

Министерство образования и науки Российской Федерации

Череповецкий государственный университет

Институт информационных технологий

Кафедра математического и программного обеспечения электронно-вычислительных машин (МПО ЭВМ)

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Учебно-методическое пособие и задания к лабораторным работам

Направления подготовки:

09.03.03 – прикладная информатика

09.03.02 – информационные системы и технологии

Череповец

2021

ВВЕДЕНИЕ

Программой курса «Метрология, стандартизация и сертификация» предусмотрено выполнение лабораторных работ, основной задачей которых является закрепление знаний, полученных студентами в процессе изучения теоретического курса, развитие практических навыков работы со справочной литературой и стандартами, определения погрешностей средств измерений и результатов измерений, а также статистической обработки результатов многократных измерений.

Перед выполнением работы студент обязан изучить соответствующую тему лекционного курса.

Вариант задания устанавливается по последней цифре шифра студента.

Работа 1.
Выбор средств измерений по точности. Погрешности измерений.
Однократные измерения.

Теоретическая часть

Теоретические материалы к лабораторной работе смотрите в курсе лекций и учебниках по метрологии.

Практическая часть

Задание на работу:

Выполните ряд задач, условия которых смотрите ниже.

Пример 4.1. Указатель отсчетного устройства вольтметра класса точности 0,5, шкала которого приведена на рис. 4.3, показывает 120 В. Представить результат однократного измерения (шкала равномерная).

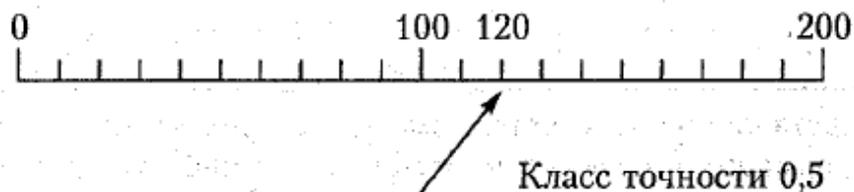


Рис. 4.3. Последовательность выполнения однократного измерения

Для указанного прибора нормирована приведенная погрешность. Предел измерений $U_K = 200$ В. Следовательно, учитывая, что класс точности выражается в процентах, находим:

$$\Delta = \frac{\text{класс точности} \cdot 200}{100} = \frac{0,5 \cdot 200}{100} = 1 \text{ В.}$$

Искомое напряжение $U = (120 \pm 1)$ В.

Пример 4.2. Указатель отсчетного устройства омметра класса точности ② с равномерной шкалой (рис. 4.4) показывает 100 Ом. Чему равно измеряемое сопротивление?

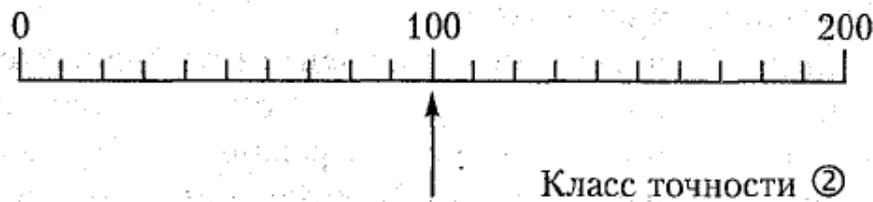


Рис. 4.4. Шкала омметра класса точности ②

При таком обозначении класса точности измеряемая величина не должна отличаться от значения, которое показывает указатель, более чем на 2 %:

$$\Delta = \frac{\text{класс точности} \cdot 100}{100} = \frac{2 \cdot 100}{100} = 2 \text{ Ом};$$

$$R = (100 \pm 2) \text{ Ом.}$$

Пример 4.3. Указатель отсчетного устройства цифрового ампервольтметра класса точности 0,02/0,01 показывает 25 А. Чему равна измеряемая сила тока?

Для прибора с классом точности 0,02/0,01 при определении погрешности измерений используется формула $\left[c + d \left(\left| \frac{X_k}{X} \right| - 1 \right) \right]$, где c и d — соответственно числитель и знаменатель в обозначении класса точности; X_k — предел измерений; X — показание прибора. Тогда (учитывая, что относительная погрешность, определяемая через класс точности, выражается в процентах)

$$\Delta = \left[0,02 + 0,01 \left(\frac{50 \text{ А}}{25 \text{ А}} - 1 \right) \right] \frac{25 \text{ А}}{100} = 0,0075 \text{ А};$$

$$I = (25,0000 \pm 0,0075) \text{ А.}$$

Пример 4. Амперметр с верхним пределом измерения 10 А при измерении силы тока показал 7 А. Определите класс точности прибора в форме приведенной погрешности, если погрешность должна быть не более 1,2% .

Для определения класса точности прибора необходимо рассчитать приведенную погрешность, для чего нужно найти предельную абсолютную погрешность данного измерения.

Относительная погрешность $\delta = 100\Delta/X$ (%), откуда $\Delta = 1,2\% \cdot 7 \text{ А} / 100\% = 0,084 \text{ А}$;

приведённая погрешность $\gamma=100\Delta/X_N$ (%); $\gamma=100\% \cdot 0,084 \text{ A}/10 \text{ A}=0,84\%$, следовательно, амперметр должен быть класса точности не ниже 0,8.

Пример 5. При измерении температуры в помещении термометр показывает 28°C . Погрешность градуировки $+0,5^\circ\text{C}$. Средняя квадратичная погрешность измерения $S_T=0,3^\circ\text{C}$. Определите доверительные границы истинного значения температуры с вероятностью $P=0,9973$ ($t_p=3$).

Определяем результат измерения температуры с учётом поправки от погрешности градуировки (настройки) термометра (средства измерений):

$$X=X_{\text{СИ}} - \Delta_{\text{настр}},$$

где $X_{\text{СИ}}$ – результат однократного измерения (показание прибора); $\Delta_{\text{настр}}$ – погрешность настройки (градуировки, подключения в электрическую цепь) прибора.

$$\underline{T}=T_{\text{СИ}} - \Delta_{\text{настр}} = 28 - 0,5 = 27,5^\circ\text{C}.$$

Определяем доверительную границу случайной погрешности результата измерения:

$$\Delta_p = t_p \cdot S_{\bar{X}} = 3 \cdot 0,3 = 0,9^\circ\text{C}$$

Определяем доверительные границы истинного значения температуры:

$$T = \underline{T} \pm \Delta_p = (27,5 \pm 0,9)^\circ\text{C}, P=0,9973.$$

Задача 1

Амперметр с верхним пределом измерения 20 A при измерении силы тока показал 15 A . Определите класс точности прибора в форме приведенной погрешности, если погрешность должна быть не более $1,5\%$.

Задача 2

Определите наибольшую возможную разницу показаний двух вольтметров, если у первого вольтметра класс точности – $1,5$, предел измерения – 250 В , а у второго соответственно – $2,0$ и 300 В .

Задача 3

Вольтметр с верхним пределом измерения 250 В при измерении напряжения показал 220 В . Абсолютная погрешность измерения составила $2,5 \text{ В}$. Определите класс точности прибора в форме приведенной погрешности.

Задача 4

В наличии имеются четыре вольтметра. Первый вольтметр класса точности $1,0$ с пределом измерения 250 В ; второй – класса точности $0,5$ с пределом измерения

1000 В; третий – класса точности 2,5 с пределом измерения 300 В; четвертый – класса точности 0,8/0,6 с пределом измерения 500 В. Какие вольтметры можно использовать для измерения напряжения 220 В с погрешностью не более 2,5%?

Задача 5

Определите границы допускаемой погрешности измерения электрического напряжения в сети $U=220\pm 16$ В.

Задача 6

Определите границы допускаемой погрешности измерения силы электрического тока в проводе $I=2,5\pm 0,4$ А.

Задача 7

При измерении давления в трубопроводе манометр показывает 19,7 МПа. Погрешность градуировки манометра $\Delta = - 0,3$ МПа. Средняя квадратичная погрешность измерения $S_p=0,2$ МПа. Определите доверительные границы истинного значения давления с вероятностью $P=0,99$ ($t_p=2,58$).

Работа №2.

Обработка многократных и косвенных измерений.

Теоретическая часть

Теоретические материалы к лабораторной работе смотрите в курсе лекций и учебниках по метрологии.

Практическая часть

Задание на работу:

Выполните девять задач (см.ниже) по варианту заданий в соответствии с последней цифрой шифра студента.

Пример обработки многократных измерений при числе измерений $n\leq 15$

Пример. Измерялся микрометром диаметр d стержня (систематическая ошибка измерения равна 0.005 мм). Результаты измерений заносим во вторую графу таблицы, находим \bar{x} и в третью графу этой таблицы записываем разности $(d - \bar{x})$, а в четвертую – их квадраты (таблица 4).

Таблица 4

n	d, мм	$(d - \bar{x})$	$(d - \bar{x})^2$
1	4.02	+ 0.01	0.0001
2	3.98	- 0.03	0.0009
3	3.97	- 0.04	0.0016
4	4.01	+ 0.00	0.0000
5	4.05	+ 0.04	0.0016
6	4.03	+ 0.02	0.0004
Σ	24.06	–	0.0046

$$\bar{x} = \frac{\sum d_i}{n} = \frac{24.06}{6} = 4.01 \text{ мм}$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (d - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0.0046}{5 \cdot 6}} = 0.01238 \text{ мм}$$

Задавшись надежностью $P = 0.95$, по таблице коэффициентов Стьюдента для шести измерений найдем $t = 2.57$. Абсолютная ошибка найдется по формуле (10).
 $\Delta d = 0.01238 \cdot 2.57 = 0.04 \text{ мм}$.

Сравним случайную и систематическую ошибки:

$$\frac{\Delta}{\delta} = \frac{0.04}{0.005} = 8,$$

следовательно, $\delta = 0.005 \text{ мм}$ можно отбросить.

Окончательный результат запишем в виде

$$d = (4.01 \pm 0.04) \text{ мм при } P = 0.95.$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\% = \frac{0.04}{4.01} \cdot 100\% \approx 1\%$$

*В таблице коэффициентов Стьюдента (см. Приложение) число степеней свободы определяется по формуле: $f = n - 1$, где n – число измерений в ряду равноточных измерений.

Задача 1

При многократном измерении длины L получены значения, мм: 50,2; 50; 50,3; 49,7; 50,2; 49,9; 50,1; 50,2; 49,8. Определите доверительные границы истинного значения длины с вероятностью $P = \dots$ (по вариантам, см. Приложение).

Задача 2

При многократном измерении температуры T в помещении получены значения, °С: 20,2; 20,0; 20,5; 19,7; 20,3; 20,4; 20,1; 20,4. Определите доверительные границы истинного значения температуры с вероятностью $P = \dots$ (по вариантам).

Задача 3

При многократном измерении массы M получены значения, г: 80,2; 80,0; 80,3; 79,7; 80,2; 79,9; 80,1; 80,2; 79,8; 80,0. Определите доверительные границы истинного значения массы с вероятностью $P = \dots$ (по вариантам).

Пример определения результатов косвенных измерений при известных случайных погрешностях аргументов (величин, подвергаемых прямым измерениям).

Коэффициент трения определяется по формуле $k_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} / F_N$. Измерением получены значения $F_{\text{тр}} = 100 \pm 0,8 \text{ Н}$, $F_N = 2000 \pm 15 \text{ Н}$. Запишите результат косвенного определения $k_{\text{тр}}$.

Выражение для погрешности функции нескольких переменных, если погрешности x_i независимы и случайны, будет следующим:

$$\Delta Q = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial Q}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2}.$$

$$\text{Определяем погрешность коэффициента трения } \Delta k_{\text{тр}} = \sqrt{\left(\frac{\partial k_{\text{тр}}}{\partial F_{\text{тр}}} \Delta F_{\text{тр}}\right)^2 + \left(\frac{\partial k_{\text{тр}}}{\partial F_N} \Delta F_N\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{F_N} \Delta F_{\text{тр}}\right)^2 + \left(-\frac{F_{\text{тр}}}{F_N^2} \Delta F_N\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{2000} 0,8\right)^2 + \left(-\frac{100}{2000^2} 15\right)^2} = 0,00055$$

Среднее значение коэффициента трения: $k_{\text{тр}} = 100/2000 = 0,05$.

Результат косвенного определения коэффициента трения $k_{\text{тр}} = 0,05000 \pm 0,00055$.

Задача 4

Электрическое сопротивление нагрузки определяется по закону Ома $R = U/I$. При измерении силы тока и напряжения получены значения $U = (100 \pm \Delta U)$ В, $I = (2 \pm \Delta I)$ А (ΔU , ΔI по вариантам, см. Приложение). Запишите результат косвенного измерения R .

Задача 5

Электрическая мощность определяется по формуле $P = UI$. При измерении силы тока и напряжения получены значения $U = (100 \pm \Delta U)$ В, $I = (2 \pm \Delta I)$ А (ΔU , ΔI по вариантам, см. Приложение). Запишите результат косвенного измерения P .

Задача 6

Сила инерции определяется по формуле $F = ma$. При измерении массы и ускорения получены значения $m = (80 \pm \Delta m)$ кг, $a = (2 \pm \Delta a)$ м/с² (Δm , Δa по вариантам, см. Приложение). Запишите результат косвенного измерения F .

Пример определения результатов косвенных измерений при известных среднеквадратичных погрешностях аргументов (величин, подвергаемых прямым измерениям).

Коэффициент трения определяется по формуле $k_{\text{тр}} = F_{\text{тр}}/F_N$. Измерением получены значения $F_{\text{тр}} = 100$ Н, $F_N = 2000$ Н. Средние квадратичные погрешности измерений: силы трения $S_{F_{\text{тр}}} = 0,8$ Н, силы нормального давления $S_{F_N} = 15$ Н. Определите доверительные границы истинного значения коэффициента трения с вероятностью $P = 0,95$ ($t_p = 1,96$).

Выражение для средней квадратичной погрешности (СКП) функции нескольких независимых переменных, будет следующим:

$$S_Q = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial Q}{\partial x_i} S_{x_i}\right)^2},$$

где S_{x_i} - СКП переменной (аргумента) x_i .

$$S_{k_{\text{тр}}} = \sqrt{\left(\frac{\partial k_{\text{тр}}}{\partial F_{\text{тр}}} S_{F_{\text{тр}}}\right)^2 + \left(\frac{\partial k_{\text{тр}}}{\partial F_N} S_{F_N}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{F_N} S_{F_{\text{тр}}}\right)^2 + \left(-\frac{F_{\text{тр}}}{F_N^2} S_{F_N}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{2000} 0,8\right)^2 + \left(-\frac{100}{2000^2} 15\right)^2} = 0,00055$$

Среднее значение коэффициента трения: $k_{\text{тр}} = 100/2000 = 0,05$.

Доверительный интервал погрешности: $\Delta k_{\text{тр}} = t_p S_{k_{\text{тр}}} = 1,96 * 0,00055 = 0,0011$.

Доверительные границы истинного значения коэффициента трения $k_{\text{тр}} = 0,0500 \pm 0,0011$; $P = 0,95$.

Задача 7

Сила инерции $F=ma$ определяется по результатам измерений массы $m=100$ кг и ускорения $a=1$ м/с². Средние квадратичные погрешности измерений: массы $S_m=...$ кг, ускорения $S_a=...$ м/с² (по вариантам, см. Приложение). Определите доверительные границы истинного значения силы инерции с вероятностью $P=...$ (см. вариант задания), $t_p=...$ (при $n=\infty$).

Задача 8

Электрическое сопротивление нагрузки определяется по закону Ома $R=U/I$. Показания вольтметра $U=110$ В, амперметра $I=3$ А. Средние квадратичные погрешности измерений: напряжения $S_U=...$ В, силы тока $S_I=...$ А (по вариантам, см. Приложение). Определите доверительные границы истинного значения электрического сопротивления нагрузки с вероятностью $P=...$ (см. вариант задания), $t_p=...$ (при $n=\infty$).

Задача 9

Электрическая мощность $P=UI$ определяется по результатам измерений падения напряжения $U=220$ В и силы тока $I=6$ А. Средние квадратичные погрешности измерений: напряжения $S_U=...$ В, силы тока $S_I=...$ А (по вариантам, см. Приложение). Определите доверительные границы истинного значения электрической мощности с вероятностью $P=...$ (см. вариант задания), $t_p=...$ (при $n=\infty$).

Приложение

Варианты задач

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Доверительная вероятность P	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,995	0,998	0,999	0,95	0,98
ΔU , В	1	1,2	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7	1	1,2
ΔI , А	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,05	0,06
Δm , кг	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	0,8	0,9
Δa , м/с ²	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,05	0,06
S_m , кг	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,1	0,11
S_a , м/с ²	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,004	0,005
S_U , В	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	0,8	0,9
S_I , А	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,002	0,003

Критические значения коэффициента Стьюдента (t-критерия) для различной доверительной вероятности p и числа степеней свободы f :

f	p							
	0.80	0.90	0.95	0.98	0.99	0.995	0.998	0.999
1	3.0770	6.3130	12.7060	31.820	63.656	127.656	318.306	636.61
2	1.8850	2.9200	4.3020	6.964	9.924	14.089	22.327	31.599
3	1.6377	2.35340	3.182	4.540	5.840	7.458	10.214	12.924
4	1.5332	2.13180	2.776	3.746	4.604	5.597	7.173	8.610
5	1.4759	2.01500	2.570	3.649	4.0321	4.773	5.893	6.863
6	1.4390	1.943	2.4460	3.1420	3.7070	4.316	5.2070	5.958
7	1.4149	1.8946	2.3646	2.998	3.4995	4.2293	4.785	5.4079
8	1.3968	1.8596	2.3060	2.8965	3.3554	3.832	4.5008	5.0413
9	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498	3.6897	4.2968	4.780
10	1.3720	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693	3.5814	4.1437	4.5869
11	1.363	1.795	2.201	2.718	3.105	3.496	4.024	4.437
12	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0845	3.4284	3.929	4.178
13	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.1123	3.3725	3.852	4.220
14	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.976	3.3257	3.787	4.140
15	1.3406	1.7530	2.1314	2.6025	2.9467	3.2860	3.732	4.072
16	1.3360	1.7450	2.1190	2.5830	2.9200	3.2520	3.6860	4.0150
17	1.3334	1.7396	2.1098	2.5668	2.8982	3.2224	3.6458	3.965
18	1.3304	1.7341	2.1009	2.5514	2.8784	3.1966	3.6105	3.9216

Продолжение таблицы см. на следующей странице.

19	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609	3.1737	3.5794	3.8834
20	1.3253	1.7247	2.08600	2.5280	2.8453	3.1534	3.5518	3.8495
21	1.3230	1.7200	2.2.0790	2.5170	2.8310	3.1350	3.5270	3.8190
22	1.3212	1.7117	2.0739	2.5083	2.8188	3.1188	3.5050	3.7921
23	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073	3.1040	3.4850	3.7676
24	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7969	3.0905	3.4668	3.7454
25	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874	3.0782	3.4502	3.7251
26	1.315	1.705	2.059	2.478	2.778	3.0660	3.4360	3.7060
27	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707	3.0565	3.4210	3.6896
28	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633	3.0469	3.4082	3.6739
29	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564	3.0360	3.3962	3.8494
30	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500	3.0298	3.3852	3.6460
32	1.3080	1.6930	2.0360	2.4480	2.7380	3.0140	3.3650	3.6210
34	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284	3.9520	3.3479	3.6007
36	1.3050	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195	9.490	3.3326	3.5821
38	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116	3.9808	3.3190	3.5657
40	1.303	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045	3.9712	3.3069	3.5510
42	1.320	1.682	2.018	2.418	2.6980	2.6930	3.2960	3.5370
44	1.301	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923	3.9555	3.2861	3.5258
46	1.300	1.6767	2.0129	2.4102	2.6870	3.9488	3.2771	3.5150
48	1.299	1.6772	2.0106	2.4056	2.6822	3.9426	3.2689	3.5051

Продолжение таблицы см. на следующей странице.

50	1.298	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778	3.9370	3.2614	3.4060
55	1.2997	1.673	2.0040	2.3960	2.6680	2.9240	3.2560	3.4760
60	1.2958	1.6706	2.0003	2.3901	2.6603	3.9146	3.2317	3.4602
65	1.2947	1.6686	1.997	2.3851	2.6536	3.9060	3.2204	3.4466
70	1.2938	1.6689	1.9944	2.3808	2.6479	3.8987	3.2108	3.4350
80	1.2820	1.6640	1.9900	2.3730	2.6380	2.8870	3.1950	3.4160
90	1.2910	1.6620	1.9867	2.3885	2.6316	2.8779	3.1833	3.4019
100	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259	2.8707	3.1737	3.3905
120	1.2888	1.6577	1.9719	2.3578	2.6174	2.8598	3.1595	3.3735
150	1.2872	1.6551	1.9759	2.3515	2.6090	2.8482	3.1455	3.3566
200	1.2858	1.6525	1.9719	2.3451	2.6006	2.8385	3.1315	3.3398
250	1.2849	1.6510	1.9695	2.3414	2.5966	2.8222	3.1232	3.3299
300	1.2844	1.6499	1.9679	2.3388	2.5923	2.8279	3.1176	3.3233
400	1.2837	1.6487	1.9659	2.3357	2.5882	2.8227	3.1107	3.3150
500	1.2830	1.6470	1.9640	2.3330	2.7850	2.8190	3.1060	3.3100
∞	1.282	1,645	1,96	2,33	2,576	2,81	3,09	3.291

Работа № 3

Статистическая обработка результатов многократных измерений.

Теоретическая часть

Прямые многократные измерения делятся на равно- и неравноточные. *Равноточными* называются измерения, которые производятся средствами измерения одинаковой точности по одной и той же методике при неизменных внешних условиях. При равноточных измерениях средние квадратические отклонения (СКО) результатов всех рядов измерений равны между собой.

Задача обработки результатов многократных измерений заключается в нахождении оценки измеряемой величины и доверительного интервала, в котором находится её истинное значение. Обработка должна проводиться в соответствии с ГОСТ 8.207-76 «ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Общие положения».

Исходной информацией для обработки является ряд из $n > 4$ результатов измерения $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ из которых исключены известные систематические погрешности - выборка. Число n зависит как от требований к точности получаемого результата, так и от реальной возможности выполнять повторные измерения.

Последовательность обработки результатов прямых многократных измерений состоит из ряда этапов.

1-й этап: определение точечных оценок закона распределения результатов измерений. На этом этапе определяются:

- среднее арифметическое значение измеряемой величины по формуле

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (3.1)$$

где X_i – результат i -го единичного измерения; n – число единичных измерений в ряду.

Величина X , полученная в одной серии измерений, является случайным приближением к $X_{ист}$. Для оценки ее возможных отклонений от $X_{ист}$ (случайной погрешности среднего арифметического значения результата измерений одной и той же величины в одном ряду измерений) определяют среднюю квадратичную погрешность (СКП)

$$S_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}}, \quad (3.2)$$

которая получена из ряда равноточных измерений.

Для оценки рассеяния единичных результатов измерений в ряду равноточных измерений одной и той же физической величины около среднего их значения используют СКП:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \text{ при } n < 20 \quad (3.3)$$

или

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}, \text{ при } n \geq 20, \quad (3.4)$$

отсюда $S_{\bar{X}} = S/\sqrt{n}$, т.е. СКП из серии измерений всегда меньше, чем в каждом отдельном измерении, отсюда следует, что для повышения точности измерений необходимо увеличивать число измерений.

В соответствии с критерием $3S$ грубые погрешности и промахи исключаются, т.е. определяются границы $\bar{X} \pm 3S$, отбрасываются результаты измерений (промахи), выходящие за эти границы, после чего проводится повторный расчёт оценок среднего арифметического значения и его СКП.

2-й этап: определение закона распределения результатов измерения.

Первым шагом при идентификации закона распределения является построение по исправленным результатам измерения X_i , где $i = 1, 2, \dots, n$, *вариационного ряда* (упорядоченной выборки), в котором результаты измерения (или их отклонения от среднего арифметического) располагают в порядке возрастания от X_{min} до X_{max} . Далее этот ряд разбивается на оптимальное число m , как правило, одинаковых *интервалов группирования* длиной, которая вычисляется по формуле:

$$h = (X_{max} - X_{min})/m, \quad (3.5)$$

где m – число интервалов, находящееся в пределах от $m_{min} = 0,55 n^{0,4}$ до $m_{max} = 1,25 n^{0,4}$ (рекомендую принять $m=5$).

Искомое значение m должно быть нечётным, так как при чётном m в ост-ровершинном или двухмодальном симметричном распределении результатов измерения в центре гистограммы оказываются два равных по высоте столбца и середина кри-

вой распределения искусственно уплощается. В случае, если гистограмма распределения явно двухмодальная, число столбцов может быть увеличено в 1,5—2 раза, чтобы на каждый из двух максимумов приходилось примерно по m интервалов. Полученное значение длины интервала группирования h всегда округляют в большую сторону, иначе последняя точка окажется за пределами крайнего интервала (эта точка должна быть внутри него).

Далее определяют интервалы группирования экспериментальных данных в виде $x_0 \dots x_1; x_1 \dots x_2; \dots; x_{k-1} \dots x_k$ и подсчитывают число попаданий n_k результатов измерения в каждый интервал группирования. Сумма этих чисел должна равняться числу измерений. По полученным значениям рассчитывают вероятности попадания результатов измерения (частоты) в каждый из интервалов группирования по формуле $P_k = n_k/n$ и кумулятивную (накопленную) частоту:

$$F_k = \sum_1^k P_k, \quad (3.6)$$

где k – номер строки в табл. 3.1 с результатами расчетов.

Результаты расчетов

Таблица 3.1

№ строки	интервал	Число наблюдений n_k	Частота P_k	Кумулятивная частота F_k
1	$x_0 \dots x_1$	n_1	n_1/n	n_1/n
2	$x_1 \dots x_2$	n_2	n_2/n	$(n_1+n_2)/n$
....
k	$x_{k-1} \dots x_k$	n_k	n_k/n	$(n_1+n_2+\dots+n_k)/n$

Проведенные расчёты позволяют построить гистограмму, полигон и кумулятивную кривую. Используем данные второго, четвёртого и пятого столбцов таблицы. Для построения гистограммы по оси результатов наблюдений x (рис. 3.3а) откладываются интервалы группирования в порядке возрастания номеров и на каждом интервале строится прямоугольник высотой P_k . При увеличении числа интервалов и, соответственно, при уменьшении их длины гистограмма всё более приближается к гладкой кривой-графику плотности распределения вероятности. Следует отметить, что в ряде случаев производят расчётное симметрирование гистограммы.

Полигон представляет собой ломаную кривую, соединяющую середины верхних оснований каждого столбца гистограммы (рис. 3.3а). Он более наглядно, чем гистограмма, отражает форму кривой распределения. За пределами гистограммы справа и слева остаются пустые интервалы, в которых точки, соответствующие их серединам, лежат на оси абсцисс. Эти точки при построении полигона соединяют между собой отрезками прямых линий. В результате совместно с осью x образуется замкнутая фигура, площадь которой пропорциональна числу наблюдений n .

Кумулятивная кривая - это график статистической функции распределения. Для её построения по оси результатов наблюдений x (рис. 3.3б) откладывают интервалы группирования в порядке возрастания номеров и на каждом интервале строят прямоугольник высотой F_k .

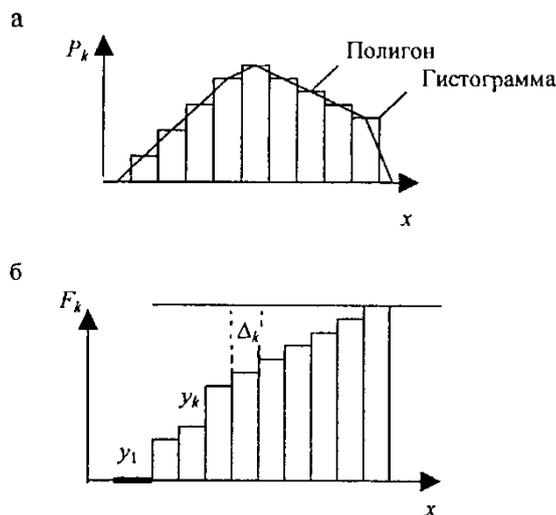


Рис.3.3. Гистограмма:
Полигон (а) и кумулятивная кривая (б)

По виду построенных зависимостей может быть оценен закон распределения результатов измерения.

3-й этап: оценка закона распределения по статистическим критериям и идентификация формы распределения результатов измерения. В качестве способа оценки близости распределения выборки экспериментальных данных к принятой аналитической модели закона распределения используются критерии согласия. Известен целый ряд критериев согласия, предложенных разными авторами. При числе наблюдений $n > 50$ для идентификации закона распределения используется критерий Пирсона или критерий Мизеса - Смирнова. При числе наблюдений $50 > n > 15$ для проверки нормальности закона распределения применяется составной критерий (d-критерий), приведенный в ГОСТ 8.207 - 76. При числе наблюдений $n < 15$ принадлежность экспериментального распределения к нормальному не проверяется.

Наибольшее распространение в практике получил критерий Пирсона. Идея этого метода состоит в контроле отклонений гистограммы экспериментальных данных от гистограммы с таким же числом интервалов, построенной на основе распределения, совпадение с которым определяется. Использование критерия Пирсона возможно при большом числе измерений ($n > 50$) и заключается в вычислении величины χ^2 (хи-квадрат):

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(n_i - N_i)^2}{N_i} \quad (3.7)$$

где n_i ; N_i - экспериментальные и теоретические значения частот в i -м интервале разбиения; m - число интервалов разбиения.

При $n \rightarrow \infty$ случайная величина χ^2 имеет распределение Пирсона с так называемым числом степеней свободы $V = m - 1 - r$, где r - число определяемых по статистике параметров, необходимых для совмещения модели и гистограммы. Для нормального закона распределения $r = 2$, так как закон однозначно характеризуется указанием двух его параметров - математического ожидания и СКП.

Если бы выбранная модель в центрах всех m столбцов совпадала с экспериментальными данными, то все m разностей $(n_i - N_i)$ были бы равны нулю, а следовательно,

и значение критерия также было бы равно нулю. Таким образом, χ^2 есть мера суммарного отклонения между моделью и экспериментальным распределением.

Критерий χ^2 не инвариантен числу столбцов и существенно возрастает с увеличением их числа. Поэтому для использования его при разном числе столбцов составлены таблицы квантилей распределения χ^2 , входом в которые служит число степеней свободы V . Чтобы совместить модель, соответствующую нормальному закону, с гистограммой, необходимо совместить координату центра, а для того, чтобы ширина модели соответствовала ширине гистограммы, её нужно задать как $r=2$ и $V=m-3$.

Если вычисленная по опытным данным мера расхождения χ^2 меньше определённого из таблицы значения χ^2_{q} , то гипотеза о совпадении экспериментального и выбранного теоретического распределений принимается. Это не значит, что гипотеза верна. Можно лишь утверждать, что она правдоподобна, т.е. она не противоречит опытным данным. Если же χ^2 выходит за границы доверительного интервала, то гипотеза отвергается как противоречащая опытным данным.

Методика определения соответствия экспериментального и принятого законов распределения заключается в следующем: определяют оценки среднего арифметического значения \bar{X} и средней квадратической погрешности S по формулам (3.1) ... (3.4); группируют результаты многократных наблюдений по интервалам длиной h , число которых определяют так же, как и при построении гистограммы; для каждого интервала разбиения определяют его центр x_{i0} и подсчитывают число наблюдений n_i , попавших в каждый интервал; вычисляют число наблюдений для каждого из интервалов, теоретически существующее в выбранной аналитической модели распределения. Для этого сначала от реальных середин интервалов x_{i0} производят переход к нормированным серединам $z_i = (x_{i0} - \bar{X}) / S$. Затем для каждого значения z_i с помощью аналитической модели находят значение функции плотности вероятностей $f(z_i)$. Например, для нормального закона значение функции плотности вероятностей равно:

$$f(z_i) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{z_i^2}{2}}.$$

По найденному значению $f(z_i)$ определяют ту часть N_i имеющихся наблюдений, которая теоретически должна быть в каждом из интервалов

$$N_i = n \cdot h \cdot f(z_i) / S,$$

где n - общее число наблюдений; если в какой-либо интервал теоретически попадает меньше пяти наблюдений, то в обеих гистограммах его соединяют с соседним интервалом. После этого определяют число степеней свободы $V = m - 1 - r$, где m - общее число интервалов. Если было произведено укрупнение, то m - число интервалов после укрупнения; по формуле (3.7) определяют показатель разности частот χ^2 , выбирают уровень значимости критерия q , который должен быть небольшим. По уровню значимости и числу степеней свободы V по табл. 3.2 находят границу критической области χ^2_{q} такую, что $P\{\chi^2 > \chi^2_{q}\} = q$. Вероятность того, что полученное значение χ^2 превышает χ^2_{q} , равна q и мала. Поэтому если оказывается, что $\chi^2 > \chi^2_{q}$, то гипотеза о совпадении экспериментального и теоретического законов распределения отвергается. Если же $\chi^2 < \chi^2_{q}$ то гипотеза принимается.

Значения χ^2_q при различном уровне значимости

V	χ^2_q при уровне значимости q , равном								
	0,99	0,95	0,9	0,8	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02
2	0,02	0,10	0,21	0,45	1,39	3,22	4,61	5,99	7,82
4	0,30	0,71	1,06	1,65	3,36	5,99	7,78	9,49	11,67
6	0,87	1,63	2,20	3,07	5,35	8,56	10,65	12,59	15,03
8	1,65	2,73	3,49	4,59	7,34	11,03	13,36	15,51	18,17
10	2,56	3,94	4,87	6,18	9,34	13,44	15,99	18,31	21,16
12	3,57	5,23	6,30	7,81	11,34	15,81	18,55	21,03	24,05
14	4,66	6,57	7,79	9,47	13,34	18,15	21,06	23,69	26,87
16	5,81	7,96	9,31	11,20	15,34	20,46	23,54	26,30	29,63
20	8,26	10,85	12,44	14,58	19,34	25,04	28,41	31,41	35,02
25	11,52	14,61	16,47	18,94	24,34	30,68	34,38	37,65	41,57
30	14,95	18,46	20,60	23,36	29,34	36,25	40,26	43,77	47,96

Чем меньше q , тем больше значение χ^2_q (при том же числе степеней свободы V), тем легче выполняется условие $\chi^2 < \chi^2_q$ и принимается проверяемая гипотеза. Не рекомендуется принимать $0,02 \leq q \leq 0,1$ (рекомендую принять $q=0,2$ и $\chi^2_q=3,22$).

4-й этап: определение доверительных границ случайной погрешности. Если удалось идентифицировать (гипотеза принимается) закон распределения результатов измерения, то с его использованием находят квантильный множитель t_p при заданном значении доверительной вероятности P . В этом случае доверительные границы случайной погрешности имеют вид:

$$\Delta_p = \pm t_p \cdot S_{\bar{x}}. \quad (3.8)$$

Обычно задаются доверительной вероятностью, равной одной из следующих величин: 0,90; 0,95; 0,99; 0,999, что при нормальном законе распределения и при $n=\infty$ соответствует значениям t_p , равным 1,645; 1,96; 2,576 и 3,291.

5-й этап: определение границы Θ неисключённой систематической погрешности результата измерения.

Под этими границами понимают найденные нестатистическими методами границы интервала, внутри которого находится неисключённая систематическая погрешность. Она образуется из ряда составляющих: как правило, из погрешностей метода и средств измерений, а также из субъективной погрешности. Границы неисключённой систематической погрешности принимаются равными пределам допускаемых основных и дополнительных погрешностей средств измерения, если их случайные составляющие пренебрежимо малы. Доверительная вероятность при определении границ принимается равной доверительной вероятности, используемой при нахождении границ случайной погрешности.

Если известно, что погрешности результата измерений определяются рядом составляющих неисключённых систематических погрешностей, каждая из которых имеет свои доверительные границы, то при известных законах распределения границы неисключённой суммарной систематической составляющей погрешности результата находят по формуле:

$$\Theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^p \Theta_i^2},$$

где Θ_i - границы отдельных составляющих общим числом p ; k - коэффициент, принимаемый равным 1,1 при доверительной вероятности $P=0,95$ и 1,4 при $P=0,99$.

6-й этап: определение доверительных границ погрешности результата измерения. Данная операция осуществляется путём суммирования СКП случайной составляющей $S_{\bar{X}}$ и границ неисключённой систематической составляющей Θ в зависимости от соотношения

$$\Theta / S_{\bar{X}}.$$

Если выполняется условие $\Theta / S_{\bar{X}} < 0,8$, то систематической погрешностью можно пренебречь и определять доверительные границы погрешности результата по формуле (3.8). Если $\Theta / S_{\bar{X}} > 8$, то можно пренебречь случайной погрешностью и тогда $\Delta_p = \Theta$.

Если $0,8 < \Theta / S_{\bar{X}} < 8$, то учитывают и случайную и систематическую составляющие. В этом случае вычисляют среднюю квадратичную погрешность результата как сумму неисключённой систематической и случайной составляющих

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^p \left(\frac{\Theta_i^2}{3} + S_{\bar{X}}^2 \right)}.$$

Границы погрешности результата измерения в этом случае вычисляют по формуле

$$\Delta = K \cdot S_{\Sigma}.$$

Коэффициент K вычисляют по эмпирической формуле

$$K = \frac{\Delta_p + \Theta}{S_{\bar{X}} + \sqrt{\sum_{i=1}^p \left(\frac{\Theta_i^2}{3} \right)}}.$$

7-й этап: запись результата измерения. Результат измерения записывается в виде $x = \bar{X} \pm \Delta_p$ при доверительной вероятности P .

При отсутствии данных о виде функции распределения, составляющих погрешности, результаты измерения представляют в виде \bar{X} , S , n , Θ при доверительной вероятности P .

Практическая часть

Порядок выполнения работы № 3.

1. Определить закон распределения, его параметры и доверительный интервал результатов многократных измерений электрического напряжения в количестве $n > 50$ измерений (см. вариант задания от А до Н в файле Случайные числа.xls, в соответствии с последней цифрой шифра студента). Границы неисключённой суммарной систематической составляющей погрешности результата измерений для данного задания принять $\Theta = \pm 1$ единицу измеренной величины.

2. С помощью критерия Пирсона определить степень близости экспериментального распределения и нормального закона распределения. Сделать вывод о соответствии или несоответствии указанных распределений.

3. В случае соответствия экспериментального и нормального законов распределения результат измерения записать в виде $x = \bar{X} \pm \Delta_p$ при доверительной вероятности P . При несоответствии экспериментального и нормального законов распределения результаты измерения представить в виде \bar{X}, S, n, Θ при доверительной вероятности P .

Лабораторная работа № 4 **Оценка качества программного средства**

Цель работы:

Научиться проводить оценку качества программного средства по различным показателям.

Теоретическая часть

Все программы по характеру использования и категориям пользователей можно разделить на два класса - *утилитарные программы* и *программные продукты (изделия)*.

Утилитарные программы («программы для себя») предназначены для удовлетворения нужд их разработчиков. Чаще всего утилитарные программы выполняют роль сервиса в технологии обработки данных либо являются программами решения функциональных задач, не предназначенных для широкого распространения.

Программные продукты (изделия) предназначены для удовлетворения потребностей пользователей, широкого распространения и продажи.

Существуют и другие варианты легального распространения программных продуктов:

- freeware – бесплатные программы, свободно распространяемые, поддерживаются самим пользователем, который правомочен вносить в них необходимые изменения;
- shareware – некоммерческие (условно-бесплатные) программы, которые могут использоваться, как правило, бесплатно.

Ряд производителей использует OEM - программы (Original Equipment Manufacturer), т.е. встроенные программы, устанавливаемые на компьютеры или поставляемые вместе с вычислительной техникой.

Программные продукты (ПП) могут создаваться как:

- индивидуальная разработка под заказ;
- разработка для массового распространения среди пользователей.

Основными характеристиками программ являются:

- алгоритмическая сложность (логика алгоритмов обработки информации);
- состав и глубина проработки реализованных функций обработки;
- полнота и системность функций обработки;
- объём файлов программ;
- требования к операционной системе и техническим средствам обработки со стороны программного средства;
- объём дисковой памяти;
- размер оперативной памяти для запуска программ;
- тип процессора;
- версия операционной системы;
- наличие вычислительной сети и др.

Программные продукты имеют многообразие показателей качества, которые отражают различные аспекты.

Основная характеристика программного продукта – это его общая полезность, которая включает в себя мобильность, исходную полезность и удобство эксплуатации.

Мобильность ПП означает их независимость от технического комплекса системы обработки данных, операционной среды, сетевой технологии обработки данных, специфики предметной области и т.п. Мобильный (многоплатформный) программный продукт может быть установлен на различных моделях компьютеров и операционных систем, без ограничений на его эксплуатацию в условиях вычислительной сети. Функции обработки такого программного продукта для массового использования без каких-либо изменений.

Исходная полезность характеризуется следующими показателями:

- надежность;
- эффективность;
- учет человеческого фактора;

Надежность работы ПП определяется бесбойностью и устойчивостью в работе программ, точностью выполнения предписанных функций обработки, возможностью диагностики возникающих в процессе работы программ ошибок.

Эффективность ПП оценивается как с позиций прямого его назначения – требований пользователя, так и сточки зрения расхода вычислительных ресурсов, необходимых для его эксплуатации. Расход вычислительных ресурсов оценивается через объём внешней памяти для размещения программ и объём оперативной памяти для запуска

программ.

Учёт человеческого фактора означает обеспечение дружественного интерфейса для работы конечного пользователя, наличие контекстно-зависимой подсказки или обучающей системы в составе программного средства, хорошей документации для освоения и использования, заложенных в программном средстве функциональных возможностей, анализ и диагностику возникших ошибок и др.

Удобство эксплуатации включает следующие показатели качества:

- модифицируемость;

- коммуникативность.

Модифицируемость ПП означает способность к внесению изменений, например расширение функций обработки, переход на другую техническую базу обработки и т.п.

Коммуникативность ПП основана на максимально возможной их интеграции с другими программами, обеспечении обмена данными в общих форматах представления (экспорт/импорт баз данных, внедрение или связывание объектов обработки и др.).

Естественно, что в условиях существования рынка программных продуктов важными характеристиками являются: стоимость; количество продаж; длительность продаж (время нахождения на рынке); известность фирмы-разработчика и программы; наличие программных продуктов аналогического назначения.

Для оценки качества программного средства (ПС) используются различные способы получения информации о нём:

- измерительный – основан на получении информации о свойствах и характеристиках ПС с использованием инструментальных средств (например, объём ПС);

- регистрационный – получение информации во время испытаний или функционирования ПС, когда регистрируется и подсчитываются определённые события (число сбоев и отказов и др.);

- органолептический – анализ восприятия органов чувств, служащий для определения таких показателей как удобство применения ПС, его эффективность и др.;

- расчётный – на ранних этапах разработки применяются теоретические и эмпирические зависимости, статистические данные, накапливаемые при испытаниях, эксплуатации и сопровождении ПС;

- экспертный - рекомендован к применению при определении показателей наглядности, полноты и доступности программной документации, легкости освоения, структурности;

- социологические – основаны на обработке специальных анкет-вопросников.

Качество ПС определяется путём сравнения полученных расчётных значений показателей с соответствующими базовыми значениями показателей существующего аналога или расчётного ПС, принимаемого за эталонный образец.

Значения базовых показателей ПС должны соответствовать значениям показателей, отражающих современный уровень качества и прогнозируемый мировой уровень. В качестве аналогов выбираются реально существующие ПС того же функционального значения, что и сравниваемое, с такими же основными параметрами, подобной структуры и применяемые в тех же условиях эксплуатации.

Практическая часть

Задание на лабораторную работу:

1. Разработать собственный калькулятор.
2. Сравнить два программных продукта: калькулятор фирмы Microsoft и калькулятор, написанный студентами. Сравнение проводить по следующим оценочным элементам: надежность ПС, сопровождаемость, корректность.

Выполнение работы:

Калькулятор фирмы Microsoft

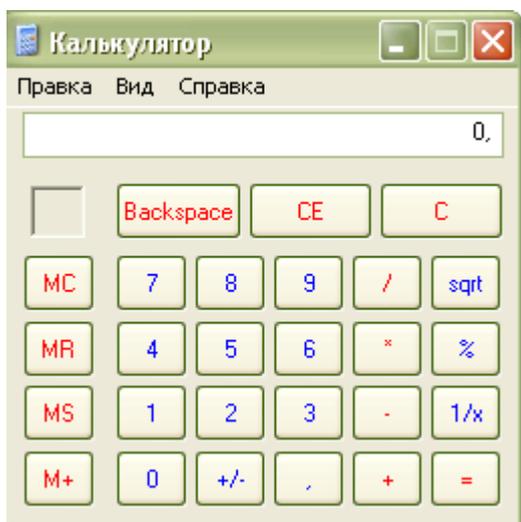


Рис.1 Калькулятор фирмы Microsoft

Мой калькулятор.

Я разработал(а) свой калькулятор в среде

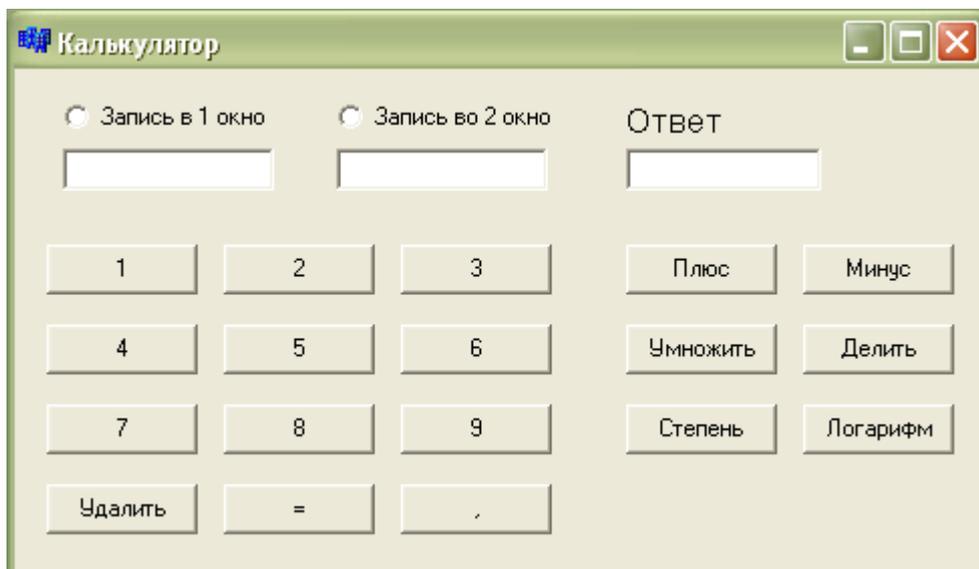


Рис.2.Калькулятор общий вид.

Сравнение программных продуктов по оценочным элементам:

Оценочные элементы фактора «Надежность ПС»

Таблица 1

Код элемента	Наименование	Метод оценки	Оценка калькулятора Microsoft	Оценка калькулятора
H0101	Наличие требований к программе по устойчивости функционирования при наличии ошибок во входных данных	Экспертный	1	1
H0102	Возможность обработки ошибочных ситуаций	Экспертный	1	1
H0103	Полнота обработки ошибочных ситуаций	Экспертный	1	1
H0104	Наличие тестов для проверки допустимых значений входных данных	Экспертный	1	0
H0105	Наличие системы контроля полноты входных данных	Экспертный	0	0
H0106	Наличие средств контроля корректности входных данных	Экспертный	1	0

H0201	Наличие требований к программе по восстановлению процесса выполнения в случае сбоя операционной системы, процессора, внешних устройств	Экспертный	1	1
H0202	Наличие требований к программе по восстановлению результатов при отказах процессора и операционной системы	Экспертный	1	1
H0203	Наличие средств восстановления процесса в случае сбоев оборудования	Экспертный	1	0
H0205	Наличие возможности повторного старта с точки прерывания	Экспертный	0	0
H0110	Наличие обработки неопределенностей	Экспертный	1	1
H0301	Наличие централизованного управления процессами, конкурирующими из-за ресурсов	Экспертный	1	1
H0302	Наличие возможности автоматически обходить ошибочные ситуации в процессе вычисления	Экспертный	0	0
Всего			10	7

Оценочные элементы фактора «сопровождаемость»

Таблица 2

Код элемента	Наименование	Метод оценки	Оценка калькулятора Microsoft	Оценка калькулятора
C0803	Наличие комментариев в точках входа и выхода программы	Экспертный	0	0
C0303	Осуществляется ли передача	Экспертный	0	0

	результатов работы модуля через вызывающий его модуль			
C0604	Оценка программы по числу циклов	Экспертный	0	0
C1001	Используется ли язык высокого уровня	Экспертный	1	1
C0301	Наличие проверки корректности передаваемых данных	Экспертный	0	0
C0601	Использование при построении программ метода структурного программирования	Экспертный	1	0
C0602	Соблюдение принципа разработки программы сверху вниз	Экспертный	1	1
C0201	Наличие ограничений на размеры модуля	Экспертный	0	0
C0101	Наличие модульной схемы программы	Экспертный	1	1
		Всего	4	3

Оценочные элементы фактора «корректность»

Таблица 3

Код элемента	Наименование	Метод оценки	Оценка калькулятора Microsoft	Оценка калькулятора
K0101	Наличие всех необходимых документов для понимания и использования ПС	Экспертный	1	1
K0102	Наличие описания и схемы иерархии модулей программы	Экспертный	0	0
K0103	Наличие описания основных функций	Экспертный	1	1
K0104	Наличие описания	Экспертный	1	0

	частных функций			
K0105	Наличие описания данных	Экспертный	0	0
K0106	Наличие описания алгоритмов	Экспертный	0	0
K0107	Наличие описания интерфейсов между модулями	Экспертный	0	0
K0111	Наличие описания всех параметров	Экспертный	0	0
K0112	Наличие описания методов настройки системы	Экспертный	0	0
K0114	Наличие описания способов проверки работоспособности программы	Экспертный	0	0
K0201	Реализация всех исходных модулей	Экспертный	1	1
K0202	Реализация всех основных функций	Экспертный	1	1
K0203	Реализация всех частных функций	Экспертный	1	0
K0204	Реализация всех алгоритмов	Экспертный	1	1
K0209	Наличие определения всех данных: переменные, индексы, массивы и пр.	Экспертный	0	0
K0210	Наличие интерфейсов с пользователем	Экспертный	1	1
K0401	Отсутствие противоречий в выполнении основных функций	Экспертный	1	1
K0402	Отсутствие противоречий в выполнении частных функций	Экспертный	1	0
K0403	Отсутствие противоречий в выполнении алгоритмов	Экспертный	1	1
K0404	Правильность	Экспертный	1	1

	взаимосвязей			
K0406	Правильность реализации интерфейса с пользователем	Экспертный	1	1
K0407	Отсутствие противоречий в настройке системы	Экспертный	1	1
K0701	Комплектность документации в соответствии со стандартами	Экспертный	1	1
Всего			15	12

Вывод:

Разработанный мною калькулятор немного уступает калькулятору, разработанному фирмой Microsoft, и нуждается в небольшой доработке, в частности, ... (указываете конкретные недостатки разработанного калькулятора)

Наряду с указанными недостатками, следует отметить, что мой калькулятор имеет следующие преимущества: ... (указываете конкретные преимущества разработанного калькулятора).