останова на индикаторе b , нажать $\rightleftharpoons \rightarrow a$, ИПВ $\rightarrow \sigma'_Y$.

Пример

X 2 3 4 5 6
 Y 5 7 8 9 10

$a=1,99$; $b=9,94$; $\sigma'_Y=0,36$.

11. Регрессия $Y=e^{a+bX}$

$$Q_X = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2;$$

$$Q_{\ln Y} = \sum_{i=1}^n (\ln Y_i)^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \ln Y_i \right)^2;$$

$$Q_{X \ln Y} = \sum_{i=1}^n X_i \ln Y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n \ln Y_i;$$

$$b = Q_{X \ln Y} / Q_X; \quad a = \left(\sum_{i=1}^n \ln Y_i - b \sum_{i=1}^n X_i \right) / n;$$

$$\sigma_{\ln Y}^2 = (Q_{\ln Y} - b Q_{X \ln Y}) / (n-2).$$

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	41	÷	÷	13
01	П1	Х-П1	41	42	—	—	11
02	СХ	СХ	0Г	43	ПС	Х-Пс	4 [
03	П2	Х-П2	42	44	ИП4	П-Х4	64
04	П3	Х-П3	43	45	ИП2	П-Х2	62
05	П4	Х-П4	44	46	FX ²	FX ²	22
06	П5	Х-П5	45	47	ИП1	П-Х1	61
07	П6	Х-П6	46	48	÷	÷	13
08	С/П	С/П	50	49	—	—	11
09	Fln	Fln	18	50	÷	÷	13
10	П8	Х-П8	48	51	П9	Х-П9	49
11	ИП3	П-Х3	63	52	ИП5	П-Х5	65
12	+	+	10	53	ИП3	П-Х3	63
13	П3	Х-П3	43	54	FX ²	FX ²	22
14	$\rightleftharpoons$	$\rightleftharpoons$	14	55	ИП1	П-Х1	61
15	П7	Х-П7	47	56	÷	÷	13
16	ИП2	П-Х2	62	57	—	—	11
17	+	+	10	58	ИП9	П-Х9	69
18	П2	Х-П2	42	59	ИПС	П-Хс	6 [
19	ИП7	П-Х7	67	60	×	×	12
20	FX ²	FX ²	22	61	—	—	11
21	ИП4	П-Х4	64	62	ИП1	П-Х1	61
22	+	+	10	63	2	2	02
23	П4	Х-П4	44	64	—	—	11
24	ИП8	П-Х8	68	65	÷	÷	13
25	FX ²	FX ²	22	66	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
26	ИП5	П-Х5	65	67	ПА	Х-Па	4—
27	+	+	10	68	Fe ^x	Fe ^x	16
28	П5	Х-П5	45	69	ПВ	Х-Пб	4L
29	ИП7	П-Х7	67	70	ИП3	П-Х3	63
30	ИП8	П-Х8	68	71	ИП2	П-Х2	62
31	×	×	1	72	ИП9	П-Х9	69
32	ИП6	П-Х6	66	73	×	×	12
33	+	+	10	74	—	—	11
34	П6	Х-П6	46	75	ИП1	П-Х1	61
35	FL0	FL0	5Г	76	÷	÷	13
36	08	08	08	77	ИП9	П-Х9	69
37	ИП2	П-Х2	62	78	С/П	С/П	50
38	ИП3	П-Х3	63	79	БП	БП	51
39	×	×	12	80	00	00	00
40	ИП1	П-Х1	61				

Счет

Набрать: n , С/П. После останова — $X_1 \uparrow Y_1$, С/П, затем $X_2 \uparrow Y_2$, С/П и т. д. После ввода всех значений X_i и Y_i и останова на индикаторе b , нажать $\rightleftharpoons$ на индикаторе a .

Вызвать из регистров памяти:

ИПА (П-Ха) $\rightarrow \sigma_{\ln Y}$; ИПВ (П-Хб) $\rightarrow \sigma'_Y$.

Пример

X 2 3 4 5 6
 Y 4 5 6 7 9
 $a=5,01$; $b=0,196$; $\sigma_{\ln \hat{Y}}=0,019$; $\sigma'_{\hat{Y}}=1,019$.

12. Регрессия $Y=ae^{bX}$

$$Q_X = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2; \quad Q_{\ln Y} = \sum_{i=1}^n (\ln Y_i)^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \ln Y_i \right)^2;$$

$$Q_{X \ln Y} = \sum_{i=1}^n X_i \ln Y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n \ln Y_i;$$

$$b = Q_{X \ln Y} / Q_X; \quad \ln a = \left(\sum_{i=1}^n \ln Y_i - b \sum_{i=1}^n X_i \right) / n;$$

$$\sigma_{\ln \hat{Y}}^2 = (Q_{\ln Y} - Q_{X \ln Y}) / (n-2).$$

Программа 125

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	41	—	—	11
01	П1	Х-П1	41	42	ПС	Х-ПС	4
02	СХ	СХ	0Г	43	ИП4	П-Х4	64
03	П2	Х-П2	42	44	ИП2	П-Х2	62
04	П3	Х-П3	43	45	FX ²	FX ²	22
05	П4	Х-П4	44	46	ИП1	П-Х1	61
06	П5	Х-П5	45	47	÷	÷	13
07	П6	Х-П6	46	48	—	—	11
08	С/П	С/П	50	49	÷	÷	13
09	П8	Х-П8	48	50	П9	Х-П9	49
10	ИП3	П-Х3	63	51	ИПС	П-Хс	6
11	+	+	10	52	×	×	12
12	П3	Х-П3	43	53	ИП5	П-Х5	65
13	↔	↔	14	54	ИП3	П-Х3	63
14	П7	Х-П7	47	55	FX ²	FX ²	22
15	ИП2	П-Х2	62	56	ИП1	П-Х1	61
16	+	+	10	57	÷	÷	13
17	П2	Х-П2	42	58	—	—	11
18	ИП7	П-Х7	67	59	↔	↔	14
19	FX ²	FX ²	22	60	—	—	11
20	ИП4	П-Х4	64	61	ИП1	П-Х1	61
21	+	+	10	62	2	2	02
22	П4	Х-П4	44	63	—	—	11
23	ИП8	П-Х8	68	64	÷	÷	13
24	FX ²	FX ²	22	65	F√	F√	21
25	ИП5	П-Х5	65	66	ПА	Х-Па	4—
26	+	+	10	67	Fe ^x	Fe ^x	16
27	П5	Х-П5	45	68	ПВ	Х-Пв	4L
28	ИП7	П-Х7	67	69	ИП3	П-Х3	63
29	ИП8	П-Х8	68	70	ИП2	П-Х2	62
30	×	×	12	71	ИП9	П-Х9	69
31	ИП6	П-Х6	66	72	×	×	12

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
32	+	+	10	73	—	—	11
33	П6	Х-П6	46	74	ИП1	П-Х1	61
34	FL0	FL0	5Г	75	÷	÷	13
35	08	08	08	76	Fe ^x	Fe ^x	16
36	ИП2	П-Х2	62	77	ИП9	П-Х9	69
37	ИП3	П-Х3	63	78	С/П	С/П	50
38	×	×	12	79	БП	БП	51
39	ИП1	П-Х1	61	80	00	00	00
40	÷	÷	13				

Счет

Набрать: n , С/П. После останова — $X_1 \uparrow Y_1$, С/П, далее $X_2 \uparrow Y_2$, С/П и т. д. После ввода всех значений X_i и Y_i и останова на индикаторе b , нажать $\rightarrow$ на индикаторе a .

Вызвать из регистров памяти:

ИПВ(П-Х b) $\rightarrow$ σ_Y^2 ; ИПА(П-Х a) $\rightarrow$ $\sigma_{\ln \hat{Y}}$.

Пример

X 2 3 4 5 6
 Y 4 5 6 7 9
 $\ln a=5,01$; $b=0,196$; $\sigma_{\ln \hat{Y}}=0,019$; $\sigma'_{\hat{Y}}=1,019$.

13. Регрессия $Y=a+b/X$

Для определения параметров уравнения могут быть составлены две системы уравнений:

$$\begin{cases}
 1. \begin{cases} an + b \sum_{i=1}^n \frac{1}{X_i} = \sum_{i=1}^n Y_i \\ a \sum_{i=1}^n \frac{1}{X_i} + b \sum_{i=1}^n \frac{1}{X_i^2} = \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{X_i} \end{cases} \\
 2. \begin{cases} a \sum_{i=1}^n X_i + bn = \sum_{i=1}^n X_i Y_i \\ a \sum_{i=1}^n X_i^2 + b \sum_{i=1}^n X_i = \sum_{i=1}^n X_i^2 Y_i \end{cases}
 \end{cases}$$

Для выбора оптимальных значений коэффициентов, соответствующих данной выборке, должны быть реализованы оба варианта. Принимаются те значения коэффициентов, которые для данной выборки приводят к минимальному значению σ_Y .

Вычисления проводятся в два этапа. На первом этапе (программа 126) определяются коэффициенты уравнения регрессии в двух вариантах. На втором этапе — оценка величин σ_Y для обоих вариантов и окончательный выбор коэффициентов, соответствующих минимальному значению σ_Y .

Программа 126

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	С/П	С/П	50	49	ИП6	П-Х6	66
01	ПЗ	Х-ПЗ	43	50	ИП9	П-Х9	69
02	ИП7	П-Х7	67	51	×	×	12
03	+	+	10	52	—	—	11
04	П7	Х-П7	47	53	ИП8	П-Х8	68
05	↔	↔	14	54	ИП1	П-Х1	61
06	П2	Х-П2	42	55	×	×	12
07	ИП4	П-Хa	6—	56	ИП6	П-Х6	66
08	+	+	10	57	FX^2	FX^2	22
09	ПА	Х-Па	4—	58	—	—	11
10	ИП2	П-Х2	62	59	П0	Х-П0	40
11	$F1/X$	$F1/X$	23	60	÷	÷	13
12	ИП6	П-Х6	66	61	П2	Х-П2	42
13	+	+	10	62	ИП1	П-Х1	61
14	П6	Х-П6	46	63	ИП9	П-Х9	69
15	ИП2	П-Х2	62	64	×	×	12
16	FX^2	FX^2	22	65	ИП7	П-Х7	67
17	ИПС	П-Хc	6 [	66	ИП6	П-Х6	66
18	+	+	10	67	×	×	12
19	ПС	Х-Пc	4 [	68	—	—	11
20	ИП3	П-Х3	63	69	ИП0	П-Х0	60
21	ИП2	П-Х2	62	70	÷	÷	13
22	÷	÷	13	71	ПЗ	Х-ПЗ	43
23	ИП9	П-Х9	69	72	ИПВ	П-Хb	6L
24	+	+	10	73	ИП4	П-Хa	6—
25	П9	Х-П9	49	74	×	×	12
26	ИП3	П-Х3	63	75	ИП1	П-Х1	61
27	ИП2	П-Х2	62	76	ИПD	П-Хd	6Г
28	×	×	12	77	×	×	12
29	ИПВ	П-Хb	6L	78	—	—	11
30	+	+	10	79	ИП4	П-Хa	6—
31	ПВ	Х-Пb	4L	80	FX^2	FX^2	22
32	ИП2	П-Х2	62	81	ИП1	П-Х1	61
33	FX^2	FX^2	22	82	ИПС	П-Хc	6 [
34	ИП3	П-Х3	63	83	×	×	12
35	+	+	10	84	—	—	11
36	ИПD	П-Хd	6Г	85	П0	Х-П0	40
37	+	+	10	86	÷	÷	13
38	ПD	Х-Пd	4Г	87	П4	Х-П4	44
39	ИП2	П-Х2	62	88	ИП4	П-Хa	6—
40	$F1/X$	$F1/X$	23	89	ИПD	П-Хd	6Г
41	FX^2	FX^2	22	90	×	×	12
42	ИП8	П-Х8	68	91	ИПС	П-Хc	6 [
43	+	+	10	92	ИПВ	П-Хb	6L
44	П8	Х-П8	48	93	×	×	12
45	$FL0$	$FL0$	5Г	94	—	—	11
46	00	00	00	95	ИП0	П-Х0	60
47	ИП7	П-Х7	67	96	÷	÷	13
48	×	×	12	97	С/П	С/П	50

Счет

Очистить регистры памяти: СХ; П6; П7; П8; П9; ПА; ПВ; ПС; ПD; (СХ; Х-П6; Х-П7; Х-П8; Х-П9; Х-Па; Х-Пb; Х-Пc; Х-Пd).

Ввести n в регистры памяти 0 и 1.

Набрать n , нажать П0, П1 (Х-П0, Х-П1). Нажать С/П. После останова набрать $X_1 \uparrow Y_1$, С/П ($X_1 \uparrow Y_1$, С/П), затем после останова $X_2 \uparrow Y_2$, С/П и т. д. После ввода всех значений X_i и Y_i и останова на индикаторе b_2 . Вызвать из регистров памяти: ИП2 $\rightarrow a_1$; ИП3 $\rightarrow b_1$; ИП4 $\rightarrow a_2$ (П-Х2 $\rightarrow a_1$; П-Х3 $\rightarrow b_1$; П-Х4 $\rightarrow a_2$). Определение величины σ_i для обоих вариантов осуществляется с помощью программы 127.

Для перехода к вычислениям коэффициентов уравнения регрессии для следующей выборки: нажать В/о, очистить регистры памяти 6, 7, 8, 9, А, В, С, D, ввести значение n в регистры 0 и 1 и далее, как сказано выше.

Программа 127

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	$\uparrow$	$B \uparrow$	0E	26	FX^2	FX^2	22
01	СХ	СХ	0Г	27	ИП7	П-Х7	67
02	П1	Х-П1	41	28	+	+	10
03	П6	Х-П6	46	29	П7	Х-П7	47
04	П7	Х-П7	47	30	ИП1	П-Х1	61
05	$FL0$	$FL0$	25	31	+	+	10
06	П0	Х-П0	40	32	П1	Х-П1	41
07	↔	↔	14	33	С/П	С/П	50
08	ПА	Х-Па	4—	34	БП	БП	51
09	ИП3	П-Х3	63	35	06	06	06
10	↔	↔	14	36	2	2	02
11	÷	÷	13	37	—	—	11
12	ИП2	П-Х2	62	38	П1	Х-П1	41
13	+	+	10	39	ИП7	П-Х7	67
14	—	—	11	40	↔	↔	14
15	FX^2	FX^2	22	41	÷	÷	13
16	ИП6	П-Х6	66	42	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
17	+	+	10	43	П7	Х-П7	47
18	П6	Х-П6	46	44	ИП6	П-Х6	66
19	ИП0	П-Х0	60	45	ИП1	П-Х1	61
20	ИП3	П-Х3	63	46	÷	÷	13
21	ИП4	П-Хa	6—	47	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
22	÷	÷	13	48	П6	Х-П6	46
23	ИП2	П-Х2	62	49	С/П	С/П	50
24	+	+	10	50	БП	БП	51
25	—	—	11	51	00	00	00

Счет

Ввести в регистры памяти коэффициенты уравнения регрессии (13), полученные в результате вычислений по предыдущей программе: $a_1 \rightarrow П2$ (Х-П2); $b_1 \rightarrow П3$ (Х-П3); $a_2 \rightarrow П4$ (Х-П4); $b_2 \rightarrow П5$ (Х-П5).

Набрать: $X_1 \uparrow Y_1$, С/П ($X_1 \uparrow Y_1$, С/П). После останова $X_2 \uparrow Y_2$, С/П ($X_2 \uparrow Y_2$, С/П) и т.д. После ввода всех значений X_i и Y_i и останова нажать БП 36, С/П. После останова на индикаторе σ_1 , нажать $\rightleftharpoons \rightarrow \sigma_2$. Выбрать вариант (a_1 и b_1 или a_2 и b_2) по минимальному σ .

Пример

X 1 2 3 4 5
 Y 7 5 4 3 3

$a=2,082$; $b=5,0766$; $\sigma_f=0,343$.

14. Регрессия $Y=1/(a+bX)$

Аналогично предыдущему случаю должны быть оценены два варианта вычислений коэффициентов уравнения:

$$1. \begin{cases} an+b \sum_{i=1}^n X_i = \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i} \\ a \sum_{i=1}^n X_i + b \sum_{i=1}^n X_i^2 = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{Y_i}; \end{cases}$$

$$2. \begin{cases} a \sum_{i=1}^n Y_i^2 + b \sum_{i=1}^n X_i Y_i^2 = \sum_{i=1}^n Y_i \\ a \sum_{i=1}^n X_i Y_i^2 + b \sum_{i=1}^n X_i^2 Y_i^2 = \sum_{i=1}^n X_i Y_i. \end{cases}$$

Выбор лучшего варианта для данной выборки осуществляется по минимальному значению σ_f . Расчеты производятся в два этапа: сначала по программе 128 вычисляют коэффициенты уравнения регрессии, затем по программе 129 определяют значения σ_f для обоих вариантов.

Программа 128

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	С/П	С/П	50	49	П7	Х-П7	47
01	П4	Х-П4	44	50	FL0	FL0	5Г
02	ИПС	П-Хс	6 [	51	00	00	00
03	+	+	10	52	ПП	ПП	53
04	ПС	Х-Пс	4 [	53	71	71	71
05	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14	54	П3	Х-П3	43
06	П3	Х-П3	43	55	ИПС	П-Хс	6 [
07	ИП6	Х-П6	66	56	П7	Х-П7	47
08	+	+	10	57	ИПД	П-Хд	6Г
09	П6	Х-П6	46	58	П8	Х-П8	48
10	ИП3	П-Х3	63	59	ИП5	П-Х5	65
11	FX ²	FX ²	22	60	П9	Х-П9	49

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
12	ИП8	П-Х8	68	61	ИПВ	П-Хв	6L
13	+	+	10	62	П6	Х-П6	46
14	П8	Х-П8	48	63	ИП4	П-Х4	6—
15	ИП4	П-Х4	64	64	П1	Х-П1	41
16	FX ²	FX ²	22	65	ИП4	П-Х4	64
17	ИП4	П-Х4	6—	66	П2	Х-П2	42
18	+	+	10	67	ПП	ПП	53
19	П4	Х-П4	4—	68	71	71	71
20	ИП3	П-Х3	63	69	П5	Х-П5	45
21	ИП4	П-Х4	64	70	С/П	С/П	50
22	×	×	12	71	ИП7	П-Х7	67
23	↑	В↑	0E	72	ИП8	П-Х8	68
24	FX ²	FX ²	22	73	×	×	12
25	ИПД	П-Хд	6Г	74	ИП6	П-Х6	66
26	+	+	10	75	ИП9	П-Х9	69
27	ПД	Х-Пд	4Г	76	×	×	12
28	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14	77	—	—	11
29	ИП5	П-Х5	65	78	ИП8	П-Х8	68
30	+	+	10	79	ИП1	П-Х1	61
31	П5	Х-П5	45	80	×	×	12
32	ИП3	П-Х3	63	81	ИП6	П-Х6	66
33	ИП4	П-Х4	64	82	FX ²	FX ²	22
34	÷	÷	13	83	—	—	11
35	ИП9	П-Х9	69	84	П0	Х-П0	40
36	+	+	10	85	÷	÷	13
37	П9	Х-П9	49	86	П4	Х-П4	44
38	ИП3	П-Х3	63	87	ИП1	П-Х1	61
39	ИП4	П-Х4	64	88	ИП9	П-Х9	69
40	FX ²	FX ²	22	89	×	×	12
41	×	×	12	90	ИП6	П-Х6	66
42	ИПВ	П-Хв	6L	91	ИП7	П-Х7	67
43	+	+	10	92	×	×	12
44	ПВ	Х-Пв	4L	93	—	—	11
45	ИП4	П-Х4	64	94	ИП0	П-Х0	60
46	F1/X	F1/X	23	95	÷	÷	13
47	ИП7	П-Х7	67	96	В/о	В/о	52
48	+	+	10				

Счет

Очистить регистры памяти: СХ, П5, П6, П7, П8, П9, ПА, ПВ, ПС, ПД (СХ, Х-П5, Х-П6, Х-П7, Х-П8, Х-П9, Х-Па, Х-Пв, Х-Пс, Х-Пд). Ввести в регистры памяти значение n : n , П0, П1 (n , Х-П0, Х-П1). Нажать С/П. После останова набрать: $X_1 \uparrow Y_1$, С/П, после останова $X_2 \uparrow Y_2$, С/П и т.д.

После ввода всех значений X_i и Y_i и останова ИП2 $\rightarrow a_1$, ИП3 $\rightarrow b_1$, ИП4 $\rightarrow a_2$, ИП5 $\rightarrow b_2$.

Вычисление значения σ_f для этих двух вариантов производится по программе 129.

Программа 129

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	↑	B↑	0E	27	FX ²	FX ²	22
01	CX	CX	0Г	28	ИП7	П-Х7	67
02	П1	Х-П1	41	29	+	+	10
03	П6	Х-П6	46	30	П7	Х-П7	47
04	П7	Х-П7	47	31	ИП1	П-Х1	61
05	F0	F0	25	32	1	1	01
06	П9	Х-П9	49	33	+	+	10
07	↔	↔	14	34	П1	Х-П1	41
08	П8	Х-П8	48	35	С/П	С/П	50
09	ИП3	П-Х3	63	36	БП	БП	51
10	×	×	12	37	06	06	06
11	ИП2	П-Х2	62	38	ИП6	П-Х6	66
12	+	+	10	39	ИП1	П-Х1	61
13	F1/X	F1/X	23	40	2	2	02
14	-	-	11	41	-	-	11
15	FX ²	FX ²	22	42	П1	Х-П1	41
16	ИП6	П-Х6	66	43	÷	÷	13
17	+	+	10	44	F√	F√	21
18	П6	Х-П6	46	45	П6	Х-П6	46
19	ИП9	П-Х9	69	46	ИП7	П-Х7	67
20	ИП8	П-Х8	68	47	ИП1	П-Х1	61
21	ИП5	П-Х5	65	48	÷	÷	13
22	×	×	12	49	F√	F√	21
23	ИП4	П-Х4	64	50	П7	Х-П7	47
24	+	+	10	51	С/П	С/П	50
25	F1/X	F1/X	23	52	БП	БП	51
26	-	-	11	53	00	00	00

Счет

Ввести в регистры памяти: $a_1 \rightarrow \text{П2}(\text{Х-П2})$, $b_1 \rightarrow \text{П3}(\text{Х-П3})$, $a_2 \rightarrow \text{П4}(\text{Х-П4})$, $b_2 \rightarrow \text{П5}(\text{Х-П5})$.

Набрать: $X_1 \uparrow Y_1$, С/П (X_1 B↑ Y_1 , С/П), после останова $X_2 \uparrow Y_2$, С/П и т. д. После ввода всех значений X_i и Y_i и останова набрать БП 38, С/П. После останова на индикаторе σ_2 , нажать ↔ (↔), на индикаторе σ_1 .

Пример

X 1 2 3 4 5
Y 2 1,4 1,1 0,9 0,8

$a_1=0,33$; $b_1=0,19$; $\sigma_1=0,05$; $a_2=0,31$; $b_2=0,2$; $\sigma_2=0,03$.

15. Регрессия $Y=X/(a+bX)$

Расчет параметров уравнения проводится по двум вариантам:

$$1. \begin{cases} an+b \sum_{i=1}^n X_i = \sum_{i=1}^n (X_i/Y_i) \\ a \sum_{i=1}^n X_i + b \sum_{i=1}^n X_i^2 = \sum_{i=1}^n (X_i^2/Y_i); \end{cases}$$

$$2. \begin{cases} a \sum_{i=1}^n Y_i^2 + b \sum_{i=1}^n X_i Y_i^2 = \sum_{i=1}^n X_i Y_i \\ a \sum_{i=1}^n X_i Y_i^2 + b \sum_{i=1}^n X_i^2 Y_i^2 = \sum_{i=1}^n X_i^2 Y_i. \end{cases}$$

Вычисления проводят в два этапа: вначале определяют коэффициенты уравнения в двух вариантах по программе 130; затем по программе 131 вычисляют значения σ_f для обоих вариантов для выбора оптимального вида уравнения.

Программа 130

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	С/П	С/П	50	48	FL0	FL0	5Г
01	П4	Х-П4	44	49	00	00	00
02	↔	↔	14	50	ПП	ПП	53
03	П3	Х-П3	43	51	69	69	69
04	×	×	12	52	П3	Х-П3	43
05	↑	B↑	0E	53	ИП9	П-Х9	69
06	ИП9	П-Х9	69	54	П5	Х-П5	45
07	+	+	10	55	ИП4	П-Х4	64
08	П9	Х-П9	49	56	П6	Х-П6	46
09	↔	↔	14	57	ИП8	П-Х8	68
10	FX ²	FX ²	22	58	П7	Х-П7	47
11	ИП4	П-Х4	64	59	ИП5	П-Х5	65
12	+	+	10	60	П1	Х-П1	41
13	П4	Х-П4	44	61	ИП4	П-Х4	64
14	ИП3	П-Х3	63	62	П2	Х-П2	42
15	ИП4	П-Х4	64	63	ПП	ПП	53
16	÷	÷	13	64	69	69	69
17	ИП5	П-Х5	65	65	П5	Х-П5	45
18	+	+	10	66	С/П	С/П	50
19	П5	Х-П5	45	67	БП	БП	51
20	ИП3	П-Х3	63	68	00	00	00
21	FX ²	FX ²	22	69	ИП5	П-Х5	65
22	ИП6	П-Х6	66	70	ИП6	П-Х6	66
23	+	+	10	71	×	×	12
24	П6	Х-П6	46	72	ИП7	П-Х7	67
25	ИП3	П-Х3	63	73	ИП8	П-Х8	68
26	ИП7	П-Х7	67	74	×	×	12
27	+	+	10	75	-	-	11
28	П7	Х-П7	47	76	ИП1	П-Х1	61
29	ИП3	П-Х3	63	77	ИП6	П-Х6	66
30	FX ²	FX ²	22	78	×	×	12
31	ИП4	П-Х4	64	79	ИП7	П-Х7	67
32	×	×	12	80	FX ²	FX ²	22

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
33	ИП8	П-Х8	68	81	—	—	11
34	+	+	10	82	П0	Х-П0	40
35	П8	Х-П8	48	83	÷	÷	13
36	ИП4	П-Х4	64	84	П4	Х-П4	44
37	FX ²	FX ²	22	85	ИП1	П-Х1	61
38	ИП3	П-Х3	63	86	ИП8	П-Х8	68
39	×	×	12	87	×	×	14
40	ИПВ	П-ХВ	6L	88	ИП7	П-Х7	67
41	+	+	10	89	ИП5	П-Х5	65
42	ПВ	Х-ПВ	4L	90	×	×	14
43	ИП4	П-Х4	64	91	—	—	11
44	FX ²	FX ²	22	92	ИП0	П-Х0	60
45	ИПС	П-ХС	6I	93	÷	÷	13
46	+	+	10	94	В/о	В/о	52
47	ПС	Х-ПС	4I				

Счет

Очистить регистры памяти: СХ, П5 П6, П7, П8, П9, ПА, ПВ, ПС (СХ, Х-П5, Х-П6, Х-П7, Х-П8, Х-П9, Х-ПА, Х-ПВ, Х-ПС). Ввести n в регистры памяти: n , П0, П1 (n , Х-П0, Х-П1). Нажать С/П.

После останова набрать $X_1 \uparrow Y_1$, С/П, после останова $X_2 \uparrow Y_2$, С/П и т. д. После ввода всех значений X_i и Y_i и останова вызвать из регистров памяти: ИП2 (П-Х2) $\rightarrow a_1$; ИП3 (П-Х3) $\rightarrow b_1$; ИП4 (П-Х4) $\rightarrow a_2$; ИП5 (П-Х5) $\rightarrow b_2$. Для выбора лучшего варианта по программе 131 рассчитать значения σ_1 и σ_2 .

Программа 131

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	↑	В↑	0E	28	—	—	13
01	СХ	СХ	0G	29	FX ²	FX ²	22
02	П1	Х-П1	41	30	ИП7	П-Х7	67
03	П6	Х-П6	46	31	+	+	10
04	П7	Х-П7	47	32	П7	Х-П7	47
05	F0	F0	25	33	ИП1	П-Х1	61
06	П9	Х-П9	49	34	1	1	01
07	↔	↔	14	35	+	+	10
08	П8	Х-П8	48	36	П1	Х-П1	41
09	↑	В↑	0E	37	С/П	С/П	50
10	ИП3	П-Х3	63	38	БП	БП	51
11	×	×	12	39	06	06	06
12	ИП2	П-Х2	62	40	ИП6	П-Х6	66
13	+	+	10	41	ИП1	П-Х1	61
14	÷	÷	13	42	2	2	02

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
15	—	—	11	43	—	—	11
16	FX ²	FX ²	22	44	П1	Х-П1	41
17	ИП6	П-Х6	66	45	÷	÷	13
18	+	+	10	46	F√	F√	21
19	П6	Х-П6	46	47	П6	Х-П6	46
20	ИП9	П-Х9	69	48	ИП7	П-Х7	67
21	ИП8	П-Х8	68	49	ИП1	П-Х1	61
22	↑	В↑	0E	50	÷	÷	13
23	ИП5	П-Х5	65	51	F√	F√	21
24	×	×	12	52	П7	Х-П7	47
25	ИП4	П-Х4	64	53	С/П	С/П	50
26	+	+	10	54	БП	БП	51
27	÷	÷	13	55	00	00	00

Счет

Ввести в регистры памяти: $a_1 \rightarrow \text{П2 (Х-П2)}$; $b_1 \rightarrow \text{П3 (Х-П3)}$; $a_2 \rightarrow \text{П4 (Х-П4)}$; $b_2 \rightarrow \text{П5 (Х-П5)}$. Набрать: $X_1 \uparrow Y_1$, С/П, после останова $X_2 \uparrow Y_2$, С/П и т. д. После ввода всех значений X_i и Y_i и останова набрать БП 40, С/П. После останова на индикаторе σ_2 , нажать $\leftrightarrow \rightarrow \sigma_1$.

Пример

X 1 2 3 4 5
 Y 3,3 4,0 4,3 4,4 4,5

$a_1 = 0,0967$; $b_1 = 0,02025$; $\sigma_1 = 0,035$;
 $a_2 = 0,0949$; $b_2 = 0,203$; $\sigma_2 = 0,04$.

16. Регрессия $Y = ab^X$; $\ln Y = \ln a + X \ln b$

$$Q_X = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2;$$

$$Q_{\ln Y} = \sum_{i=1}^n (\ln Y_i)^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \ln Y_i \right)^2;$$

$$Q_{X \ln Y} = \sum_{i=1}^n X_i \ln Y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n \ln Y_i;$$

$$\ln a = \left(\sum_{i=1}^n \ln Y_i - b \sum_{i=1}^n X_i \right) / n; \quad b = Q_{X \ln Y} / Q_X;$$

$$\sigma_{\ln Y}^2 = (Q_{\ln Y} - b Q_{X \ln Y}) / (n-2).$$

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	СХ	СХ	0Г	49	П2	Х-П2	42
01	П7	Х-П7	47	50	Fe ^x	Fe ^x	16
02	П8	Х-П8	48	51	П4	Х-П4	44
03	П9	Х-П9	49	52	ИП1	П-Х1	61
04	ПА	Х-Па	4—	53	ИПА	П-Ха	6—
05	ПВ	Х-Пb	4L	54	×	×	12
06	С/П	С/П	50	55	ИП7	П-Х7	67
07	Fln	Fln	18	56	ИП8	П-Х8	68
08	PD	Х-Пd	4Г	57	×	×	12
09	↔	↔	14	58	—	—	11
10	ПС	Х-Пc	4[	59	ИП0	П-Х0	60
11	×	×	12	60	÷	÷	13
12	ИПА	П-Ха	6—	61	П3	Х-П3	43
13	+	+	10	62	Fe ^x	Fe ^x	16
14	ПА	Х-Па	4—	63	П5	Х-П5	45
15	ИПС	П-Хc	6[	64	ИП7	П-Х7	67
16	ИП7	П-Х7	67	65	ИП3	П-Х3	63
17	+	+	10	66	×	×	12
18	П7	Х-П7	47	67	ИП8	П-Х8	68
19	ИПС	П-Хc	6Г	68	—	—	11
20	FX ²	FX ²	22	69	ИП2	П-Х2	62
21	ИП9	П-Х9	69	70	×	×	12
22	+	+	10	71	ИПА	П-Ха	6—
23	П9	Х-П9	49	72	ИП3	П-Х3	63
24	ИПД	П-Хd	6Г	73	×	×	12
25	FX ²	FX ²	22	74	—	—	11
26	ИПВ	П-Хb	6L	75	2	2	02
27	+	+	10	76	×	×	12
28	ПВ	Х-Пb	4L	77	ИП1	П-Х1	61
29	ИПД	П-Хd	6Г	78	ИП2	П-Х2	62
30	ИП8	П-Х8	68	79	FX ²	FX ²	22
31	+	+	10	80	×	×	12
32	П8	Х-П8	48	81	+	+	10
33	FL0	FL0	5Г	82	ИП3	П-Х3	63
34	06	06	06	83	FX ²	FX ²	22
35	ИП9	П-Х9	69	84	ИП9	П-Х9	69
36	×	×	12	85	×	×	12
37	ИПА	П-Ха	6—	86	+	+	10
38	ИП7	П-Х7	67	87	ИПВ	П-Хb	6L
39	×	×	12	88	+	+	10
40	—	—	11	89	ИП1	П-Х1	61
41	ИП1	П-Х1	61	90	2	2	02
42	ИП9	П-Х9	91	91	—	—	11
43	×	×	12	92	÷	÷	13
44	ИП7	П-Х7	67	93	F√	F√	21
45	FX ²	FX ²	22	94	П6	Х-П6	46
46	—	—	11	95	Fe ^x	Fe ^x	16
47	П0	Х-П0	40	96	С/П	С/П	50
48	÷	÷	13				

Ввести в регистры памяти значение n : n , П0, П1, С/П (n , Х-П0, Х-П1, С/П).

После останова набрать $X_1 \uparrow Y_1$, С/П; затем после останова $X_2 \uparrow Y_2$, С/П и т. д. После ввода всех значений X_i и Y_i и останова на индикаторе σ'_y .

Вызвать из регистров памяти:

ИП2 (П-Х2) $\rightarrow \ln a$; ИП3 (П-Х3) $\rightarrow \ln b$; ИП4 (П-Х4) $\rightarrow a$; ИП5 (П-Х5) $\rightarrow b$; ИП6 (П-Х6) $\rightarrow \sigma_{\ln y}$.

Пример

X 1 2 3 4 5
 Y 3 4 7 10 15
 $a=1,911$; $b=1,512$; $\sigma'_y=1,067$.

17. Регрессия $Y=a/(b+X)$

Следует рассмотреть два варианта расчета параметров уравнения:

$$\begin{aligned}
 1. \quad & \begin{cases} a \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{Y_i} \right)^2 - b \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{Y_i} \\ a \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i} - bn = \sum_{i=1}^n X_i; \end{cases} \\
 2. \quad & \begin{cases} an - b \sum_{i=1}^n Y_i = \sum_{i=1}^n X_i Y_i \\ a \sum_{i=1}^n Y_i - b \sum_{i=1}^n Y_i^2 = \sum_{i=1}^n X_i Y_i^2. \end{cases}
 \end{aligned}$$

Предлагаемая программа даст возможность вычислить коэффициенты уравнения двумя методами. Оценить значение σ'_y для обоих вариантов можно с помощью программы 133, что позволяет выбрать лучший вариант.

Программа 133

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	С/П	С/П	50	49	×	×	12
01	PD	Х-Пd	4Г	50	ИП1	П-Х1	61
02	ИП2	П-Х2	62	51	ИП9	П-Х9	69
03	+	+	10	52	×	×	12
04	П2	Х-П2	42	53	—	—	11
05	↔	↔	14	54	ИП6	П-Х6	66
06	ПС	Х-Пc	4[	55	FX ²	FX ²	22
07	ИП8	П-Х8	68	56	ИП1	П-Х1	61
08	+	+	10	57	ИП7	П-Х7	67

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
09	П8	Х-П8	48	58	×	×	12
10	ИПД	П-Хd	6Г	59	—	—	11
11	FX ²	FX ²	22	60	ПВ	Х-Пb	4L
12	ИПЗ	П-ХЗ	63	61	÷	÷	13
13	+	+	10	62	ПА	Х-Па	4—
14	ПЗ	Х-ПЗ	43	63	ИП7	П-Х7	67
15	ИПС	П-Хс	6[	64	ИП8	П-Х8	68
16	ИПД	П-Хd	6Г	65	×	×	12
17	×	×	12	66	ИП6	П-Х6	66
18	↑	В↑	0Е	67	ИП9	П-Х9	69
19	ИП4	П-Х4	64	68	×	×	12
20	+	+	10	69	—	—	11
21	П4	Х-П4	44	70	ИПВ	П-Хb	6L
22	↔	↔	14	71	÷	÷	13
23	ИПД	П-Хd	6Г	72	ПВ	Х-Пb	4L
24	×	×	12	73	ИП5	П-Х5	65
25	ИП5	П-Х5	65	74	ИП2	П-Х2	62
26	+	+	10	75	×	×	12
27	П5	Х-П5	45	76	ИП4	П-Х4	64
28	ИПД	П-Хd	6Г	77	ИП3	П-Х3	63
29	F1/X	F1/X	23	78	×	×	12
30	ПД	Х-Пd	4Г	79	—	—	11
31	ИП6	П-Х6	66	80	ИП2	П-Х2	62
32	+	+	10	81	FX ²	FX ²	22
33	П6	Х-П6	46	82	ИП1	П-Х1	61
34	ИПД	П-Хd	6Г	83	ИП3	П-Х3	63
35	FX ²	FX ²	22	84	×	×	12
36	ИП7	П-Х7	67	85	—	—	11
37	+	+	10	86	ПД	Х-Пd	4L
38	П7	Х-П7	47	87	÷	÷	13
39	ИПС	П-Хс	6[	88	ИП1	П-Х1	61
40	ИПД	П-Хd	6Г	89	ИП5	П-Х5	65
41	×	×	12	90	×	×	12
42	ИП9	П-Х9	69	91	ИП2	П-Х2	62
43	+	+	10	92	ИП4	П-Х4	64
44	П9	Х-П9	49	93	×	×	12
45	FL0	FL0	5Г	94	—	—	11
46	00	00	00	95	ИПД	П-Хd	6Г
47	ИП8	П-Х8	68	96	÷	÷	13
48	ИП6	П-Х6	66	97	С/П	С/П	50

Счет

Очистить регистры памяти: СХ, П2, ПЗ, П4, П5, П6, П7, П8, П9 (СХ, Х-П2, Х-ПЗ, Х-П4, Х-П5, Х-П6, Х-П7, Х-П8, Х-П9). Ввести n в регистры памяти: n , П0, П1 (n , Х-П0, Х-П1). Последовательно вводить значения X_i и Y_i : $X_1 \uparrow Y_1$, С/П, после останова нажать клавишу С/П вторично. После останова $X_2 \uparrow Y_2$, С/П, затем $X_3 \uparrow Y_3$, С/П и т. д. После ввода всех значений X_i и Y_i и останова на индикаторе b_2 , нажать $\leftrightarrow$ на инди-

каторе a_2 . Вызвать из регистров памяти: ИПА (П-Ха) $\rightarrow a_1$, ИПВ (П-Хb) $\rightarrow b_1$.

Для вычислений со следующей выборкой нажать В/о, очистить регистры памяти и далее как сказано выше.

Следующая программа позволяет рассчитать значение σ_f для обоих вариантов уравнения.

Программа 134

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	23	+	+	10
01	П1	Х-П1	41	24	÷	÷	13
02	СХ	СХ	0Г	25	—	—	11
03	П4	Х-П4	44	26	FX ²	FX ²	22
04	П5	Х-П5	45	27	ИП5	П-Х5	65
05	С/П	С/П	50	28	+	+	10
06	ПЗ	Х-ПЗ	43	29	П5	Х-П5	45
07	↔	↔	14	30	FL0	FL0	5Г
08	П2	Х-П2	42	31	05	05	05
09	ИПВ	Х-Пb	6L	32	ИП5	П-Х5	65
10	+	+	10	33	ИП1	П-Х1	61
11	ИПА	П-Ха	6—	34	2	2	02
12	↔	↔	14	35	—	—	11
13	÷	÷	13	36	П1	Х-П1	41
14	—	—	11	37	÷	÷	13
15	FX ²	FX ²	22	38	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
16	ИП4	П-Х4	64	39	ИП4	П-Х4	64
17	+	+	10	40	ИП1	П-Х1	61
18	П4	Х-П4	44	41	÷	÷	13
19	ИПЗ	П-ХЗ	63	42	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
20	ИПС	П-Хс	6[	43	С/П	С/П	50
21	ИП2	П-Х2	62	44	БП	БП	51
22	ИПД	П-Хd	6Г	45	00	00	00

Счет

Ввести регистры памяти: $a_1 \rightarrow ПА (Х-Па)$, $b_1 \rightarrow ПВ (Х-Пb)$, $a_2 \rightarrow ПС (Х-Пс)$, $b_2 \rightarrow ПД (Х-Пd)$ (значения a_1 , a_2 , b_1 , b_2 рассчитаны по предыдущей программе). Набрать n , С/П, после останова $X_1 \uparrow Y_1$, С/П, затем после останова $X_2 \uparrow Y_2$, С/П и т. д. После ввода всех значений X_i и Y_i и останова на индикаторе σ_1 , нажать $\leftrightarrow$ на индикаторе σ_2 .

Для вычислений с другими параметрами уравнения ввести их в регистры памяти как указано выше, набрать n и т. д.

Пример

X 1 2 3 4 5
Y 8 4 3 2 2

$a_1 = 9,474$; $a_2 = 9,274$;

$$b_1=0,237; \quad b_2=0,1774; \\ \sigma_1=0,299; \quad \sigma_2=0,246.$$

18. Регрессия $Y=a_0+a_1X+a_2X^2$

При вычислении параметров этого уравнения регрессии значительное число операций приходится выполнять в ручном режиме. По первой программе выполняются расчеты коэффициентов уравнения, по второй — стандартное отклонение расчетных значений и от действительных (σ_f). Для этого требуются суммы, вычисленные на первом этапе. Поэтому их следует записать.

Программа 135

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П5	Х-П5	45	49	П4	Х-П4	44
01	ИП2	П-Х2	62	50	ИП4	П-Ха	6—
02	+	+	10	51	П5	Х-П5	45
03	П2	Х-П2	42	52	ИП7	П-Х7	67
04	↔	↔	14	53	П6	Х-П6	46
05	П4	Х-П4	44	54	П9	Х-П9	49
06	ИП7	П-Х7	67	55	2	2	02
07	+	+	10	56	П0	Х-П0	40
08	П7	Х-П7	47	57	ПП	ПП	53
09	ИП4	П-Х4	64	58	74	74	74
10	ИП5	П-Х5	65	59	ПD	Х-Пd	4Г
11	×	×	12	60	С/П	С/П	50
12	ИП1	П-Х1	61	61	ПП	ПП	53
13	+	+	10	62	74	74	74
14	П1	Х-П1	41	63	С/П	С/П	50
15	ИП5	П-Х5	65	64	ИПВ	П-Хb	6L
16	FX ²	FX ²	22	65	П3	Х-П3	43
17	ИП3	П-Х3	63	66	ИП7	П-Х7	67
18	+	+	10	67	П2	Х-П2	42
19	П3	Х-П3	43	68	ИП9	П-Х9	69
20	ИП4	П-Х4	64	69	П7	Х-П7	47
21	FX ²	FX ²	82	70	ПП	ПП	53
22	П6	Х-П6	46	71	74	74	74
23	FX ²	FX ²	22	72	П1	Х-П1	41
24	ИП8	П-Х8	68	73	С/П	С/П	50
25	+	+	10	74	ИПС	П-Хс	6L
26	П8	Х-П8	48	75	ИП3	П-Х3	63
27	ИП6	П-Х6	66	76	ИП8	П-Х8	68
28	ИП4	П-Х4	64	77	×	×	12
29	×	×	12	78	ИП5	П-Х5	65
30	ИП1	П-Х1	6—	79	ИП4	П-Ха	6—
31	+	+	10	80	×	×	12
32	ПА	Х-Па	4—	81	—	—	11
33	ИП6	П-Х6	66	82	×	×	12
34	ИПВ	П-Хb	6L	83	КИП1	КП-Х1	Г1
35	+	+	10	84	КИП1	КП-Х1	Г1
36	ПВ	Х-Пb	4L	85	×	×	12

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
37	ИП6	П-Х6	66	86	КИП1	КП-Х1	Г1
38	ИП5	П-Х5	65	87	КИП1	КП-Х1	Г1
39	×	×	12	88	×	×	12
40	ИПD	П-Хd	6Г	89	—	—	11
41	+	+	10	90	КИП1	КП-Х1	Г1
42	ПD	Х-Пd	4Г	91	×	×	12
43	С/П	С/П	50	92	+	+	10
44	FL0	FL0	5Г	93	FL0	FL0	5Г
45	00	00	00	94	83	83	83
46	ИПВ	П-Хb	6L	95	ИПD	П-Хd	6Г
47	П2	Х-П2	42	96	÷	÷	13
48	П3	Х-П3	43	97	В/о	В/о	52

Счет

Очистить регистры памяти: СХ, П1, П2, П3, П7, П8, ПА, ПВ, ПD, (СХ, Х-П1, Х-П2, Х-П3, Х-П7, Х-П8, Х-Па, Х-Пb, Х-Пd). Ввести в регистры памяти: n , П0, ПС, (Х-П0, Х-Пс). Последовательно вводить значения X_i и Y_i : $X_1 \uparrow Y_1$, С/П ($X_1B \uparrow Y_1$, С/П), после останова $X_2 \uparrow Y_2$, С/П и т. д. После ввода всех значений X_i и Y_i и останова вызвать из регистров памяти и записать значения подсчитанных сумм:

ИП1 (П-Х1) → $\Sigma X_i Y_i$, ИП2 (П-Х2) → ΣY_i , ИП3 (П-Х3) → ΣY_i^2 ,
ИП7 (П-Х7) → ΣX_i , ИП8 (П-Х8) → ΣX_i^4 , ИП4 (П-Ха) → ΣX_i^3 ,
ИПВ (П-Хb) → ΣX_i^2 , ИПD (П-Хd) → $\Sigma X_i^2 Y_i$.

Ввести в регистры памяти, 1 → ПD (Х-Пd), 12 → П1 (Х-П1). Нажать С/П.

После останова ввести в регистры памяти:
 $\Sigma Y_i \rightarrow$ П7 (Х-П7), $\Sigma X_i^2 Y_i \rightarrow$ П5 (Х-П5), $\Sigma X_i Y_i \rightarrow$ П3 (Х-П3), 2 → П0 (Х-П0), 12 → П1 (Х-П1). Нажать С/П.

После останова на индикаторе a_1 . Ввести в регистры памяти:
 $\Sigma X_i^3 \rightarrow$ П5 (Х-П5), $\Sigma X_i^2 Y_i \rightarrow$ П8 (Х-П8), $\Sigma X_i Y_i \rightarrow$ ПА (Х-Па), 2 → П0 (Х-П0), 12 → П1 (Х-П1), нажать С/П.

После останова на индикаторе a_2 . a_0 вычисляется вручную: ввести в регистры памяти: $a_1 \rightarrow$ П1 (Х-П1), $a_2 \rightarrow$ П0 (Х-П0); последовательно нажать клавиши: ИП2, ИП7, ИП1, ×, —, ИП3, ИП0, ×, —, ИПС, ÷ (П-Х2, П-Х7, П-Х1, ×, —, П-Х3, П-Х0, ×, —, П-Хс, ÷), на индикаторе a_0 .

Пример приведен после программы 136.

Для перехода к расчетам параметров уравнения регрессии с новой выборкой нажать В/о, очистить регистры памяти и далее выполнять все, что сказано выше.

Расчет значения σ_f для данного уравнения производится по следующей программе.

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ИП-1	П-Х1	61	25	ИП0	П-Х0	60
01	ИП4	П-Х4	64	26	FX^2	FX^2	22
02	×	×	12	27	ИП3	П-Х3	63
03	ИП2	П-Х2	62	28	×	×	12
04	ИП5	П-Х5	65	29	+	+	10
05	×	×	12	30	ИП1	П-Х1	61
06	+	+	10	31	FX^2	FX^2	22
07	ИП8	П-Х8	68	32	ИП5	П-Х5	65
08	—	—	11	33	×	×	12
09	ИП0	П-Х0	60	34	+	+	10
10	×	×	12	35	ИП2	П-Х2	62
11	ИП2	П-Х2	62	36	FX^2	FX^2	22
12	ИП6	П-Х6	66	37	ИП7	П-Х7	67
13	×	×	12	38	×	×	12
14	ИП4	П-Х4	64	39	+	+	10
15	—	—	11	40	ИП9	П-Х9	69
16	ИП1	П-Х1	61	41	+	+	10
17	×	×	14	42	ИП3	П-Х3	63
18	+	+	10	43	3	3	03
19	ИП2	П-Х2	62	44	—	—	11
20	ИПВ	П-ХВ	6L	45	÷	÷	13
21	×	×	12	46	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
22	—	—	11	47	С/П	С/П	50
23	2	2	02	48	БП	БП	51
24	×	×	12	49	00	00	00

Счет

Ввести в регистры памяти значения коэффициентов и сумм, рассчитанных по предыдущей программе:

$a_0 \rightarrow П0$ (Х-П0), $a_1 \rightarrow П1$ (Х-П1), $a_2 \rightarrow П2$ (Х-П2), $n \rightarrow П3$ (Х-П3), $\Sigma X_4 \rightarrow П4$ (Х-П4), $\Sigma X_i^2 \rightarrow П5$ (Х-П5), $\Sigma X_i^3 \rightarrow П6$ (Х-П6), $\Sigma X_i^4 \rightarrow П7$ (Х-П7), $\Sigma Y_i \rightarrow П8$ (Х-П8), $\Sigma Y_i^2 \rightarrow П9$ (Х-П9), $\Sigma X_i Y_i \rightarrow ПA$ (Х-Пa), $\Sigma X_i^2 Y_i \rightarrow ПB$ (Х-Пb).

Нажать С/П. После останова на индикаторе σ_F .

Пример

X 1 2 3 4
Y 10 23 48 76

$a_0 = 2,25$; $a_1 = 3,55$; $a_2 = 3,75$; $\sigma_F = 2,012$.

19. Регрессия $Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2$

Расчет параметров уравнения проводится в два этапа: по первой программе 137 проводится вычисление коэффициентов уравнения и значений сумм, необходимых для расчета стандартной ошибки этого уравнения, которая определяется по следующей программе 138.

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П1	Х-П1	41	49	00	00	00
01	ИПD	П-Хd	6Г	50	ИП2	П-Х2	62
02	+	+	10	51	П4	Х-П4	44
03	PD	Х-Пd	4Г	52	ПВ	Х-Пb	4L
04	F0	F0	25	53	2	2	02
05	П7	Х-П7	47	54	П0	Х-П0	40
06	ИП2	П-Х2	62	55	ИП6	П-Х6	66
07	+	+	10	56	П7	Х-П7	47
08	П2	Х-П2	42	57	П9	Х-П9	49
09	F0	F0	25	58	ИП5	П-Х5	65
10	П4	Х-П4	44	59	ПА	Х-Па	4—
11	ИП6	П-Х6	66	60	ПП	ПП	53
12	+	+	10	61	74	74	74
13	П6	Х-П6	46	62	PD	Х-Пd	4Г
14	ИП4	П-Х4	64	63	С/П	С/П	50
15	FX^2	FX^2	22	64	ПП	ПП	53
16	ИП3	П-Х3	63	65	74	74	74
17	+	+	10	66	С/П	С/П	50
18	П3	Х-П3	43	67	ИП6	П-Х6	66
19	ИП7	П-Х7	67	68	П2	Х-П2	42
20	FX^2	FX^2	22	69	ПП	ПП	53
21	ИП8	П-Х8	68	70	74	74	74
22	+	+	10	71	/—/	/—/	0L
23	П8	Х-П8	48	72	П2	Х-П2	42
24	ИП1	П-Х1	61	73	С/П	С/П	50
25	FX^2	FX^2	22	74	ИП3	П-Х3	63
26	ИПВ	П-Хb	6L	75	ИП8	П-Х8	68
27	+	+	10	76	×	×	12
28	ПВ	Х-Пb	4L	77	ИП5	П-Х5	65
29	ИП4	П-Х4	64	78	ИПА	П-Ха	6—
30	ИП7	П-Х7	67	79	×	×	12
31	×	×	12	80	—	—	11
32	ИП5	П-Х5	65	81	ИПС	П-Хc	6[
33	+	+	10	82	×	×	12
34	П5	Х-П5	45	83	КИП1	КП-Х1	Г1
35	ИП4	П-Х4	64	84	КИП1	КП-Х1	Г1
36	ИП1	П-Х1	61	85	×	×	12
37	×	×	12	86	КИП1	КП-Х1	Г1
38	ИП9	П-Х9	69	87	КИП1	КП-Х1	Г1
39	+	+	10	88	×	×	12
40	П9	Х-П9	49	89	—	—	11
41	ИП7	П-Х7	67	90	КИП1	КП-Х1	Г1
42	ИП1	П-Х1	61	91	×	×	12
43	×	×	12	92	×	×	10
44	ИПА	П-Ха	6—	93	FL0	FL0	5Г
45	+	+	10	94	83	83	83
46	ПА	Х-Па	4—	95	ИПD	П-Хd	6Г
47	С/П	С/П	50	96	÷	÷	13
48	FL0	FL0	5Г	97	B/o	B/o	52

Счет

В/о очистить регистры памяти: СХ, П2, ПЗ, П6, П8, П5, П9, ПА, ПВ, PD (СХ, Х-П2, Х-ПЗ, Х-П5, Х-П6, Х-П8, Х-П9, Х-Па, Х-Пб, Х-Пс). Ввести в регистры памяти $n \rightarrow \text{П0}$, ПС (Х-П0, Х-Пс), где n — число данных.

Набрать $X_{1,1} \uparrow Y_1$, С/П ($X_{1,1} B \uparrow X_{2,1} B \uparrow Y_1$, С/П).

После останова $X_{1,2} \uparrow X_{2,2} \uparrow Y_2$, С/П и т.д. После ввода всех значений (всей выборки) и останова записать следующие результаты:

ИПЗ (П-ХЗ) $\rightarrow \Sigma X^2$;
ИП5 (П-Х5) $\rightarrow \Sigma X_1 X_2$;
ИП8 (П-Х8) $\rightarrow \Sigma X^2$;
ИП9 (П-Х9) $\rightarrow \Sigma X_1 Y$;
ИПА (П-Ха) $\rightarrow \Sigma X_2 Y$;
ИПВ (П-Хб) $\rightarrow \Sigma Y^2$;
ИПД (П-Хд) $\rightarrow \Sigma Y$.

Ввести в регистры памяти: 12 $\rightarrow$ П1 (Х-П1), 1 $\rightarrow$ PD (Х-Пд). Нажать клавишу С/П.

После останова ввести в регистры памяти: $\Sigma Y \rightarrow$ П7 (Х-П7); $\Sigma X_1 Y \rightarrow$ ПЗ (Х-ПЗ); $\Sigma X_2 Y \rightarrow$ П5 (Х-П5); 2 $\rightarrow$ П0 (Х-П0); 12 $\rightarrow$ П1 (Х-П1). Нажать С/П.

После останова на индикаторе a_1 (записать). Ввести в регистры памяти, нажать клавиши: ИПА (П-Ха); П8 (Х-П8). Набрать: $\Sigma X_1^2 \rightarrow$ ПА (Х-Па); 2 $\rightarrow$ П0 (Х-П0); 12 $\rightarrow$ П1 (Х-П1); С/П.

После останова на индикаторе a_2 (записать). Значение a_0 вычислить вручную. Для этого ввести в память: $a_1 \rightarrow$ П1 (Х-П1). Последовательно нажимать клавиши: ИП7 (П-Х7), ИП6 (П-Х6), ИП1 (П-Х1), $\times$, $-$, ИП4 (П-Х4), ИП2 (П-Х2), $\times$, $-$, ИПС (П-Хс), $\div$, П0 (Х-П0). На индикаторе a_0 .

Если надо вычислить среднеквадратическое отклонение расчетного значения Y от фактического, то ввести в регистры памяти: $\Sigma X^2 \rightarrow$ П9 (Х-П9); $\Sigma Y^2 \rightarrow$ ПВ (Х-Пб).

Не изменяя содержания остальных регистров памяти и не выключая микрокалькулятор, набрать следующую программу, по которой провести вычисления. Если определение среднеквадратического отклонения предполагается произвести позднее, то записать содержание всех регистров памяти:

0 $\div$ 9, А, В, С (а, b, с).

При переходе к расчету коэффициентов регрессии следующей выборки нажать клавишу В/о, очистить регистры памяти и далее как сказано выше.

Пример

X_1		1	2	2	3	3	3
X_2		1	1	2	1	2	3
Y		6,5	7	10	7,5	11	14,5

$a_0 = 2,35$; $a_1 = 0,6$; $a_2 = 3,4$; $\sigma_Y = 0,242$.

Программа 138

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	ИП1	П-Х1	61	27	$\times$	$\times$	12
01	ИП6	П-Х6	66	28	—	—	11
02	$\times$	$\times$	12	29	ИП0	П-Х0	60
03	ИП2	П-Х2	62	30	FX^2	FX^2	22
04	ИП4	П-Х4	64	31	ИПС	П-Хс	6
05	$\times$	$\times$	12	32	$\times$	$\times$	12
06	+	+	10	33	+	+	10
07	ИП7	П-Х7	67	34	ИП1	П-Х1	61
08	—	—	11	35	FX^2	FX^2	22
09	ИП0	П-Х0	60	36	ИП9	П-Х9	69
10	$\times$	$\times$	12	37	$\times$	$\times$	12
11	2	2	02	38	+	+	10
12	$\times$	$\times$	12	39	ИП2	П-Х2	62
13	ИП2	П-Х2	62	40	FX^2	FX^2	22
14	ИПА	П-Ха	6—	41	ИП8	П-Х8	68
15	$\times$	$\times$	12	42	$\times$	$\times$	12
16	ИПЗ	П-ХЗ	63	43	+	+	10
17	—	—	11	44	ИПВ	П-Хб	6L
18	ИП1	П-Х1	61	45	+	+	10
19	$\times$	$\times$	12	46	ИПС	П-Хс	6 [
20	2	2	02	47	3	3	03
21	$\times$	$\times$	12	48	—	—	11
22	+	+	10	49	$\div$	$\div$	13
23	ИП5	П-Х5	65	50	$F\sqrt{\quad}$	$F\sqrt{\quad}$	21
24	ИП2	П-Х2	62	51	С/П	С/П	50
25	$\times$	$\times$	12	52	БП	БП	51
26	2	2	02	53	00	00	00

Счет

Если среднеквадратическое отклонение расчетных значений Y от фактических определяется сразу после вычислений коэффициентов регрессии, то набрать программу, не выключая микрокалькулятор и не очищая регистры памяти.

Ввести в регистры памяти: $\Sigma X^2 \rightarrow$ П9 (Х-П9); $\Sigma Y^2 \rightarrow$ ПВ (Х-Пб).

Нажать клавиши: В/о, С/П.

После останова на индикаторе σ_Y .

Если вычисление среднеквадратического отклонения проводится после выключения микрокалькулятора или проведения на нем других расчетов, то ввести в регистры памяти следующие величины, полученные при расчете коэффициентов регрессии по предыдущей программе:

$a_0 \rightarrow$ П0 (Х-П0); $a_1 \rightarrow$ П1 (Х-П1); $a_2 \rightarrow$ П2 (Х-П2);

$\Sigma X_1 Y \rightarrow$ ПЗ (Х-ПЗ); $\Sigma X_2 Y \rightarrow$ П4 (Х-П4); $\Sigma X_2 Y \rightarrow$ П5 (Х-П5);

$\Sigma X_1^2 \rightarrow$ П6 (Х-П6); $\Sigma Y \rightarrow$ П7 (Х-П7); $\Sigma X^2 \rightarrow$ П8 (Х-П8);

$\Sigma X^2 \rightarrow$ П9 (Х-П9); $\Sigma X_1 X_2 \rightarrow$ ПА (Х-Па); $\Sigma Y^2 \rightarrow$ ПВ (Х-Пб); $n \rightarrow$ ПС (Х-Пс).

Далее поступать, как указано выше.

Пример приведен после программы 139.

СГЛАЖИВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ. ИНТЕРПОЛЯЦИЯ

1. Линейное сглаживание результатов последовательных наблюдений по трем ординатам:

$$\begin{aligned}\tilde{Y}_1 &= (5Y_1 + 2Y_2 - Y_3)/6, \quad i=1; \\ \tilde{Y}_i &= (Y_{i-1} + Y_i + Y_{i+1})/3, \quad 1 < i < n; \\ \tilde{Y}_n &= (5Y_n + 2Y_{n-1} - Y_{n-2})/6, \quad i=n.\end{aligned}$$

Счет

Набрать: n , С/П; после останова: $Y_1 \uparrow Y_2 \uparrow Y_3$, С/П $Y_1 B \uparrow Y_2 B \uparrow Y_3$, С/П. После останова на индикаторе $\tilde{Y}_1$, нажать $\rightleftharpoons$ — на индикаторе $\tilde{Y}_2$. Набрать Y_4 , С/П, после останова на индикаторе $\tilde{Y}_3$; далее — Y_5 , С/П — на индикаторе $\tilde{Y}_4$ и т.д.

Программа 139

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	$\uparrow$	$B \uparrow$	0E	33	ИП2	П-Х2	62
01	4	4	04	34	П1	Х-П1	41
02	—	—	11	35	+	+	10
03	П0	Х-П0	40	36	ИП3	П-Х3	63
04	С/П	С/П	50	37	П2	Х-П2	42
05	П3	Х-П3	43	38	+	+	10
06	F0	F0	25	39	3	3	03
07	П2	Х-П2	42	40	÷	÷	13
08	F0	F0	25	41	FLO	FLO	5Г
09	П1	Х-П1	41	42	30	30	30
10	5	5	05	43	С/П	С/П	50
11	×	×	12	44	П3	Х-П3	43
12	ИП2	П-Х2	62	45	ИП2	П-Х2	62
13	2	2	02	46	+	+	10
14	×	×	12	47	ИП1	П-Х1	61
15	+	+	10	48	+	+	10
16	ИП3	П-Х3	63	49	3	3	03
17	—	—	11	50	÷	÷	13
18	6	6	06	51	ИП3	П-Х3	63
19	÷	÷	13	52	5	5	05
20	ИП1	П-Х1	61	53	×	×	12
21	ИП2	П-Х2	62	54	ИП2	П-Х2	62
22	П1	Х-П1	41	55	2	2	02
23	+	+	10	56	×	×	12
24	ИП3	П-Х3	63	57	+	+	10
25	П2	Х-П2	42	58	ИП1	П-Х1	61
26	+	+	10	59	—	—	11
27	3	3	03	60	6	6	06
28	÷	÷	13	61	÷	÷	13
29	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14	62	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14
30	С/П	С/П	50	63	С/П	С/П	50
31	П3	Х-П3	43	64	БП	БП	51
32	ИП1	П-Х1	61	65	00	00	00

После ввода последнего значения $Y(Y_n)$ и останова на индикаторе $\tilde{Y}_{n-1}$ нажать $\rightleftharpoons$ — на индикаторе Y_n .

Для расчета сглаженных значений следующего ряда набрать соответствующее n , С/П и далее, как указано выше.

Пример

$$\begin{array}{cccccc} Y_i & \dots\dots\dots & 2 & 3 & 4 & 4 & 5 & 5 \\ \tilde{Y}_i & \dots\dots\dots & 2 & 3 & 3,67 & 4,33 & 4,67 & 5,16 \end{array}$$

2. Линейная интерполяция функции одной переменной

$$Y_X = Y_0 + (Y_1 - Y_0) \frac{(X - X_0)}{(X_1 - X_0)}.$$

Счет

Набрать $X_0 \uparrow Y_0$, С/П ($X_0 B \uparrow Y_0$, С/П).

После останова набрать $X_1 \uparrow Y_1$, С/П ($X_1 B \uparrow Y_1$, С/П).

X_0 , Y_0 , X_1 , Y_1 — координаты (значения X и Y) начала и конца интервала соответственно. После останова набрать X , С/П. После останова на индикаторе значение Y , соответствующее данному X .

Если необходимо, набрать следующее значение X в этом же интервале, С/П, после останова на индикаторе соответствующее значение Y и т. д.

Перед вычислениями для другого интервала значений нажать клавишу В/о.

Пример

$$X_0=2; Y_0=3; X_1=5; Y_1=4; \tilde{X}_1=3;$$

Программа 140

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П1	Х-П1	41	10	П2	Х-П2	42
01	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14	11	С/П	С/П	50
02	П0	Х-П0	40	12	ИП0	П-Х0	60
03	С/П	С/П	50	13	—	—	11
04	ИП1	П-Х1	61	14	ИП2	П-Х2	62
05	—	—	11	15	×	×	12
06	$\rightleftharpoons$	$\leftrightarrow$	14	16	ИП1	П-Х1	61
07	ИП0	П-Х0	60	17	+	+	10
08	—	—	11	18	БП	БП	51
09	÷	÷	13	19	11	11	11

$$\tilde{Y}_1=3,33; \tilde{X}_2=4; \tilde{Y}_2=3,67.$$

3. Интерполяция функций одной переменной, преобразуемых в линейные

$$Y = ab^X; \lg Y = \lg a + X \lg b.$$

Счет

См. линейную интерполяцию.

Пример

$$X_0=2; Y_0=20; X_1=5; Y_1=25; \tilde{X}_1=3; \tilde{Y}_1=21,5; \tilde{X}_2=4; \tilde{Y}_2=23,2.$$

$$Y=aX^m; \lg Y=\lg a+m \lg X.$$

Счет

См. линейную интерполяцию.

Пример

$$X_0=16; Y_0=20; X_1=32; Y_1=25; \tilde{X}_1=20; \tilde{Y}_1=21,5; \tilde{X}_2=25; \tilde{Y}_2=23,1.$$

$$a^y=bX^m; y=\frac{\lg b}{\lg a}+\frac{m}{\lg a} \lg X.$$

Программа 141

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	F1g	F1g	17	12	П2	X-П2	42
01	П1	X-П1	41	13	С/П	С/П	50
02	↔	↔	14	14	ИП0	П-X0	60
03	П0	X-П0	40	15	—	—	11
04	С/П	С/П	50	16	ИП2	П-X2	62
05	F1g	F1g	17	17	×	×	12
06	ИП1	П-X1	61	18	ИП1	П-X1	61
07	—	—	11	19	+	+	10
08	↔	↔	14	20	F10X	F10X	15
09	ИП0	П-X0	60	21	БП	БП	51
10	—	—	11	22	13	13	13
11	÷	÷	13				

Программа 142

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	F lg	F1g	17	13	÷	÷	13
01	П1	X-П1	41	14	П2	X-П2	42
02	↔	↔	14	15	С/П	С/П	50
03	F1g	F1g	17	16	F1g	F1g	17
04	П0	X-П0	40	17	ИП0	П-X0	60
05	С/П	С/П	50	18	—	—	11
06	F1g	F1g	17	19	ИП2	П-X2	62
07	ИП1	П-X1	61	20	×	×	12
08	—	—	11	21	ИП1	П-X1	61
09	↔	↔	14	22	+	+	10

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
10	F1g	F1g	17	23	F10X	F10X	15
11	ИП0	П-X0	60	24	БП	БП	51
12	—	—	11	25	15	15	15

Программа 143

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П1	X-П1	41	12	П2	X-П2	42
01	↔	↔	14	13	С/П	С/П	50
02	F1g	F1g	17	14	F1g	F1g	17
03	П0	X-П0	40	15	ИП0	П-X0	60
04	С/П	С/П	50	16	—	—	11
05	ИП1	П-X1	61	17	ИП2	П-X2	62
06	—	—	11	18	×	×	12
07	↔	↔	14	19	ИП1	П-X1	61
08	F1g	F1g	17	20	+	+	10
09	ИП0	П-X0	40	21	БП	БП	57
10	—	—	11	22	13	13	13
11	÷	÷	13				

Счет

См. линейную интерполяцию.

Пример

$$X_0=16; Y_0=3; X_1=32; Y_1=4;$$

$$\tilde{X}_1=20; \tilde{Y}_1=3,32; \tilde{X}_2=25; \tilde{Y}_2=3,64.$$

3. Квадратическая интерполяция

$$Y_x=B_0+B_1(X-X_0)+B_2(X-X_0) \cdot (X-X_1);$$

$$B_0=Y_0; B_1=(Y_1-Y_0)/(X_1-X_0);$$

$$B_2=\frac{1}{X_2-X_1} \left(\frac{Y_2-Y_0}{X_2-X_0}-B_1 \right).$$

Счет

Набрать $X_0 \uparrow Y_0$, С/П($X_0 \uparrow Y_0$, С/П), после останова набрать $X_1 \uparrow Y_1$, С/П($X_1 \uparrow Y_1$, С/П), после останова $X_2 \uparrow Y_2$, С/П($X_2 \uparrow Y_2$, С/П). X_0, Y_0, X_2, Y_2 —координаты начала и конца интервала соответственно; X_1, Y_1 —координаты точки внутри интервала.

После останова набрать $\tilde{X}$, С/П, после останова на индикаторе соответствующее значение $\tilde{Y}_X$. Набрать следующее необходимое значение $\tilde{X}$, С/П, на индикаторе соответствующее значение $\tilde{Y}_X$ и т. д.

Для выполнения интерполяции в другом интервале нажать В/О и далее вводить значения координат, как сказано выше.

Пример

$X_0=1$; $Y_0=10$; $X_1=3$; $Y_1=48$; $X_2=4$; $Y_2=76$; $\tilde{X}_1=2$; $\tilde{Y}_1=26$; $\tilde{X}_2=3,5$; $\tilde{Y}_2=61,25$.

Программа 144

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	24	—	—	11
01	↔	↔	14	25	÷	÷	13
02	ПЗ	Х-ПЗ	43	26	П2	Х-П2	42
03	С/П	С/П	50	27	С/П	С/П	50
04	ИП0	П-Х0	60	28	П6	Х-П6	46
05	—	—	11	29	ИП4	П-Х4	64
06	↔	↔	14	30	—	—	11
07	П4	Х-П4	44	31	ИП6	П-Х6	66
08	ИПЗ	П-ХЗ	63	32	ИПЗ	П-ХЗ	63
09	—	—	11	33	—	—	11
10	÷	÷	13	34	×	×	12
11	П1	Х-П1	41	35	ИП2	П-Х2	62
12	С/П	С/П	50	36	×	×	12
13	ИП0	П-Х0	60	37	ИП6	П-Х6	66
14	—	—	11	38	ИПЗ	П-ХЗ	63
15	↔	↔	14	39	—	—	11
16	П5	Х-П5	45	40	ИП1	П-Х1	61
17	ИПЗ	П-ХЗ	63	41	×	×	12
18	—	—	11	42	+	+	10
19	÷	÷	13	43	ИП0	П-Х0	60
20	ИП1	П-Х1	61	44	+	+	10
21	—	—	11	45	БП	БП	51
22	ИП5	П-Х5	65	46	27	27	27
23	ИП4	П-Х4	64				

ДЕЛЕНИЕ ЛИНЕЙНО УПОРЯДОЧЕННОЙ СОВОКУПНОСТИ ДАННЫХ НА СТАТИСТИЧЕСКИ ОДНОРОДНЫЕ ЧАСТИ (ЭЛЕМЕНТЫ). КРИТЕРИЙ РОДИОНОВА

Метод широко используется для расчленения геологических разрез на инженерно-геологические элементы, характеристики пространственной изменчивости геологических условий, грунтов и т. д., может быть использован при интерпретации результатов не только одномерных, но и многомерных наблюдений. Однако объем вычислений в последнем случае весьма значительный и требует использования достаточно мощных ЭВМ. Проведение таких расчетов на програм-

мируемых микрокалькуляторах нерационально. Поэтому в данном разделе приводится программа для расчленения линейно упорядоченных совокупностей одномерных данных.

На первом этапе расчета проводится последовательное выделение границ по критерию Родионова: рассматривается вся совокупность данных, определяется граница между двумя наиболее различающимися частями по максимальному значению критерия V_K . Если эта величина превышает табличное значение χ^2_{α} , то различие между двумя выделенными частями можно считать существенным и границу значимой. В противном случае весь массив данных статистически однороден, и границы внутри него отсутствуют. Затем рассматривается каждая из выделенных частей, определяется наличие границ внутри них. Такое последовательное рассмотрение каждого вновь выделяемого участка проводится до тех пор, пока каждая часть по критерию Родионова не окажется однородной.

Значения χ^2_{α} для 1 степени свободы приведены ниже.

Уровень значимости	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01
χ^2_{α}	0,00016	0,00098	0,0039	3,8	5	6,6

На втором этапе проверяется значимость выделенных границ, т. е. существенность различий между соседними участками. Для этого по той же программе производится вычисление критерия Родионова для каждой пары соседних участков, граница между которыми проверяется.

Если вычисленная для данной границы величина V_K меньше табличной χ^2_{α} , то граница считается ложной и отбрасывается. В противном случае она остается, так как является значимой. Оценка величины V_K производится для каждой границы. Таким образом, совокупность линейно упорядоченных данных расчленяется на статистически однородные, различимые между собой части.

Вычисление V_K производится по уравнению:

$$V_K = \frac{n-1}{n(n-K)K} \frac{[(n-K)(A+X_K) - K(B-X_K)]^2}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2},$$

где $A = \sum_{i=1}^p X_i$; $B = \sum_{i=p+1}^n X_i$; $p=K-1$.

Программа 145

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	41	П7	Х-П7	47
01	П1	Х-П1	41	42	ИП1	П-Х1	61
02	СХ	СХ	ОГ	43	1	1	01
03	П4	Х-П4	44	44	—	—	11

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
04	П6	Х-П6	46	45	ИП1	П-Х1	61
05	П7	Х-П7	47	46	ИП4	П-Х4	64
06	П8	Х-П8	48	47	—	—	11
07	ПА	Х-Па	4—	48	П5	Х-П5	45
08	С/П	С/П	50	49	ИП1	П-Х1	61
09	↑	В↑	ОЕ	50	×	×	12
10	ИП7	П-Х7	67	51	ИП4	П-Х4	64
11	+	+	10	52	×	×	12
12	П7	Х-П7	47	53	÷	÷	13
13	F0	F0	25	54	ИП5	П-Х5	65
14	FX ²	FX ²	22	55	ИП6	П-Х6	66
15	ИП8	П-Х8	68	56	×	×	12
16	+	+	10	57	ИП4	П-Х4	64
17	П8	Х-П8	48	58	ИП7	П-Х7	67
18	FL0	FL0	5Г	59	×	×	12
19	08	08	08	60	—	—	11
20	ИП7	ИП7	67	61	FX ²	FX ²	22
21	FX ²	FX ²	22	62	ИП8	П-Х8	68
22	ИП1	П-Х1	61	63	÷	÷	13
23	÷	÷	13	64	×	×	12
24	—	—	11	65	↑	В↑	ОЕ
25	П8	Х-П8	48	66	ИПА	П-Ха	6—
26	ИП1	П-Х1	61	67	—	—	11
27	1	1	01	68	FX ≥ 0	FX ≥ 0	59
28	—	—	11	69	74	74	74
29	П0	Х-П0	40	70	F0	F0	25
30	КИП4	КП-Х4	Г4	71	ПА	Х-Па	4—
31	F0	F0	25	72	ИП4	П-Х4	64
32	С/П	С/П	50	73	ПВ	Х-Пб	4L
33	↑	В↑	ОЕ	74	FL0	FL0	5Г
34	ИП6	П-Х6	66	75	30	30	30
35	+	+	10	76	ИПВ	П-Хб	6L
36	П6	Х-П6	46	77	ИПА	П-Ха	6—
37	F0	F0	25	78	С/П	С/П	50
38	ИП7	П-Х7	67	79	БП	БП	51
39	↔	↔	14	80	00	00	00
40	—	—	11				

Счет

Набрать: n , С/П. После останова набирать последовательно все числа выборки в порядке линейно упорядоченного расположения. После выбора каждого числа нажимать С/П. Следующее число набирать после завершения вычисления с предыдущим и останова. После ввода всех чисел ряда (n чисел) повторить ввод всего ряда чисел, начиная с первого до предпоследнего ($n-1$ чисел). После завершения ввода чисел и останова на индикаторе максимальное значение V_k нажать $\rightleftharpoons$ —, на индикаторе значение K (искомая граница расположена между K и $K+1$ числами ряда).

Для анализа следующего ряда набрать значение n , С/П, затем последовательно все числа ряда и т. д.

Пример

Задача расчленить геологический разрез, сложенный глинистыми отложениями, на статистически однородные части по литологическому признаку. В качестве литологической характеристики принято число пластичности. Значения числа пластичности образцов, расположенных в порядке возрастания глубины, приведены ниже.

Номер образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число пластичности	4	6	6	5	7	7	9	10	7
Номер образца	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Число пластичности	11	13	12	16	17	19	20	18	17

После ввода программы и перевода микрокалькулятора в режим автоматического счета ($F_{авт}$, В/о) набираем: 18, С/П ($n=18$). После останова вводим последовательно все значения чисел ряда с первого до последнего: 4, С/П; 6, С/П; 5, С/П; ...; 17, С/П.

После останова повторяем ввод чисел с первого до предпоследнего: 4, С/П; 6, С/П; ...; 18, С/П. После останова на индикаторе $V_k=13$, 557675, нажимаем $\rightleftharpoons$ — на индикаторе $K=10$. Следовательно, первая граница расположена между десятым и одиннадцатым числами. Табличное значение χ^2_α для уровня значимости $\alpha=0,05$ равно 3,8. Найденное в примере значение $V_{10}=13,5$, т. е. больше табличного, следовательно граница значимая.

Рассматриваем две полученные части ряда как самостоятельные, проверяем их на однородность:

1. Вводим $n=10$, С/П, последовательно вводим числа: 4, С/П; 6, С/П; ...; 11, С/П. Повторяем ввод: 4, С/П; 6, С/П; 7, С/П. $V_6=5,7832567$.

2. Часть с № 11 по 18. Вводим вспомогательную нумерацию с № 1 по 8. Набираем $n=8$, С/П и т. д. $K'=2$, $K=12$, $V_{12}=5,5308641$.

Таким образом, на втором этапе определены две значимые границы — V_6 и V_{12} .

Проверяем первую границу (V_{10}). Для этого проверяем на однородность часть ряда с № 7 по 12. Вводим вспомогательную нумерацию с № 1 по 6, набираем $n=6$, С/П и т. д. $V_9=3,5714275$, т. е. граница незначимая, ее отбрасываем.

Проверяем на однородность оставшиеся две части: с № 1 по 6 и с № 13 по 18. Для первой $V_4=2,9878016$ (отбрасываем), для второй $V_{14}=2,461523$ (отбрасываем).

Проверяем положение второй и третьей границ (V_6 и V_{12}). Для этого рассматриваем часть ряда с № 1 по 12 — проверка границы V_6 . Находим $V_9=7,4240751$.

Участок с № 1 по 9 $V_9=4,879031$;

участок с № 5 по 12 $V_9=5,25$.

Граница V_{12} , участок с № 10 по 18 $V_{12}=6,7307678$. Таким образом, устойчивыми границами являются: $V_4=4,879031$; $V_9=5,25$; $V_{12}=6,7307678$, т. е. выделены 4 слоя.

Статистическая однородность этих слоев подтверждается отсутствием внутри них значимых границ:
 слой I, № 1—4, максимальное $V_1=2,27$;
 слой II, № 5—9, максимальное $V_6=1,67$;
 слой III, № 10—12, максимальное $V_{10}=1,5$;
 слой IV, № 13—18, максимальное $V_{14}=2,46$.

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРРИТОРИИ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОМ РАЙОНИРОВАНИИ

Проводится программа для расчета интегральной характеристики объекта по уравнению М. Д. Бурштейна

$$K = (K_{i, \min}^{a_i})^{0,5} (K_1^{a_1} \cdot K_2^{a_2} \cdot \dots \cdot K_n^{a_n})^{0,5},$$

где K — интегральная характеристика исследуемого объекта; $K_1, K_2, \dots, K_n$ — значения отдельного признака, характеризующего данный объект; $a_1, a_2, \dots, a_n$ — весовые коэффициенты признаков, n — число учитываемых признаков.

Значения K_i и a_i подбираются на основании эмпирических данных и общих представлений о степени влияния данного признака на характеристику всего объекта K_i и вероятности его проявления a_i .

Значения K_i и a_i должны удовлетворять условию:

$$0 < K_i \leq 1; \quad 0 < a_i \leq 1.$$

Счет

Набрать: n , С/П. После останова на индикаторе 1, набрать первую пару чисел: $K_1 \uparrow a_1$, С/П ($K_1 \downarrow a_1$, С/П), после останова на индикаторе 2, набрать вторую пару значений $K_2 \uparrow a_2$, С/П и т. д. В процессе последовательного ввода значений K_i и a_i после останова на индикаторе высвечивается порядковый номер значений K_i и a_i , которые следует ввести следующим набором.

После ввода всех значений K_i и a_i и останова на индикаторе K .

Пример

$$K_1=0,5; a_1=0,3;$$

$$K_2=0,1; a_2=0,2;$$

$$K_3=0,2; a_3=0,1;$$

$$K_4=0,2; a_4=0,4;$$

$$K=0,66$$

Программа 146

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
00	П0	Х-П0	40	24	П7	Х-П7	47
01	П1	Х-П1	41	25	1	1	01
02	1	1	01	26	ИП2	П-Х2	62

Продолжение программы 146

Адрес	Нажать клавиши		Код	Адрес	Нажать клавиши		Код
	БЗ-34	МК-61			БЗ-34	МК-61	
03	П2	Х-П2	42	27	+	+	10
04	П3	Х-П3	43	28	П2	Х-П2	42
05	П4	Х-П4	44	29	FL0	FL0	5Г
06	П7	Х-П7	47	30	07	07	07
07	С/П	С/П	50	31	ИП1	П-Х1	61
08	П5	Х-П5	45	32	2	2	02
09	↔	↔	14	33	×	×	12
10	П6	Х-П6	46	34	F1/X	F1/X	23
11	ИП3	П-Х3	63	35	ИП7	П-Х7	67
12	—	—	11	36	FX ^Y	FX ^Y	24
13	FX<0	FX<0	5[	37	П8	Х-П8	48
14	19	19	19	38	ИП4	П-Х4	64
15	ИП6	П-Х6	66	39	ИП3	П-Х3	63
16	П3	Х-П3	43	40	FX ^Y	FX ^Y	24
17	ИП5	П-Х5	65	41	F√	F√	21
18	П4	Х-П4	44	42	ИП8	П-Х8	68
19	ИП5	П-Х5	65	43	×	×	12
20	ИП6	П-Х6	66	44	С/П	С/П	50
21	FX ^Y	FX ^Y	24	45	БП	БП	51
22	ИП7	П-Х7	67	46	00	00	00
23	×	×	12				

Приложение 1

Критические значения критерия Стьюдента t

f	α					
	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,001
1	6,31	12,71	31,82	63,66	127,3	636,62
2	2,92	4,3	6,97	9,93	14,09	31,6
3	2,35	3,18	4,54	5,84	7,45	12,94
4	2,13	2,79	3,75	4,6	5,6	8,61
5	2,02	2,57	3,37	3,03	4,77	6,86
6	1,94	2,45	3,14	3,17	4,32	5,96
7	1,9	2,37	3	3,5	4,03	5,41
8	1,86	2,31	2,9	3,36	3,84	5,04
9	1,83	2,26	2,82	3,25	3,69	4,78
10	1,81	2,23	2,76	3,17	3,58	4,59
11	1,8	2,2	2,72	3,11	3,5	4,44
12	1,78	2,18	2,68	3,06	3,43	4,32
13	1,77	2,16	2,65	3,01	3,38	4,22
14	1,76	2,15	2,62	2,98	3,33	4,14
15	1,75	2,13	2,6	2,95	3,29	4,07
16	1,75	2,12	2,58	2,92	3,25	4,02
17	1,74	2,11	2,56	2,9	3,22	3,97
18	1,73	2,1	2,55	2,88	3,19	3,92
19	1,73	2,09	2,54	2,86	3,17	3,88
20	1,73	2,09	2,53	2,85	3,15	3,85
22	1,72	2,07	2,52	2,82	3,12	3,79
24	1,71	2,06	2,49	2,8	3,09	3,75
26	1,71	2,06	2,48	2,78	3,07	3,71
28	1,7	2,05	2,47	2,76	3,05	3,67
30	1,7	2,04	2,46	2,75	3,03	3,65
40	1,68	2,02	2,42	3,7	2,97	3,55
60	1,67	2	2,39	2,66	2,91	3,46
120	1,66	1,98	2,36	2,62	2,86	3,37
∞	1,65	1,96	2,33	2,58	2,81	3,29
f	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0025	0,0005

$\alpha/2$

Приложение 2

Критические значения критерия Фишера F при уровне значимости $\alpha=0,05$

f_2	f_1								
	1	2	3	4	5	6	12	24	∞
1	161	200	216	225	230	234	244	249	254
2	18,5	19	19,2	19,2	19,3	19,3	19,4	19,4	19,5
3	10,1	9,6	9,3	9,1	9	8,9	8,7	8,6	8,5
4	7,7	6,9	6,6	6,4	6,3	6,2	5,9	5,8	5,6
5	6,6	5,8	5,4	5,2	5	5	4,7	4,5	4,4
6	6	5,1	4,8	4,5	4,4	4,3	4	3,8	3,7
7	5,6	4,7	4,4	4,1	4	3,9	3,6	3,4	3,2

Продолжение приложения 2

f_2	f_1								
	1	2	3	4	5	6	12	24	∞
8	5,3	4,5	4,1	3,8	3,7	3,6	3,3	3,1	2,9
9	5,1	4,3	3,9	3,6	3,5	3,4	3,1	2,9	2,7
10	5	4,1	3,7	3,5	3,3	3,2	2,9	2,7	2,5
12	4,8	3,9	3,5	3,3	3,1	3	2,7	2,5	2,3
14	4,6	3,7	3,3	3,1	3	2,8	2,5	2,4	2,1
16	4,5	3,6	3,2	3	2,8	2,7	2,4	2,2	2
18	4,4	3,6	3,2	2,9	2,8	2,7	2,3	2,2	1,9
20	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,3	2,2	1,8
24	4,3	3,4	3	2,8	2,6	2,5	2,2	2	1,7
30	4,2	3,3	2,9	2,7	2,5	2,4	2,1	1,9	1,6
60	4	3,2	2,8	2,5	2,4	2,2	1,9	1,7	1,4
100	3,9	3,1	2,7	2,5	2,3	2,2	1,8	1,6	1,2
∞	3,8	3	2,6	2,4	2,2	2,1	1,8	1,5	1

Приложение 3

Критические значения критерия Пирсона χ^2

f	α							
	0,95	0,9	0,5	0,2	0,1	0,05	0,01	0,001
1	0,004	0,016	0,455	1,64	2,7	3,8	6,6	10,8
2	0,103	0,211	1,386	3,22	4,6	6	9,2	13,8
3	0,352	0,584	2,366	4,64	6,3	7,8	11,3	16,3
4	0,71	1,06	2,36	6,0	7,8	9,5	13,3	18,5
5	1,14	1,61	4,35	7,3	9,2	11,1	15,1	20,5
6	1,63	2,2	5,35	8,6	10,6	12,6	16,8	22,5
7	2,17	2,83	6,35	9,8	12	14,1	18,5	24,3
8	2,75	3,49	7,34	11	13,4	15,5	20,1	26,1
9	3,32	4,17	8,34	12,2	14,7	16,9	21,7	27,9
10	3,94	4,86	9,34	13,4	16,0	18,3	23,2	29,6
11	4,6	5,6	10,3	14,6	17,3	19,7	24,7	31,3
12	5,2	6,3	11,3	15,8	18,5	21	26,2	32,9
13	5,9	7	12,3	17	19,8	22,4	27,7	34,5
14	6,6	7,8	13,3	18,2	21,1	23,7	29,1	36,1
15	7,3	8,5	14,3	19,3	22,3	25	30,6	37,7
16	8	9,3	15,3	20,5	23,5	26,3	32	39,2
17	8,7	10,1	16,3	21,6	24,8	27,6	33,4	40,8
18	9,4	10,9	17,3	22,8	26,0	28,9	34,8	42,3
19	10,1	11,7	18,3	23,9	27,2	30,1	36,2	43,8
20	10,9	12,4	19,3	25	28,4	31,4	37,6	45,3
21	11,6	13,2	20,3	26,2	29,6	32,7	38,9	46,8
22	12,3	14	21,3	27,3	30,8	33,9	40,3	48,3
23	13,1	14,8	22,3	28,4	32	35,2	41,6	49,7
24	13,8	15,7	23,3	29,6	33,2	36,4	43	51,2
25	14,6	16,5	24,3	30,7	34,4	37,7	44,3	52,6
26	15,4	17,3	25,3	31,8	35,6	38,9	45,6	54,1
28	16,9	18,9	27,3	34	37,9	43,1	48,3	56,9
30	18,5	20,6	29,3	36,3	40,3	43,8	50,9	59,7

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяконов В. П. Справочник по расчетам.— М.: Наука, 1986.
2. Комаров И. С. Накопление и обработка информации при инженерно-геологических исследованиях.— М.: Недра, 1972.
3. Маслов Н. Н. Механика грунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними).— М.: Стройиздат, 1977.
4. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. Т. 1.— М.: Изд-во МГУ, 1968.
5. Обработка геологической информации на микрокалькуляторах / В. В. Бабенко, В. П. Афанасьев, Н. Н. Зинчук и др.— М.: Недра, 1988.
6. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01—83).— М.: Стройиздат, 1986.
7. Рекомендации по инженерно-геологическим изысканиям на оползневых склонах Северного Кавказа с целью их хозяйственного освоения / Гл. ред. А. И. Клименко.— М.: Стройиздат, 1983.
8. Тихвинский И. О. Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов.— М.: Стройиздат, 1984.
9. Тихвинский И. О. Оценка и прогноз устойчивости оползневых склонов.— М.: Наука, 1988.
10. Чановский Е. Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов.— М.: Недра, 1975.
11. Шелест А. Е. Микрокалькуляторы в физике.— М.: Наука, 1988.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Грунтоведение	5
Влажность грунта, пластичность, консистенция	5
Плотность, пористость грунтов	9
Основные характеристики водонасыщенных грунтов	20
Гранулометрический состав	25
Набухание грунтов	37
Усадка грунтов	44
Деформационные свойства грунтов	47
Прочностные свойства грунтов	50
Химические исследования грунтов	54
Анализ воды и водной вытяжки	54
Интерпретация результатов анализа солянокислых вытяжек	62
Калориметрический, спектрофотометрический, спектральный и другие виды инструментального анализа	66
Экзогенные геологические процессы	70
Оползни	70
Набухание массива глинистых пород	95
Просадка	101
Статистические расчеты	104
Основные статистические характеристики выборки	104
Корреляция	115
Регрессионный анализ	120
Сглаживание результатов наблюдений. Интерполяция	154
Деление линейно упорядоченной совокупности данных на статистически однородные части (элементы). Критерий Родинона	158
Интегральные характеристики территории при инженерно-геологическом районировании	162
Приложения	164
Список литературы	166

СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Клименко Анатолий Иосифович
Пахомов Сергей Ильич

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ
НА ПРОГРАММИРУЕМЫХ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРАХ

Заведующий редакцией *Е. И. Кит*
Редактор издательства *М. В. Рогачева*
Технические редакторы *М. Л. Новикова, М. П. Виноградова*
Корректор *Г. П. Вергун*
ИБ № 8429

Сдано в набор 03.01.91. Подписано в печать 24.06.91. Формат 60×88/16. Бумага офсетная № 2.
Гарнитура Литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 10,29. Усл. кр.-отт. 10,53. Уч.-изд. л. 11,32.
Тираж 5370 экз. Зак. № 1908/2441-1. Цена 60 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра»,
125047 Москва, Тверская застава, 3.

Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО «Первая Образцовая
типография» Государственного комитета СССР по печати. 113054, Валовая, 28