**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Санкт-Петербургский государственный**

**электротехнический университет**

**«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)**

**Кафедра МО ЭВМ**

отчет

**по практической работе №1**

**по дисциплине «Вычислительная математика»**

**Тема: Особенность машинной арифметики, точность вычисление на ЭВМ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студентка гр. 1304 |  | Чернякова В.А. |
| Преподаватель |  | Попова Е.В. |

Санкт-Петербург

2022

## Цель работы.

Изучение особенностей вычисления с плавающей точкой.

## Задание.

Используя готовые программы, выполнить исследования машинной арифметики и точности вычислений на ПЭВМ. Порядок выполнения работы следующий:

1) Исследование распределения нормализованных чисел с плавающей точкой на вещественной оси для различных значений параметров b, m, t.

2) Вычисление значения величины машинного эпсилон при различных значениях константы c.

3) Исследование абсолютных и относительных ошибок округления при вычислениях с плавающей точкой сумм чисел при различных значениях шага суммирования

4) Исследование проявления ошибок округления, возникающих при вычислении показательной функции e x для чисел с плавающей точкой для двух вариантов алгоритма вычислений, а также скорости сходимости обоих вариантов**.**

## Основные теоретические положения.

Множество F чисел с плавающей запятой характеризуется четырьмя параметрами: основанием системы счисления b, точностью t и интервалом показателей [L, M]. Каждое число x с плавающей запятой, принадлежащее F, имеет следующее значение (1)

(1)

где целые числа удовлетворяют неравенствам и Целое число n называется показателем, а число - дробной частью. Если принять, что

, то *t* называется разрядностью мантиссы, а *m* - разрядностью порядка. Определенная таким образом мантисса оказывается в диапазоне Расположение представленных чисел на числовой оси уже не обладает свойством равномерности.

Действительная машинная реализация представлений чисел с плавающей точкой может отличатся в деталях от рассматриваемой идеальной, однако различия несущественны, и на практике их почти всегда можно игнорировать, анализируя основные проблемы ошибок округления. Величина является оценкой относительной точности плавающей арифметики, которая характеризуется посредством машинного эпсилон, т.е. наименьшего числа с плавающей точкой ε, такого, что 1+ε>1. Точное значение машинного эпсилон зависит не только то указанных выше параметров, но и от принятого способа округления. В вычислительных машинах используются различные системы чисел с плавающей точкой, причем в некоторых ЭВМ несколько систем. Так, для современных ПЭВМ характерно применение двух систем, которые называются обычной точностью и удвоенной точностью.

На множестве F определены арифметические операции в соответствии с тем, как они выполняются ЭВМ. Эти операции, в свою очередь моделируются в машине посредством приближений, называемых плавающими операциями. Для плавающих операций сложения, вычитания, умножения и деления существует возможность возникновения ошибок округления, переполнения и появления машинного нуля. Следует отметить, что операции плавающего сложения и умножения коммутативны, но не ассоциативны, и дистрибутивный закон для них также не выполняется. Невыполнение указанных алгебраических законов, имеющих фундаментальное значение для математического анализа, приводит к сложности анализа плавающих вычислений и возникающих при этом ошибок.

## Выполнение работы.

*Вариант 2.* **Задание 1.** Вычисление множества чисел с плавающей точкой. Исследовано распределения нормализованных чисел с плавающей точкой на вещественной оси для параметров b = 2, m = 4, t = 5. Результат работы программы см. в табл. 1.

Таблица 1 – Числа, сгенерированные программой при различных значения параметра.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **x[ 0]** | 0.000000 | **x[42]** | 0.000095 | **x[84]** | 0.000580 | **x[126]** | 0.003540 |
| **x[ 1]** | 0.000015 | **x[43]** | 0.000099 | **x[85]** | 0.000610 | **x[127]** | 0.003662 |
| **x[ 2]** | 0.000016 | **x[44]** | 0.000103 | **x[86]** | 0.000641 | **x[128]** | 0.003784 |
| **x[ 3]** | 0.000017 | **x[45]** | 0.000107 | **x[87]** | 0.000671 | **x[129]** | 0.003906 |
| **x[ 4]** | 0.000018 | **x[46]** | 0.000111 | **x[88]** | 0.000702 | **x[130]** | 0.004150 |
| **x[ 5]** | 0.000019 | **x[47]** | 0.000114 | **x[89]** | 0.000732 | **x[131]** | 0.004395 |
| **x[ 6]** | 0.000020 | **x[48]** | 0.000118 | **x[90]** | 0.000763 | **x[132]** | 0.004639 |
| **x[ 7]** | 0.000021 | **x[49]** | 0.000122 | **x[91]** | 0.000793 | **x[133]** | 0.004883 |
| **x[ 8]** | 0.000022 | **x[50]** | 0.000130 | **x[92]** | 0.000824 | **x[134]** | 0.005127 |
| **x[ 9]** | 0.000023 | **x[51]** | 0.000137 | **x[93]** | 0.000854 | **x[135]** | 0.005371 |
| **x[10]** | 0.000024 | **x[52]** | 0.000145 | **x[94]** | 0.000885 | **x[136]** | 0.005615 |
| **x[11]** | 0.000025 | **x[53]** | 0.000153 | **x[95]** | 0.000916 | **x[137]** | 0.005859 |
| **x[12]** | 0.000026 | **x[54]** | 0.000160 | **x[96]** | 0.000946 | **x[138]** | 0.006104 |
| **x[13]** | 0.000027 | **x[55]** | 0.000168 | **x[97]** | 0.000977 | **x[139]** | 0.006348 |
| **x[14]** | 0.000028 | **x[56]** | 0.000175 | **x[98]** | 0.001038 | **x[140]** | 0.006592 |
| **x[15]** | 0.000029 | **x[57]** | 0.000183 | **x[99]** | 0.001099 | **x[141]** | 0.006836 |
| **x[16]** | 0.000030 | **x[58]** | 0.000191 | **x[100]** | 0.001160 | **x[142]** | 0.007080 |
| **x[17]** | 0.000031 | **x[59]** | 0.000198 | **x[101]** | 0.001221 | **x[143]** | 0.007324 |
| **x[18]** | 0.000032 | **x[60]** | 0.000206 | **x[102]** | 0.001282 | **x[144]** | 0.007568 |
| **x[19]** | 0.000034 | **x[61]** | 0.000214 | **x[103]** | 0.001343 | **x[145]** | 0.007812 |
| **x[20]** | 0.000036 | **x[62]** | 0.000221 | **x[104]** | 0.001404 | **x[146]** | 0.008301 |
| **x[21]** | 0.000038 | **x[63]** | 0.000229 | **x[105]** | 0.001465 | **x[147]** | 0.008789 |
| **x[22]** | 0.000040 | **x[64]** | 0.000237 | **x[106]** | 0.001526 | **x[148]** | 0.009277 |
| **x[23]** | 0.000042 | **x[65]** | 0.000244 | **x[107]** | 0.001587 | **x[149]** | 0.009766 |
| **x[24]** | 0.000044 | **x[66]** | 0.000259 | **x[108]** | 0.001648 | **x[150]** | 0.010254 |
| **x[25]** | 0.000046 | **x[67]** | 0.000275 | **x[109]** | 0.001709 | **x[151]** | 0.010742 |
| **x[26]** | 0.000048 | **x[68]** | 0.000290 | **x[110]** | 0.001770 | **x[152]** | 0.011230 |
| **x[27]** | 0.000050 | **x[69]** | 0.000305 | **x[111]** | 0.001831 | **x[153]** | 0.011719 |
| **x[28]** | 0.000051 | **x[70]** | 0.000320 | **x[112]** | 0.001892 | **x[154]** | 0.012207 |
| **x[29]** | 0.000053 | **x[71]** | 0.000336 | **x[113]** | 0.001953 | **x[155]** | 0.012695 |
| **x[30]** | 0.000055 | **x[72]** | 0.000351 | **x[114]** | 0.002075 | **x[156]** | 0.013184 |
| **x[31]** | 0.000057 | **x[73]** | 0.000366 | **x[115]** | 0.002197 | **x[157]** | 0.013672 |
| **x[32]** | 0.000059 | **x[74]** | 0.000381 | **x[116]** | 0.002319 | **x[158]** | 0.014160 |
| **x[33]** | 0.000061 | **x[75]** | 0.000397 | **x[117]** | 0.002441 | **x[159]** | 0.014648 |
| **x[34]** | 0.000065 | **x[76]** | 0.000412 | **x[118]** | 0.002563 | **x[160]** | 0.015137 |
| **x[35]** | 0.000069 | **x[77]** | 0.000427 | **x[119]** | 0.002686 | **x[161]** | 0.015625 |
| **x[36]** | 0.000072 | **x[78]** | 0.000443 | **x[120]** | 0.002808 | **x[162]** | 0.016602 |
| **x[37]** | 0.000076 | **x[79]** | 0.000458 | **x[121]** | 0.002930 | **x[163]** | 0.017578 |
| **x[38]** | 0.000080 | **x[80]** | 0.000473 | **x[122]** | 0.003052 | **x[164]** | 0.018555 |
| **x[39]** | 0.000084 | **x[81]** | 0.000488 | **x[123]** | 0.003174 | **x[165]** | 0.019531 |
| **x[40]** | 0.000088 | **x[82]** | 0.000519 | **x[124]** | 0.003296 | **x[166]** | 0.020508 |
| **x[41]** | 0.000092 | **x[83]** | 0.000549 | **x[125]** | 0.003418 | **x[167]** | 0.021484 |
| **x[168]** | 0.022461 | **x[213]** | 0.156250 | **x[258]** | 1.062500 | **x[303]** | 7.500000 |
| **x[169]** | 0.023437 | **x[214]** | 0.164062 | **x[259]** | 1.125000 | **x[304]** | 7.750000 |
| **x[170]** | 0.024414 | **x[215]** | 0.171875 | **x[260]** | 1.187500 | **x[305]** | 8.000000 |
| **x[171]** | 0.025391 | **x[216]** | 0.179687 | **x[261]** | 1.250000 | **x[306]** | 8.500000 |
| **x[172]** | 0.026367 | **x[217]** | 0.187500 | **x[262]** | 1.312500 | **x[307]** | 9.000000 |
| **x[173]** | 0.027344 | **x[218]** | 0.195312 | **x[263]** | 1.375000 | **x[308]** | 9.500000 |
| **x[174]** | 0.028320 | **x[219]** | 0.203125 | **x[264]** | 1.437500 | **x[309]** | 10.00000 |
| **x[175]** | 0.029297 | **x[220]** | 0.210937 | **x[265]** | 1.500000 | **x[310]** | 10.50000 |
| **x[176]** | 0.030273 | **x[221]** | 0.218750 | **x[266]** | 1.562500 | **x[311]** | 11.00000 |
| **x[177]** | 0.031250 | **x[222]** | 0.226562 | **x[267]** | 1.625000 | **x[312]** | 11.50000 |
| **x[178]** | 0.033203 | **x[223]** | 0.234375 | **x[268]** | 1.687500 | **x[313]** | 12.00000 |
| **x[179]** | 0.035156 | **x[224]** | 0.242187 | **x[269]** | 1.750000 | **x[314]** | 12.50000 |
| **x[180]** | 0.037109 | **x[225]** | 0.250000 | **x[270]** | 1.812500 | **x[315]** | 13.00000 |
| **x[181]** | 0.039062 | **x[226]** | 0.265625 | **x[271]** | 1.875000 | **x[316]** | 13.50000 |
| **x[182]** | 0.041016 | **x[227]** | 0.281250 | **x[272]** | 1.937500 | **x[317]** | 14.00000 |
| **x[183]** | 0.042969 | **x[228]** | 0.296875 | **x[273]** | 2.000000 | **x[318]** | 14.50000 |
| **x[184]** | 0.044922 | **x[229]** | 0.312500 | **x[274]** | 2.125000 | **x[319]** | 15.00000 |
| **x[185]** | 0.046875 | **x[230]** | 0.328125 | **x[275]** | 2.250000 | **x[320]** | 15.50000 |
| **x[186]** | 0.048828 | **x[231]** | 0.343750 | **x[276]** | 2.375000 | **x[321]** | 16.00000 |
| **x[187]** | 0.050781 | **x[232]** | 0.359375 | **x[277]** | 2.500000 | **x[322]** | 17.00000 |
| **x[188]** | 0.052734 | **x[233]** | 0.375000 | **x[278]** | 2.625000 | **x[323]** | 18.00000 |
| **x[189]** | 0.054687 | **x[234]** | 0.390625 | **x[279]** | 2.750000 | **x[324]** | 19.00000 |
| **x[190]** | 0.056641 | **x[235]** | 0.406250 | **x[280]** | 2.875000 | **x[325]** | 20.00000 |
| **x[191]** | 0.058594 | **x[236]** | 0.421875 | **x[281]** | 3.000000 | **x[326]** | 21.00000 |
| **x[192]** | 0.060547 | **x[237]** | 0.437500 | **x[282]** | 3.125000 | **x[327]** | 22.00000 |
| **x[193]** | 0.062500 | **x[238]** | 0.453125 | **x[283]** | 3.250000 | **x[328]** | 23.00000 |
| **x[194]** | 0.066406 | **x[239]** | 0.468750 | **x[284]** | 3.375000 | **x[329]** | 24.00000 |
| **x[195]** | 0.070312 | **x[240]** | 0.484375 | **x[285]** | 3.500000 | **x[330]** | 25.00000 |
| **x[196]** | 0.074219 | **x[241]** | 0.500000 | **x[286]** | 3.625000 | **x[331]** | 26.00000 |
| **x[197]** | 0.078125 | **x[242]** | 0.531250 | **x[287]** | 3.750000 | **x[332]** | 27.00000 |
| **x[198]** | 0.082031 | **x[243]** | 0.562500 | **x[288]** | 3.875000 | **x[333]** | 28.00000 |
| **x[199]** | 0.085937 | **x[244]** | 0.593750 | **x[289]** | 4.000000 | **x[334]** | 29.00000 |
| **x[200]** | 0.089844 | **x[245]** | 0.625000 | **x[290]** | 4.250000 | **x[335]** | 30.00000 |
| **x[201]** | 0.093750 | **x[246]** | 0.656250 | **x[291]** | 4.500000 | **x[336]** | 31.00000 |
| **x[202]** | 0.097656 | **x[247]** | 0.687500 | **x[292]** | 4.750000 | **x[337]** | 32.00000 |
| **x[203]** | 0.101562 | **x[248]** | 0.718750 | **x[293]** | 5.000000 | **x[338]** | 34.00000 |
| **x[204]** | 0.105469 | **x[249]** | 0.750000 | **x[294]** | 5.250000 | **x[339]** | 36.00000 |
| **x[205]** | 0.109375 | **x[250]** | 0.781250 | **x[295]** | 5.500000 | **x[340]** | 38.00000 |
| **x[206]** | 0.113281 | **x[251]** | 0.812500 | **x[296]** | 5.750000 | **x[341]** | 40.00000 |
| **x[207]** | 0.117187 | **x[252]** | 0.843750 | **x[297]** | 6.000000 | **x[342]** | 42.00000 |
| **x[208]** | 0.121094 | **x[253]** | 0.875000 | **x[298]** | 6.250000 | **x[343]** | 44.00000 |
| **x[209]** | 0.125000 | **x[254]** | 0.906250 | **x[299]** | 6.500000 | **x[344]** | 46.00000 |
| **x[210]** | 0.132812 | **x[255]** | 0.937500 | **x[300]** | 6.750000 | **x[345]** | 48.00000 |
| **x[211]** | 0.140625 | **x[256]** | 0.968750 | **x[301]** | 7.000000 | **x[346]** | 50.00000 |
| **x[212]** | 0.148437 | **x[257]** | 1.000000 | **x[302]** | 7.250000 | **x[347]** | 52.00000 |
| **x[348]** | 54.00000 | **x[393]** | 384.0000 | **x[438]** | 2688.000 | **x[483]** | 18432.00 |
| **x[349]** | 56.00000 | **x[394]** | 400.0000 | **x[439]** | 2816.000 | **x[484]** | 19456.00 |
| **x[350]** | 58.00000 | **x[395]** | 416.0000 | **x[440]** | 2944.000 | **x[485]** | 20480.00 |
| **x[351]** | 60.00000 | **x[396]** | 432.0000 | **x[441]** | 3072.000 | **x[486]** | 21504.00 |
| **x[352]** | 62.00000 | **x[397]** | 448.0000 | **x[442]** | 3200.000 | **x[487]** | 22528.00 |
| **x[353]** | 64.00000 | **x[398]** | 464.0000 | **x[443]** | 3328.000 | **x[488]** | 23552.00 |
| **x[354]** | 68.00000 | **x[399]** | 480.0000 | **x[444]** | 3456.000 | **x[489]** | 24576.00 |
| **x[355]** | 72.00000 | **x[400]** | 496.0000 | **x[445]** | 3584.000 | **x[490]** | 25600.00 |
| **x[356]** | 76.00000 | **x[401]** | 512.0000 | **x[446]** | 3712.000 | **x[491]** | 26624.00 |
| **x[357]** | 80.00000 | **x[402]** | 544.0000 | **x[447]** | 3840.000 | **x[492]** | 27648.00 |
| **x[358]** | 84.00000 | **x[403]** | 576.0000 | **x[448]** | 3968.000 | **x[493]** | 28672.00 |
| **x[359]** | 88.00000 | **x[404]** | 608.0000 | **x[449]** | 4096.000 | **x[494]** | 29696.00 |
| **x[360]** | 92.00000 | **x[405]** | 640.0000 | **x[450]** | 4352.000 | **x[495]** | 30720.00 |
| **x[361]** | 96.00000 | **x[406]** | 672.0000 | **x[451]** | 4608.000 | **x[496]** | 31744.00 |
| **x[362]** | 100.0000 | **x[407]** | 704.0000 | **x[452]** | 4864.000 | **x[496]** | 31744.00 |
| **x[363]** | 104.0000 | **x[408]** | 736.0000 | **x[453]** | 5120.000 |
| **x[364]** | 108.0000 | **x[409]** | 768.0000 | **x[454]** | 5376.000 |
| **x[365]** | 112.0000 | **x[410]** | 800.0000 | **x[455]** | 5632.000 |
| **x[366]** | 116.0000 | **x[411]** | 832.0000 | **x[456]** | 5888.000 |
| **x[367]** | 120.0000 | **x[412]** | 864.0000 | **x[457]** | 6144.000 |
| **x[368]** | 124.0000 | **x[413]** | 896.0000 | **x[458]** | 6400.000 |
| **x[369]** | 128.0000 | **x[414]** | 928.0000 | **x[459]** | 6656.000 |
| **x[370]** | 136.0000 | **x[415]** | 960.0000 | **x[460]** | 6912.000 |
| **x[371]** | 144.0000 | **x[416]** | 992.0000 | **x[461]** | 7168.000 |
| **x[372]** | 152.0000 | **x[417]** | 1024.000 | **x[462]** | 7424.000 |
| **x[373]** | 160.0000 | **x[418]** | 1088.000 | **x[463]** | 7680.000 |
| **x[374]** | 168.0000 | **x[419]** | 1152.000 | **x[464]** | 7936.000 |
| **x[375]** | 176.0000 | **x[420]** | 1216.000 | **x[465]** | 8192.000 |
| **x[376]** | 184.0000 | **x[421]** | 1280.000 | **x[466]** | 8704.000 |
| **x[377]** | 192.0000 | **x[422]** | 1344.000 | **x[467]** | 9216.000 |
| **x[378]** | 200.0000 | **x[423]** | 1408.000 | **x[468]** | 9728.000 |
| **x[379]** | 208.0000 | **x[424]** | 1472.000 | **x[469]** | 10240.00 |
| **x[380]** | 216.0000 | **x[425]** | 1536.000 | **x[470]** | 10752.00 |
| **x[381]** | 224.0000 | **x[426]** | 1600.000 | **x[471]** | 11264.00 |
| **x[382]** | 232.0000 | **x[427]** | 1664.000 | **x[472]** | 11776.00 |
| **x[383]** | 240.0000 | **x[428]** | 1728.000 | **x[473]** | 12288.00 |
| **x[384]** | 248.0000 | **x[429]** | 1792.000 | **x[474]** | 12800.00 |
| **x[385]** | 256.0000 | **x[430]** | 1856.000 | **x[475]** | 13312.00 |
| **x[386]** | 272.0000 | **x[431]** | 1920.000 | **x[476]** | 13824.00 |
| **x[387]** | 288.0000 | **x[432]** | 1984.000 | **x[477]** | 14336.00 |
| **x[388]** | 304.0000 | **x[433]** | 2048.000 | **x[478]** | 14848.00 |
| **x[389]** | 320.0000 | **x[434]** | 2176.000 | **x[479]** | 15360.00 |
| **x[390]** | 336.0000 | **x[435]** | 2304.000 | **x[480]** | 15872.00 |
| **x[391]** | 352.0000 | **x[436]** | 2432.000 | **x[481]** | 16384.00 |
| **x[392]** | 368.0000 | **x[437]** | 2560.000 | **x[482]** | 17408.00 |

Рисунок 1 – график неравномерного распределения нормализованных чисел с плавающей точкой.

Вывод: По графику, представленному на рис. 1, можно сделать вывод, что распределение нормализованных чисел с плавающей точкой происходит неравномерно.

**Задание 2.** Вычисление значения величины машинного эпсилон при различных значениях константы c. В табл. 2 представлено вычисление значения eps(c) для различных значений с, в диапазоне 0 < c < 215.

Таблица 2 – значения eps(c) для различных значений c.

|  |  |
| --- | --- |
| **c** | **eps(c)** |
| 5 | 0.00000000000000000043 |
| 25 | 0.00000000000000000173 |
| 125 | 0.00000000000000000693 |
| 625 | 0.00000000000000005551 |
| 3125 | 0.00000000000000022204 |

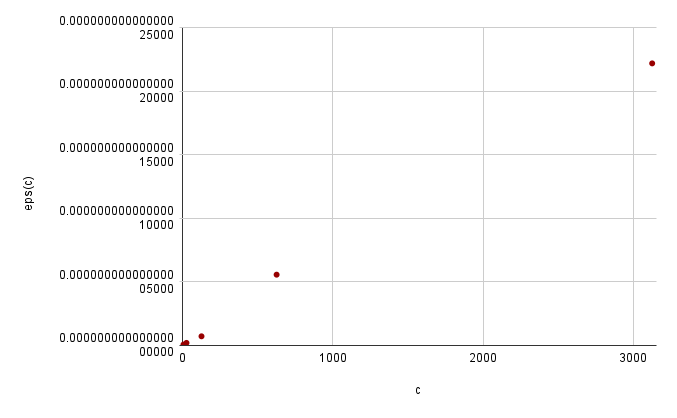


Рисунок 2 – график зависимости значения eps(c) от значения c.

Вывод: При увеличении значения c, значение eps(c) также увеличивается. Данная зависимость представлена на рис. 2.

**Задание 3.** Исследование абсолютных и относительных ошибок округления при вычислениях с плавающей точкой сумм чисел при различных значениях шага суммирования. Результат вычислений см. табл. 3.

Таблица 3 – Значения абсолютных и относительных ошибок округления при вычислениях сумм чисел с плавающей точкой

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **N** | **x-dx** | **(x-dx)/dx** |
| 1 | 0.0000000000 | 0.000000 % |
| 6 | 0.0000000596 | 0.000006 % |
| 36 | 0.0000000596 | 0.000006 % |
| 216 | 0.0000000931 | 0.000009 % |
| 1296 | 0.0000000680 | 0.000007 % |
| 7776 | 0.0000000303 | 0.000003 % |

Вывод: С каждым шагом абсолютная погрешность менялась в пределах от 0 до 9.31E-08, а относительная погрешность 0% до 9.00E-06% для каждого шага суммирования.

**Задание 4.** Исследование проявления ошибок округления, возникающих при вычислении показательной функции ex для чисел с плавающей точкой для двух вариантов алгоритма вычислений, а также скорости сходимости обоих вариантов.

Значение функции ex вычисляется в виде суммы ряда Тейлора:

ex = 1 + x + x2/2! + x3/3! + … + xN/N! ,

где N –число членов ряда, которое выбирается из условия:

xN/N! < e

Результаты алгоритма сравниваются с соответствующими результатами, полученными с использованием улучшенного алгоритма, где x разлагается на целую и дробную часть:

x = m + f, ex = em\*ef

Полученные сведения представлены в табл. 4, 5, 6.

Таблицы 4, 5, 6 – проявление ошибок округления, возникающих при вычислении показательной функции ex.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **x** | **Ɛ** | **Абс.погр.** | **Отн.погр** |
|
| 54 | 0.001 | 805306368.000000000000000 | 0.000000% |
| 12,346 | 0.001 | 7.133216975807542 | 0.003101% |
| 2 | 0.001 | 0.000061389935940 | 0.000831% |
| 4326,12 | 0.001 | 2.284324715758488e+307 | 11.274349% |
| 5000 | 0.001 | 0.000000000000000 | 0.000000% |
| 103 | 0.001 | 3.010670175542045e+30 | 0.000000% |
| 231,6 | 0.001 | 1.486006145271860e+96 | 0.003885% |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **x** | **Ɛ** | **Ряд Тейлора** | |
| **i** | **s** |
| 54 | 0.001 | 1 | 283075330327468550000000.00000000000 |
| 12,346 | 0.001 | 4 | 230030.849512665824000 |
| 2 | 0.001 | 1 | 7.389056098930649 |
| 4326,12 | 0.001 | 3 | 1.797693134862316e+308 |
| 5000 | 0.001 | 1 | 1.797693134862316e+308 |
| 103 | 0.001 | 1 | 5.399227610580139e+44 |
| 231,6 | 0.001 | 5 | 3.824557184217788e+100 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **x** | **Ɛ** | **Улучшенный алгоритм** | |
| **i** | **s** |
| 54 | 0.001 | 1 | 283075330327468550000000.00000000000 |
| 12,346 | 0.001 | 4 | 230030.849512665824000 |
| 2 | 0.001 | 1 | 7.389056098930649 |
| 4326,12 | 0.001 | 3 | 1.797693134862316e+308 |
| 5000 | 0.001 | 1 | 1.797693134862316e+308 |
| 103 | 0.001 | 1 | 5.399227610580139e+44 |
| 231,6 | 0.001 | 5 | 3.824557184217788e+100 |

Вывод: Улучшенный алгоритм затрачивает меньше итераций для подсчета значений, в отличие от ряда Тейлора, поэтому по данному критерию является более рациональным в использовании. Также для различных значений x абсолютная погрешность изменялась в диапазоне от 0 до 2,28E+307, в то время как относительная погрешность изменялась в диапазоне от 0 до 1.1274349e+1%.

## Выводы.

В ходе выполнения практической работы были освоены особенности работы при вычислениях с плавающей точкой. Изучено распределение нормализованных чисел с плавающей точкой на вещественной оси. Выявлена зависимость машинного эпсилона от различных значений константы. Проведено сравнение абсолютных и относительных ошибок округления при вычислениях с плавающей точкой сумм чисел при различных значениях шага суммирования. Также исследованы проявления ошибок округления, возникающих при вычислении показательной функции ex для чисел с плавающей точкой для двух вариантов алгоритма вычислений, выявлен более эффективный алгоритм. Таким образом, была изучена машинная арифметика для чисел с плавающей точкой.