

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського”
Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра ІПІ

Звіт

з лабораторної роботи № 1 з дисципліни
«Алгоритми та структури даних 2. Структури даних»

„Проектування і аналіз алгоритмів внутрішнього сортування”

Виконав (ла)

ІП-22, Андреєва Уляна Андріївна
(шифр , прізвище , ім'я, по батькові)

Перевірила

Халус Олена Андріївна

(прізвище , ім'я, по батькові)

Київ 2022

ЗМІСТ

1 МЕТА ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ	3
2 ЗАВДАННЯ	4
3 ВИКОНАННЯ	5
3.1 Аналіз алгоритму на відповідність властивостям	5
3.2 Псевдокод алгоритму	5
3.3 Аналіз часової складності	5
3.4 Програмна реалізація алгоритму	5
3.4.1 Вихідний код	5
3.4.2 Приклад роботи	5
3.5 Тестування алгоритму	7
3.5.1 Часові характеристики оцінювання	7
3.5.2 Графіки залежності часових характеристик оцінювання від розмірності масиву	9
ВИСНОВОК	10
КРИТЕРІЙ ОЦІНЮВАННЯ	11

1 МЕТА ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Мета роботи – вивчити основні методи аналізу обчислювальної складності алгоритмів внутрішнього сортування і оцінити поріг їх ефективності.

2 ЗАВДАННЯ

Виконати аналіз алгоритму внутрішнього сортування на відповідність наступним властивостям (таблиця 2.1):

- стійкість;
- «природність» поведінки (Adaptability);
- базуються на порівняннях;
- необхідність додаткової пам'яті (об'єму);
- необхідність в знаннях про структуру даних.

Записати алгоритм внутрішнього сортування за допомогою псевдокоду (чи іншого способу по вибору).

Провести аналіз часової складності в гіршому, кращому і середньому випадках та записати часову складність в асимптотичних оцінках.

Виконати програмну реалізацію алгоритму на будь-якій мові програмування з фіксацією часових характеристик оцінювання (кількість порівнянь, кількість перестановок, глибина рекурсивного поглиблення та інше в залежності від алгоритму).

Провести ряд випробувань алгоритму на масивах різної розмірності (10, 100, 1000, 5000, 10000, 20000, 50000 елементів) і різних наборів вхідних даних (впорядкований масив, зворотно упорядкований масив, масив випадкових чисел) і побудувати графіки залежності часових характеристик оцінювання від розмірності масиву, нанести на графік асимптотичну оцінку гіршого і кращого випадків для порівняння.

Зробити порівняльний аналіз двох алгоритмів.

Зробити узагальнений висновок з лабораторної роботи.

Таблиця 2.1 – Варіанти алгоритмів

№	Алгоритм сортування
1	Сортування бульбашкою
2	Модифікований алгоритм бульбашки
3	Insertion_sort

3 ВИКОНАННЯ (АЛГОРИТМ ЗВИЧАЙНОЇ БУЛЬБАШКИ)

3.1 Аналіз алгоритму на відповідність властивостям

Аналіз алгоритму **сортування бульбашкою**, Insertion_sort на відповідність властивостям наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Аналіз алгоритму на відповідність властивостям

Властивість	Сортування бульбашкою
Стійкість	Так, алгоритм є стійким.
«Природність» поведінки (Adaptability)	Так, алгоритм є природнім.
Базуються на порівняннях	Так, алгоритм базується на порівняннях.
Необхідність в додатковій пам'яті (об'єм)	Алгоритм не має потреби у додатковій пам'яті(об'ємі).
Необхідність в знаннях про структури даних	Потрібно мати базові знання про структури даних, щоб реалізувати цей алгоритм.

3.2 Псевдокод алгоритму

```
Підпрограма bubbleSort(int[] list)
    int arraySize = list.length;
    Повторити для i від 0 до arraySize - 1
        Повторити для j від 0 до arraySize - i - 1
            Якщо(list[j] > list[j + 1])
                ТО
                    int temp = list[j];
                    list[j] = list[j + 1];
                    list[j + 1] = temp;
                Все якщо

                Все повторити
            Все повторити

        Повернути list
```

3.3 Аналіз часової складності

- Найгірша швидкодія: $O(n^2)$
- Найкраща швидкодія: $O(n)$
- Середня швидкодія: $O(n^2)$

3.4 Програмна реалізація алгоритму

```
1 usage
private static int[] bubbleSort(int[] list) {
    long comparisonsCounter = 0;
    long swapCounter = 0;
    int arraySize = list.length;
    for (int i = 0; i < arraySize - 1; i++) {
        for (int j = 0; j < arraySize - i - 1; j++) {
            comparisonsCounter += 1;
            if (list[j] > list[j + 1]) {
                int temp = list[j];
                list[j] = list[j + 1];
                list[j + 1] = temp;
                swapCounter += 1;
            }
        }
    }
    System.out.print ("\nSwap counter: " + swapCounter + "\nComparisons counter: " + comparisonsCounter +"\n" );
    return list;
}
```

3.4.1 Вихідний код

```
private static int[] bubbleSort(int[] list) {
    long comparisonsCounter = 0;
    long swapCounter = 0;
    int arraySize = list.length;
    for (int i = 0; i < arraySize - 1; i++) {
        for (int j = 0; j < arraySize - i - 1; j++) {
            comparisonsCounter += 1;
            if (list[j] > list[j + 1]) {
                int temp = list[j];
                list[j] = list[j + 1];
                list[j + 1] = temp;
                swapCounter += 1;
            }
        }
    }
    System.out.print ("\nSwap counter: " + swapCounter + "\nComparisons counter:
" + comparisonsCounter +"\n" );
    return list;
}
```

3.4.2 Приклад роботи

На рисунках **3.1**, **3.2**, **3.3** показані приклади роботи програми сортування алгоритму бульбашки для масивів на 10, 100 і 1000 елементів відповідно.

Рисунок 3.1 – Сортування масиву на 10 елементів

- Випадковий

```
Before sorting:95, 144, 333, 620, 488, 97, 804, 99, 206, 28
Swap counter: 23
Comparisons counter: 45
After sorting:28, 95, 97, 99, 144, 206, 333, 488, 620, 804
Process finished with exit code 0
```

- Упорядкований

```
Before sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
Swap counter: 0
Comparisons counter: 45
After sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
Process finished with exit code 0
```

- Протилежно впорядкований

```
Before sorting:10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1
Swap counter: 45
Comparisons counter: 45
After sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
Process finished with exit code 0
```

Рисунок 3.2 – Сортuvання масиву на 100 елементів

• Випадковий

```
Before sorting:4, 1669, 1340, 1926, 1254, 1175, 1742, 767, 1010, 972, 781, 160, 1670, 101, 199, 1528, 2468, 547, 2382, 368, 1847, 1879, 1392, 588, 1816, 1746, 1321, 743, 2249, 2059, 733, 1032, 2373, 1005, 1930, 2326, 453, 2369, 1924, 2225, 882, 1611, 880, 719, 541, 988, 880, 1886, 919, 117, 599, 823, 1522, 2193, 2, 1500, 1153, 1784, 830, 1645, 1584, 800, 1826, 2440, 583, 67, 1861, 1346, 629, 2307, 288, 757, 995, 779, 1062, 808, 1622, 1391, 859, 1759, 7, 2189, 17, 2147, 1949, 332, 1648, 1098, 1197, 443, 148, 1714, 1598, 2055, 1678, 2215, 931, 317, 356, 241
Swap counter: 2591
Comparisons counter: 4950
After sorting:4, 7, 17, 67, 101, 117, 148, 160, 199, 241, 288, 317, 332, 356, 368, 443, 453, 541, 547, 583, 588, 599, 629, 719, 733, 743, 757, 767, 779, 781, 800, 808, 823, 830, 859, 880, 888, 882, 919, 931, 972, 988, 995, 1005, 1010, 1026, 1032, 1062, 1079, 1098, 1153, 1175, 1197, 1254, 1321, 1340, 1346, 1391, 1392, 1500, 1522, 1528, 1584, 1598, 1611, 1622, 1645, 1648, 1669, 1670, 1678, 1714, 1742, 1746, 1759, 1784, 1816, 1847, 1861, 1886, 1924, 1926, 1930, 1949, 2055, 2059, 2147, 2189, 2193, 2215, 2225, 2249, 2307, 2326, 2369, 2373, 2382, 2440, 2468
Process finished with exit code 0
```

• Упорядкований

```
Before sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100
Swap counter: 0
Comparisons counter: 4950
After sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100
Process finished with exit code 0
```

• Протилежно впорядкований

```
Before sorting:100, 99, 98, 97, 96, 95, 94, 93, 92, 91, 90, 89, 88, 87, 86, 85, 84, 83, 82, 81, 80, 79, 78, 77, 76, 75, 74, 73, 72, 71, 70, 69, 68, 67, 66, 65, 64, 63, 62, 61, 60, 59, 58, 57, 56, 55, 54, 53, 52, 51, 50, 49, 48, 47, 46, 45, 44, 43, 42, 41, 40, 39, 38, 37, 36, 35, 34, 33, 32, 31, 30, 29, 28, 27, 26, 25, 24, 23, 22, 21, 20, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1
Swap counter: 4950
Comparisons counter: 4950
After sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100
Process finished with exit code 0
```

Рисунок 3.2 – Сортuvання масиву на 1000 елементів

● Випадковий

Before sorting: 88181, 66728, 29494, 32021, 33138, 38998, 68874, 35592, 19289, 45708, 23519, 67493, 74177, 32798, 49938, 74222, 52938, 38139, 61994, 24111, 4925, 21680, 4477, 39147, 37726, 66388, 32199, 18686, 38916, 63122, 32172, 85547, 4130, 9398, 3568, 17499, 18575, 22419, 52575, 87453, 7922, 19643, 77012, 53822, 63696, 55971, 18621, 8451, 27715, 15251, 49336, 33289, 9935, 15173, 11482, 68525, 4113, 58909, 20892, 44333, 76127, 43845, 6191, 15521, 40496, 37645, 37154, 43425, 1671, 74522, 19953, 72206, 87980, 50892, 27360, 57319, 37821, 1465, 27540, 32403, 79586, 50335, 65903, 87069, 89134, 80746, 40712, 22172, 61176, 19941, 14614, 997, 73881, 50247, 51044, 74517, 69166, 72279, 56629, 86381, 4715, 74948, 8099, 8601, 67580, 5717, 54973, 72065, 23365, 75322, 27357, 46931, 9475, 4823, 11546, 36720, 15671, 49222, 54799, 16587, 20278, 71142, 56672, 69998, 75725, 60998, 37578, 42399, 3929, 17677, 25871, 76249, 58426, 26849, 52686, 84733, 58230, 83651, 19012, 53193, 18225, 13324, 48016, 12566, 73061, 88677, 7530, 29973, 68356, 27547, 42766, 40616, 7782, 17917, 47852, 42158, 19338, 73801, 36557, 27338, 89192, 2340, 49705, 3166, 8043, 52746, 69220, 25310, 53741, 20681, 16467, 74466, 23111, 27482, 85633, 87413, 25325, 32202, 61232, 89236, 79009, 45989, 2545, 54776, 55301, 11856, 66742, 26718, 49516, 82222, 36791, 74974, 54768, 11952, 49587, 46989, 1928, 52896, 26807, 11434, 71644, 36931, 63728, 58388, 5773, 65028, 11871, 67553, 77584, 80348, 23335, 72389, 32313, 87357, 35981, 21481, 72278, 65661, 42549, 12594, 43648, 56849, 45773, 70805, 75166, 84931, 3393, 9259, 32676, 16169, 54469, 2872, 47104, 2841, 70655, 68768, 67752, 79989, 45836, 19946, 77038, 29518, 17528, 15590, 58170, 49917, 16343, 48967, 21199, 40580, 20430, 82257, 59693, 52579, 32813, 20601, 54884, 80492, 23673, 27664, 70708, 83406, 29604, 72835, 19340, 63850, 17152, 85821, 3507, 56783, 78453, 37826, 58806, 86876, 82702, 49795, 86552, 1217, 88333, 17237, 25245, 16338, 77384, 18062, 86663, 62953, 74674, 4538, 10802, 9199, 13794, 53008, 82386, 3299, 89848, 46252, 70539, 39578, 62238, 73751, 52345, 57512, 9354, 18606, 10473, 42151, 17647, 68168, 64857, 5603, 20600, 36588, 48460, 53571, 82185, 11085, 87596, 77903, 73706, 48863, 27966, 62024, 62540, 68637, 78606, 50753, 86233, 54543, 17271, 89506, 45623, 70842, 52447, 20156, 16265, 4276, 19125, 81946, 58252, 47193, 17759, 63757, 20744, 28635, 48419, 68753, 18995, 42464, 65038, 73991, 38478, 31285, 57887, 85903, 52827, 62477, 5910, 77757, 49745, 47899, 24405, 63161, 1774, 32043, 57699, 30466, 36886, 4304, 80893, 6545, 47197, 29888, 39566, 74818, 42827, 49838, 61391, 1631, 61890, 7232, 59821, 27157, 26919, 54382, 9328, 71793, 12651, 21422, 20884, 26755, 50027, 30053, 71528, 37993, 66494, 54058, 76898, 57881, 83281, 21036, 22993, 89218, 66157, 41200, 39070, 1001, 17389, 7523, 40009, 5156, 43086, 40660, 77542, 37961, 21947, 32244, 41959, 35227, 38357, 62265, 16512, 76369, 60559, 71857, 70561, 45988, 82932, 15484, 2020, 38275, 7599, 78269, 68826, 10493, 26612, 46902, 54715, 13949, 28415, 73438, 27914, 23173, 57098, 49539, 29329, 9607, 19631, 70327, 9375, 61484, 81500, 87542, 487, 32813, 3566, 13658, 60212, 88441, 4142, 89764, 31678, 17253, 28296, 42231, 50133, 86454, 82862, 5385, 8183, 66019, 39654, 6, 49058, 73946, 31279, 70373, 6797, 79784, 23619, 15792, 24594, 85412, 56591, 46860, 77697, 21719, 20091, 34161, 85263, 28884, 25181, 3645, 46316, 25225, 81513, 72599, 88606, 70869, 80753, 30888, 55562, 18614, 2330, 32449, 65740, 83721, 32230, 39802, 71254, 8939, 17751, 73672, 56489, 88113, 71129, 66625, 16092, 25221, 2799, 65976, 41684, 11775, 648, 37861, 60860, 6029, 35113, 71342, 51729, 33351, 31186, 68680, 77561, 28262, 77500, 55497, 13043, 35158, 9535, 42466, 4185, 36543, 68687, 18358, 86472, 34693, 1449, 32807, 58420, 55137, 23273, 46809, 24277, 68661, 39836, 1699, 86193, 86884, 34342, 79220, 54802, 990, 23294, 20280, 8559, 5512, 4720, 26076, 66410, 35589, 52210, 30859, 45418, 42412, 35357, 58738, 4811, 3523, 72158, 81540, 40597, 56999, 81796, 56877, 18362, 58758, 56820, 7230, 26150, 37861, 32224, 62823, 14453, 5549, 5154, 73317, 64226, 69495, 33066, 35975, 66580, 9832, 40035, 70812, 73368, 7742, 18067, 6492, 76194, 64686, 18105, 44233, 62577, 16314, 59620, 40825, 15952, 13020, 63044, 6038, 31009, 14565, 62467, 84115, 35444, 63165, 36989, 63878, 73642, 37683, 74661, 37801, 47015, 45819, 67777, 48164, 65354, 86878, 77783, 922, 68838, 80365, 11720, 87323, 53745, 76145, 4443, 33913, 32409, 68447, 75490, 61720, 84860, 42475, 9974, 86545, 26931, 31362, 3915, 11399, 50700, 38655, 63836, 40917, 79594, 65762, 54965, 19376, 15234, 62028, 79768, 41077, 65569, 73596, 8663, 24260, 14194, 46886, 87788, 47483, 58862, 55251, 4446, 455, 33171, 69235, 49491, 89662, 29139, 75838, 57303, 2830, 79977, 58291, 48251, 5247, 71744, 3405, 75567, 45283, 19752, 86736, 78428, 86050, 40637, 40365, 65687, 75112, 13378, 50274, 30183, 24335, 86482, 31940, 51857, 57608, 65555, 44721, 38994, 54952, 24604, 57893, 70828, 27779, 59989, 3784, 41489, 21513, 70048, 66358, 84781, 78627, 33932, 56749, 11686, 37242, 9470, 2096, 37887, 7880, 38416, 28626, 34247, 43699, 22869, 75431, 32326, 77609, 27446, 37800, 23841, 3015, 84316, 40989, 400, 43633, 80059, 28700, 2230, 51817, 45671, 46784, 55114, 24125, 2471, 59558, 67165, 57498, 55049, 83301, 45043, 81826, 37770, 19786, 20087, 50234, 13296, 85071, 16878, 16963, 47914, 79060, 84807, 14988,

36314, 85434, 89369, 48167, 9956, 86539, 35186, 31065, 85596, 11620, 64100, 76385, 37693, 22743, 44561, 74870, 78684, 20484, 46291, 62882, 9955, 4570, 81962, 70982, 85489, 422, 18662, 72888, 39623, 21147, 66342, 17266, 40138, 45969, 88062, 58679, 37989, 50294, 7893, 18812, 85363, 89651, 16622, 42163, 14508, 49615, 27014, 410, 50745, 86463, 89340, 25349, 74472, 58820, 74111, 59804, 8578, 8812, 12507, 64667, 89649, 42381, 5886, 16444, 3666, 12288, 31899, 63731, 29420, 2412, 66279, 62958, 45824, 75096, 66136, 33412, 72475, 7843, 42730, 39082, 36381, 56523, 79135, 60169, 1568, 10584, 70919, 264, 42467, 62274, 86059, 56111, 16413, 17624, 53654, 5676, 5389, 37037, 9685, 16763, 82226, 58826, 82075, 42856, 61868, 47128, 76599, 5016, 83975, 24419, 39819, 38708, 69391, 38568, 35139, 2233, 1887425, 13339, 19085, 9634, 38431, 89490, 59995, 22079, 3634, 4013, 51688, 85942, 76856, 38454, 43398, 5322, 70224, 79498, 73972, 53448, 7118, 39777, 4513816, 70074, 44474, 26583, 78728, 66886, 57656, 30258, 64518, 87886, 3740, 46850, 56995, 12372, 86358, 7094, 40867, 40170, 52994, 15453, 14432, 57986, 65291, 89112, 77064, 39205, 74358, 1261, 78025, 80081, 47572, 8892, 31049, 54920, 68397, 36371, 49734, 7744, 13557, 27370, 64332, 48289, 52536, 29413, 8759, 65067, 32827, 77227, 67783, 61377, 60605, 73399, 18257, 1799, 60592, 67393, 14982, 43854, 80727, 76905, 31349, 71792, 27001, 18733, 17228, 23858, 61287, 9882, 41782, 61169, 329

Swap counter: 246162

Comparisons counter: 499500

After sorting: 6, 264, 329, 400, 410, 422, 455, 487, 648, 922, 990, 997, 1001, 1217, 1261, 1449, 1465, 1568, 1631, 1671, 1699, 1774, 1799, 1928, 2020, 2041, 2230, 2233, 2330, 2340, 2471, 2545, 2799, 2830, 2872, 3015, 3029, 3166, 3299, 3393, 3405, 3507, 3523, 3566, 3634, 3645, 3666, 3746, 3784, 3915, 4013, 4113, 4130, 4142, 4185, 4276, 4304, 4443, 4446, 4477, 4538, 4570, 4590, 4715, 4720, 4811, 4823, 4925, 5016, 5154, 5156, 5247, 5322, 5385, 5389, 5512, 5549, 5603, 5676, 5717, 5773, 5886, 5910, 6029, 6038, 6191, 6492, 6545, 6797, 7094, 7118, 7230, 7232, 7530, 7539, 7744, 7782, 7843, 7880, 7893, 7922, 8043, 8099, 8183, 8451, 8559, 8578, 8601, 8663, 8759, 8812, 8939, 9199, 9259, 9328, 9354, 9375, 9398, 9470, 9475, 9535, 9607, 9634, 9685, 9832, 9935, 9955, 9965, 9974, 10362, 10473, 10943, 10584, 10607, 10602, 10802, 11085, 11399, 11434, 11482, 11546, 11620, 11686, 11720, 11775, 11856, 11871, 11952, 12288, 12372, 12507, 12566, 12594, 12651, 13020, 13043, 13296, 13324, 13339, 13557, 13658, 13794, 13816, 13949, 14194, 14432, 14453, 14508, 14565, 14614, 14982, 14988, 15173, 15234, 15251, 15453, 15484, 15521, 15590, 15671, 15792, 15952, 16092, 16169, 16265, 16314, 16338, 16343, 16413, 16444, 16467, 16507, 16512, 16622, 16763, 16878, 16963, 17152, 17228, 17237, 17253, 17266, 17271, 17389, 17499, 17528, 17624, 17647, 17877, 17751, 17795, 17917, 18062, 18105, 18225, 18257, 18358, 18575, 18666, 18614, 18621, 18686, 18733, 18812, 18861, 18995, 19012, 19885, 19125, 19289, 19338, 19348, 19376, 19631, 19643, 19706, 19752, 19941, 19946, 19953, 20887, 20884, 20891, 20156, 20270, 20280, 20430, 20484, 20680, 20681, 20744, 20892, 20996, 21036, 21147, 21199, 21422, 21481, 21513, 21680, 21719, 21947, 22069, 22079, 22172, 22419, 22743, 22993, 23111, 23173, 23273, 23294, 23335, 23365, 23519, 23619, 23673, 23841, 23858, 24111, 24122, 24260, 24277, 24335, 24405, 24419, 24594, 24604, 25181, 25221, 25225, 25245, 25310, 25349, 25871, 26024, 26076, 26150, 26583, 26612, 26718, 26755, 26807, 26849, 26919, 26931, 27001, 27014, 27338, 27357, 27360, 27370, 27446, 27482, 27540, 27547, 27664, 27715, 27779, 27914, 27966, 28084, 28145, 28262, 28294, 28415, 28635, 28700, 29139, 29329, 29413, 29420, 29494, 29518, 29604, 29808, 29973, 30053, 30183, 30258, 30416, 30466, 30859, 30888, 31009, 31049, 31065, 31186, 31279, 31285, 31349, 31362, 31678, 31899, 31940, 32021, 32043, 32172, 32199, 32202, 32224, 32230, 32244, 32313, 32326, 32403, 32409, 32449, 32676, 32790, 32807, 32813, 32827, 33066, 33130, 33171, 33289, 33351, 33412, 33786, 33913, 33932, 34161, 34247, 34342, 34693, 35113, 35139, 35158, 35186, 35227, 35357, 35444, 35589, 35592, 35975, 35981, 36314, 36371, 36381, 36543, 36657, 36588, 36720, 36791, 36886, 36931, 36998, 37001, 37083, 37154, 37242, 37390, 37578, 37587, 37683, 37685, 37726, 37770, 37800, 37821, 37862, 37861, 37981, 37993, 38139, 38335, 38431, 38454, 38478, 38537, 38568, 38655, 38708, 38757, 38916, 38990, 38994, 39070, 39082, 39147, 39205, 39566, 39578, 39623, 39654, 39777, 39802, 39819, 39836, 40009, 40035, 40138, 40170, 40365, 40496, 40580, 40597, 40616, 40637, 40660, 40712, 40825, 40867, 40917, 40989, 41077, 41120, 41489, 41595, 41684, 41782, 42151, 42163, 42231, 42381, 42412, 42464, 42467, 42475, 42730, 42766, 42827, 42856, 43086, 43398,

```

43425, 43633, 43648, 43699, 43845, 43854, 44233, 44333, 44474, 44561, 44721, 45043, 45252, 45283, 45418, 45519, 45623, 45671, 45708, 45773, 45824, 45836, 45909,
45969, 45988, 46009, 46060, 46086, 46226, 46291, 46316, 46784, 46850, 46902, 46931, 46989, 47015, 47104, 47128, 47193, 47197, 47483, 47572, 47852, 47899, 47914,
48016, 48164, 48167, 48209, 48251, 48419, 48460, 48863, 48967, 49058, 49222, 49336, 49337, 49491, 49516, 49539, 49615, 49705, 49734, 49745, 49795, 49838, 49857,
49917, 49938, 50027, 50092, 50133, 50234, 50247, 50274, 50294, 50335, 50426, 50700, 50745, 50753, 50826, 51044, 51688, 51729, 51817, 51857, 52210, 52345, 52447,
52536, 52575, 52579, 52686, 52746, 52827, 52896, 52938, 52994, 53000, 53191, 53448, 53571, 53654, 53741, 53745, 53822, 54058, 54382, 54409, 54543, 54672, 54715,
54768, 54776, 54799, 54802, 54884, 54920, 54952, 54965, 54973, 55049, 55114, 55137, 55251, 55301, 55497, 55562, 55971, 56111, 56489, 56523, 56591, 56629, 56749,
56783, 56820, 56849, 56877, 56995, 56999, 57090, 57303, 57319, 57498, 57512, 57608, 57656, 57699, 57887, 57893, 57986, 58170, 58230, 58252, 58291, 58388, 58420,
58670, 58738, 58758, 58806, 58820, 58862, 58999, 59021, 59558, 59620, 59693, 59804, 59999, 59995, 60060, 60090, 60169, 60212, 60559, 60592, 60605, 61169, 61176,
61232, 61287, 61377, 61393, 61484, 61720, 61860, 61890, 61994, 62028, 62238, 62265, 62274, 62467, 62540, 62577, 62823, 62953, 62958, 63044, 63122,
63161, 63165, 63396, 63728, 63731, 63757, 63836, 63850, 63878, 64100, 64332, 64518, 64667, 64686, 64857, 65028, 65038, 65067, 65291, 65354, 65555, 65569, 65661,
65687, 65740, 65762, 65903, 65979, 66019, 66136, 66157, 66279, 66342, 66350, 66388, 66410, 66494, 66580, 66625, 66728, 66742, 66886, 67165, 67393, 67493, 67553,
67580, 67732, 67777, 67783, 68026, 68061, 68168, 68356, 68397, 68447, 68525, 68637, 68680, 68687, 68753, 68768, 68838, 68874, 69166, 69220, 69235, 69391, 69467,
69945, 69990, 70048, 70056, 70074, 70224, 70327, 70373, 70539, 70561, 70655, 70708, 70728, 70812, 70828, 70842, 70869, 70919, 70982, 71129, 71142, 71254, 71342,
71528, 71644, 71744, 71792, 71857, 72065, 72158, 72266, 72278, 72279, 72309, 72475, 72599, 72808, 72835, 73061, 73317, 73368, 73399, 73430, 73596, 73642,
73672, 73706, 73751, 73801, 73881, 73946, 73972, 73991, 74111, 74177, 74222, 74358, 74466, 74472, 74517, 74522, 74661, 74674, 74818, 74825, 74870, 74948, 74974,
75096, 75112, 75166, 75322, 75431, 75490, 75567, 75725, 75838, 75881, 76127, 76145, 76194, 76249, 76385, 76599, 76639, 76856, 76898, 76905, 77012, 77038, 77064,
77227, 77304, 77500, 77542, 77561, 77584, 77609, 77697, 77757, 77783, 77983, 78025, 78269, 78428, 78453, 78606, 78627, 78684, 79009, 79060, 79135, 79220, 79498,
79586, 79594, 79704, 79768, 79842, 79989, 79977, 80059, 80081, 80348, 80365, 80492, 80727, 80746, 80755, 80893, 81500, 81513, 81540, 81796, 81826, 81946, 81962,
82075, 82185, 82226, 82256, 82386, 82792, 82862, 82932, 83281, 83301, 83406, 83651, 83721, 83975, 84115, 84316, 84733, 84781, 84887, 84846, 84931, 85071,
85263, 85363, 85412, 85434, 85489, 85547, 85596, 85633, 85821, 85903, 85942, 86050, 86059, 86193, 86233, 86358, 86381, 86454, 86463, 86472, 86482, 86539, 86545,
86552, 86663, 86736, 86804, 86876, 86878, 87069, 87323, 87357, 87413, 87453, 87542, 87596, 87788, 87886, 87980, 88062, 88101, 88113, 88333, 88441, 88606, 88677,
89112, 89134, 89192, 89218, 89236, 89340, 89369, 89490, 89506, 89649, 89651, 89662, 89764, 89848

```

Process finished with exit code 0

• Упорядкований

```

Before sorting:0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38,
39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78,
79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114,
115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146,
147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178,
179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210,
211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242,
243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274,
275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306,
307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338,
339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370,
371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402,
403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434,
435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466,
467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498,
499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530,
531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562,
563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594,
595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626,
627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658,
659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722,
723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754,
755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786,
787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818,
819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850,
851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914,
915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946,
947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978,
979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999

```

Swap counter: 0

Comparisons counter: 499500

After sorting: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999

• Протилежно впорядкований

Before sorting: 1000, 999, 998, 997, 996, 995, 994, 993, 992, 991, 990, 989, 988, 987, 986, 985, 984, 983, 982, 981, 980, 979, 978, 977, 976, 975, 974, 973, 972, 971, 970, 969, 968, 967, 966, 965, 964, 963, 962, 961, 960, 959, 958, 957, 956, 955, 954, 953, 952, 951, 950, 949, 948, 947, 946, 945, 944, 943, 942, 941, 940, 939, 938, 937, 936, 935, 934, 933, 932, 931, 930, 929, 928, 927, 926, 925, 924, 923, 922, 921, 920, 919, 918, 917, 916, 915, 914, 913, 912, 911, 910, 909, 908, 907, 906, 905, 904, 903, 902, 901, 900, 899, 898, 897, 896, 895, 894, 893, 892, 891, 890, 889, 888, 887, 886, 885, 884, 883, 882, 881, 880, 879, 878, 877, 876, 875, 874, 873, 872, 871, 870, 869, 868, 867, 866, 865, 864, 863, 862, 861, 860, 859, 858, 857, 856, 855, 854, 853, 852, 851, 850, 849, 848, 847, 846, 845, 844, 843, 842, 841, 840, 839, 838, 837, 836, 835, 834, 833, 832, 831, 830, 829, 828, 827, 826, 825, 824, 823, 822, 821, 820, 819, 818, 817, 816, 815, 814, 813, 812, 811, 810, 809, 808, 807, 806, 805, 804, 803, 802, 801, 800, 799, 798, 797, 796, 795, 794, 793, 792, 791, 790, 789, 788, 787, 786, 785, 784, 783, 782, 781, 780, 779, 778, 777, 776, 775, 774, 773, 772, 771, 770, 769, 768, 767, 766, 765, 764, 763, 762, 761, 760, 759, 758, 757, 756, 755, 754, 753, 752, 751, 750, 749, 748, 747, 746, 745, 744, 743, 742, 741, 740, 739, 738, 737, 736, 735, 734, 733, 732, 731, 730, 729, 728, 727, 726, 725, 724, 723, 722, 721, 720, 719, 718, 717, 716, 715, 714, 713, 712, 711, 710, 709, 708, 707, 706, 705, 704, 703, 702, 701, 700, 699, 698, 697, 696, 695, 694, 693, 692, 691, 690, 689, 688, 687, 686, 685, 684, 683, 682, 681, 680, 679, 678, 677, 676, 675, 674, 673, 672, 671, 670, 669, 668, 667, 666, 665, 664, 663, 662, 661, 660, 659, 658, 657, 656, 655, 654, 653, 652, 651, 650, 649, 648, 647, 646, 645, 644, 643, 642, 641, 640, 639, 638, 637, 636, 635, 634, 633, 632, 631, 630, 629, 628, 627, 626, 625, 624, 623, 622, 621, 620, 619, 618, 617, 616, 615, 614, 613, 612, 611, 610, 609, 608, 607, 606, 605, 604, 603, 602, 601, 600, 599, 598, 597, 596, 595, 594, 593, 592, 591, 590, 589, 588, 587, 586, 585, 584, 583, 582, 581, 580, 579, 578, 577, 576, 575, 574, 573, 572, 571, 570, 569, 568, 567, 566, 565, 564, 563, 562, 561, 560, 559, 558, 557, 556, 555, 554, 553, 552, 551, 550, 549, 548, 547, 546, 545, 544, 543, 542, 541, 540, 539, 538, 537, 536, 535, 534, 533, 532, 531, 530, 529, 528, 527, 526, 525, 524, 523, 522, 521, 520, 519, 518, 517, 516, 515, 514, 513, 512, 511, 510, 509, 508, 507, 506, 505, 504, 503, 502, 501, 500, 499, 498, 497, 496, 495, 494, 493, 492, 491, 490, 489, 488, 487, 486, 485, 484, 483, 482, 481, 480, 479, 478, 477, 476, 475, 474, 473, 472, 471, 470, 469, 468, 467, 466, 465, 464, 463, 462, 461, 460, 459, 458, 457, 456, 455, 454, 453, 452, 451, 450, 449, 448, 447, 446, 445, 444, 443, 442, 441, 440, 439, 438, 437, 436, 435, 434, 433, 432, 431, 430, 429, 428, 427, 426, 425, 424, 423, 422, 421, 420, 419, 418, 417, 416, 415, 414, 413, 412, 411, 410, 409, 408, 407, 406, 405, 404, 403, 402, 401, 400, 399, 398, 397, 396, 395, 394, 393, 392, 391, 390, 389, 388, 387, 386, 385, 384, 383, 382, 381, 380, 379, 378, 377, 376, 375, 374, 373, 372, 371, 370, 369, 368, 367, 366, 365, 364, 363, 362, 361, 360, 359, 358, 357, 356, 355, 354, 353, 352, 351, 350, 349, 348, 347, 346, 345, 344, 343, 342, 341, 340, 339, 338, 337, 336, 335, 334, 333, 332, 331, 330, 329, 328, 327, 326, 325, 324, 323, 322, 321, 320, 319, 318, 317, 316, 315, 314, 313, 312, 311, 310, 309, 308, 307, 306, 305, 304, 303, 302, 301, 300, 299, 298, 297, 296, 295, 294, 293, 292, 291, 290, 289, 288, 287, 286, 285, 284, 283, 282, 281, 280, 279, 278, 277, 276, 275, 274, 273, 272, 271, 270, 269, 268, 267, 266, 265, 264, 263, 262, 261, 260, 259, 258, 257, 256, 255, 254, 253, 252, 251, 250, 249, 248, 247, 246, 245, 244, 243, 242, 241, 240, 239, 238, 237, 236, 235, 234, 233, 232, 231, 230, 229, 228, 227, 226, 225, 224, 223, 222, 221, 220, 219, 218, 217, 216, 215, 214, 213, 212, 211, 210, 209, 208, 207, 206, 205, 204, 203, 202, 201, 200, 199, 198, 197, 196, 195, 194, 193, 192, 191, 190, 189, 188, 187, 186, 185, 184, 183, 182, 181, 180, 179, 178, 177, 176, 175, 174, 173, 172, 171, 170, 169, 168, 167, 166, 165, 164, 163, 162, 161, 160, 159, 158, 157, 156, 155, 154, 153, 152, 151, 150, 149, 148, 147, 146, 145, 144, 143, 142, 141, 140, 139, 138, 137, 136, 135, 134, 133, 132, 131, 130, 129, 128, 127, 126, 125, 124, 123, 122, 121, 120, 119, 118, 117, 116, 115, 114, 113, 112, 111, 110, 109, 108, 107, 106, 105, 104, 103, 102, 101, 100, 99, 98, 97, 96, 95, 94, 93, 92, 91, 90, 89, 88, 87, 86, 85, 84, 83, 82, 81, 80, 79, 78, 77, 76, 75, 74, 73, 72, 71, 70, 69, 68, 67, 66, 65, 64, 63, 62, 61, 60, 59, 58, 57, 56, 55, 54, 53, 52, 51, 50, 49, 48, 47, 46, 45, 44, 43, 42, 41, 40, 39, 38, 37, 36, 35, 34, 33, 32, 31, 30, 29, 28, 27, 26, 25, 24, 23, 22, 21, 20, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1

Swap counter: 499500
Comparisons counter: 499500

After sorting: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000

3.5 Тестування алгоритму

Я провела тестування у пункті (4.3.2) згенерувавши масиви на 10,100,1000, з'ясувала, що алгоритм звичайної бульбашки правильно відсортував масиви у трьох випадках, які є унікальними. Додатково проведемо тестування з 25тъма елементами:

Kod:

```
package SortAlgorithm;

public class BubbleSorterModified {
    public static void main(String[] args) {
        int[] list = new int[25];
        GenerateRandomList ( list );
        // GenerateAscendingList ( list );
        // GenerateDescendingList(list);
        System.out.print ( "Before sorting:" );
        OutputList ( list );
        list = bubbleSort ( list );

        System.out.print ( "After sorting:" );
        OutputList ( list );
    }
    private static void GenerateDescendingList(int[]list){
        for(int i = list.length;i > 0;i--){
            list[list.length-i] = i;
        }
    }
    private static void GenerateAscendingList(int[] list) {
        for (int i = 0; i< list.length; i++){
            list[i] = i;
        }
    }
    private static void GenerateRandomList(int[] list) {
        for (int i = 0; i < list.length; i++) {
            list[i] = (int) (Math.random () * 90000) + 1;
        }
    }

    private static void OutputList(int[] list) {
        for (int i = 0; i < list.length; i++) {
            if (i != list.length - 1) {
                System.out.print ( list[i] + ", " );
            } else {
                System.out.print ( list[i] );
            }
        }
    }
    private static int[] bubbleSort(int[] list) {
        long comparisonsCounter = 0;
        long swapCounter = 0;
        int arraySize = list.length;
        for (int i = 0; i < arraySize - 1; i++) {
            for (int j = 0; j < arraySize - i - 1; j++) {
                comparisonsCounter += 1;
                if (list[j] > list[j + 1]) {
                    int temp = list[j];
                    list[j] = list[j + 1];
                    list[j + 1] = temp;
                    swapCounter += 1;
                }
            }
        }
        return list;
    }
}
```

```

        int temp = list[j];
        list[j] = list[j + 1];
        list[j + 1] = temp;
        swapCounter += 1;

    }
}
System.out.print ("\nSwap counter: " + swapCounter + "\nComparisons counter:
" + comparisonsCounter +"\n" );
return list;
}

```

Обираємо функцію відповідно до потрібності певного сортування(для упорядкованого, протилежно впорядкованого або випадкового масиву)

Результати тестування:

- Випадковий

```

Before sorting:27476, 80370, 11786, 9993, 70611, 19029, 39244, 86238, 43417, 61008, 74222, 714, 52572, 78808, 69690, 88546, 18589, 16584, 52326, 55296, 11611,
61863, 85168, 21044, 6242
Swap counter: 152
Comparisons counter: 300
After sorting:714, 6242, 9993, 11611, 11786, 16584, 18589, 19029, 21044, 27476, 39244, 43417, 52326, 52572, 55296, 61008, 61863, 69690, 70611, 74222, 78808, 80370,
85168, 86238, 88546
Process finished with exit code 0

```

Бачимо, що алгоритм працює правильно – відсортувавши унікальний масив. Цей варіант вважаємо середнім за швидкодією $O(n^2)$, к-сть порівнянь та перестановок варіюється кожного разу, залежно від випадково сформованого масиву.

- Упорядкований

```

Before sorting:0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24
Swap counter: 0
Comparisons counter: 300
After sorting:0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24
Process finished with exit code 0

```

Бачимо, що алгоритм працює правильно – відсортувавши унікальний масив. Цей варіант вважаємо найкращим за швидкодією $O(n)$, к-сть порівнянь для даного масиву є 300, а к-сть перестановок дорівнює 0, тому що масив був упорядкованим заздалегідь.

- Протилежно впорядкований

```
Before sorting:25, 24, 23, 22, 21, 20, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1
Swap counter: 300
Comparisons counter: 300
After sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25
Process finished with exit code 0
```

Бачимо, що алгоритм працює правильно – відсортувавши унікальний масив. Цей варіант вважаємо найгіршим за швидкодією $O(n^2)$, к-сть порівнянь та перестановок для даного масиву є 300, тому що масив не був упорядкованим заздалегідь, що вимагає здійснення більшої к-сті перетворень.

3.5.1 Часові характеристики оцінювання

В таблиці 3.2 наведені характеристики оцінювання числа порівнянь і числа перестановок алгоритму сортування бульбашки, модифікованого алгоритму та Insertion_sort для масивів різної розмірності, коли масив містить упорядковану послідовність елементів.

Таблиця 3.2 – Характеристики оцінювання алгоритму сортування бульбашки, модифікованого алгоритму та Insertion_sort для упорядкованої послідовності елементів у масиві

Розмірність масиву	Число порівнянь	Число перестановок
10	45	0
100	4950	0
1000	499500	0
5000	12497500	0
10000	49995000	0
20000	199990000	0
50000	1249975000	0

В таблиці 3.3 наведені характеристики оцінювання числа порівнянь і числа перестановок алгоритму сортування бульбашки, модифікованого алгоритму та Insertion_sort для масивів різної розмірності, коли масиви містять зворотно упорядковану послідовність елементів.

Таблиця 3.3 – Характеристики оцінювання алгоритму сортування бульбашки, модифікованого алгоритму та Insertion_sort для зворотно упорядкованої послідовності елементів у масиві.

Розмірність масиву	Число порівнянь	Число перестановок
10	45	45
100	4950	4950
1000	499500	499500
5000	12497500	12497500
10000	49995000	49995000
20000	199990000	199990000
50000	1249975000	1249975000

У таблиці 3.4 наведені характеристики оцінювання числа порівнянь і числа перестановок алгоритму сортування бульбашки, модифікованого алгоритму та Insertion_sort для масивів різної розмірності, масиви містять випадкову послідовність елементів.

Таблиця 3.4 – Характеристика оцінювання алгоритму сортування бульбашки, модифікованого алгоритму та Insertion_sort для випадкової послідовності елементів у масиві.

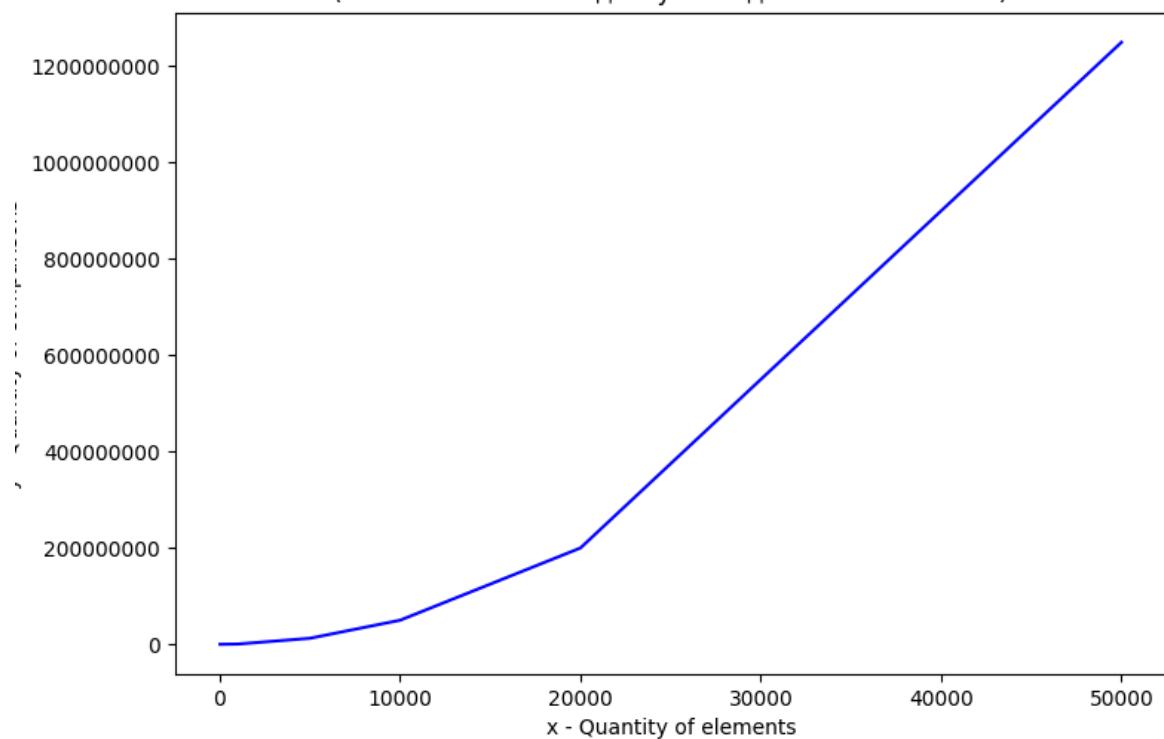
Розмірність масиву	Число порівнянь	Число перестановок
10	45	19
100	4950	2393
1000	499500	247748
5000	12497500	6219488
10000	49995000	24740394
20000	199990000	99664194
50000	1249975000	619052131

3.5.2 Графіки залежності часових характеристик оцінювання від розмірності масиву

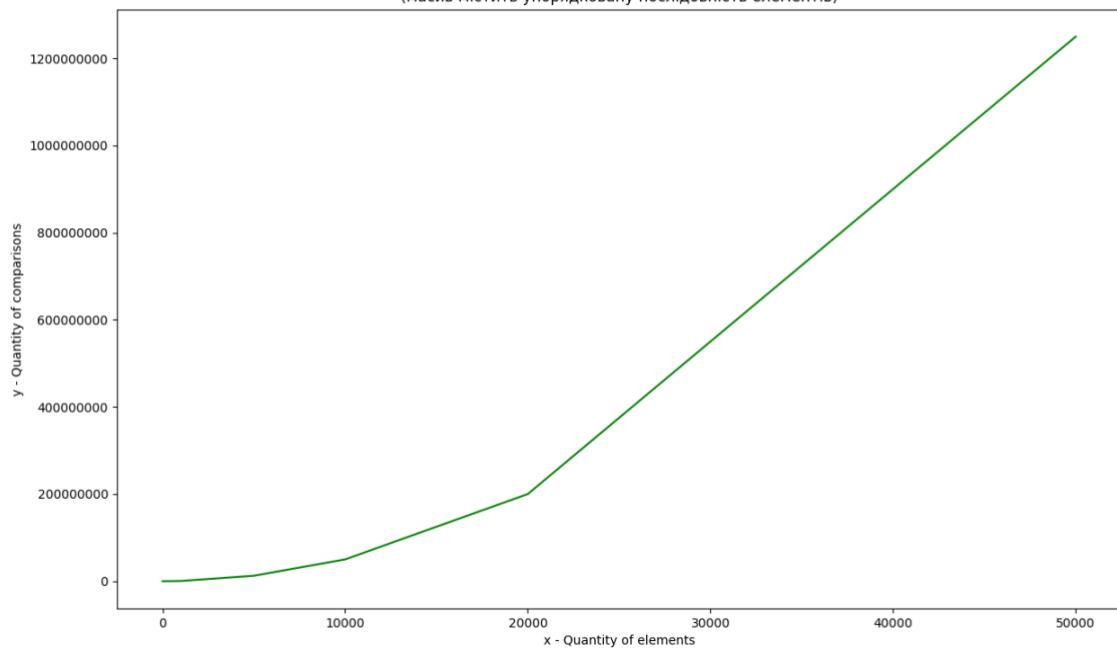
На рисунку 3.3 показані графіки залежності часових характеристик оцінювання від розмірності масиву для випадків, коли масиви містять упорядковану послідовність елементів (зелений графік), коли масиви містять зворотно упорядковану послідовність елементів (червоний графік), коли масиви містять випадкову послідовність елементів (синій графік), також показані асимптотичні оцінки гіршого (фіолетовий графік) і кращого (жовтий графік) випадків для порівняння.

Рисунок 3.3 – Графіки залежності часових характеристик оцінювання

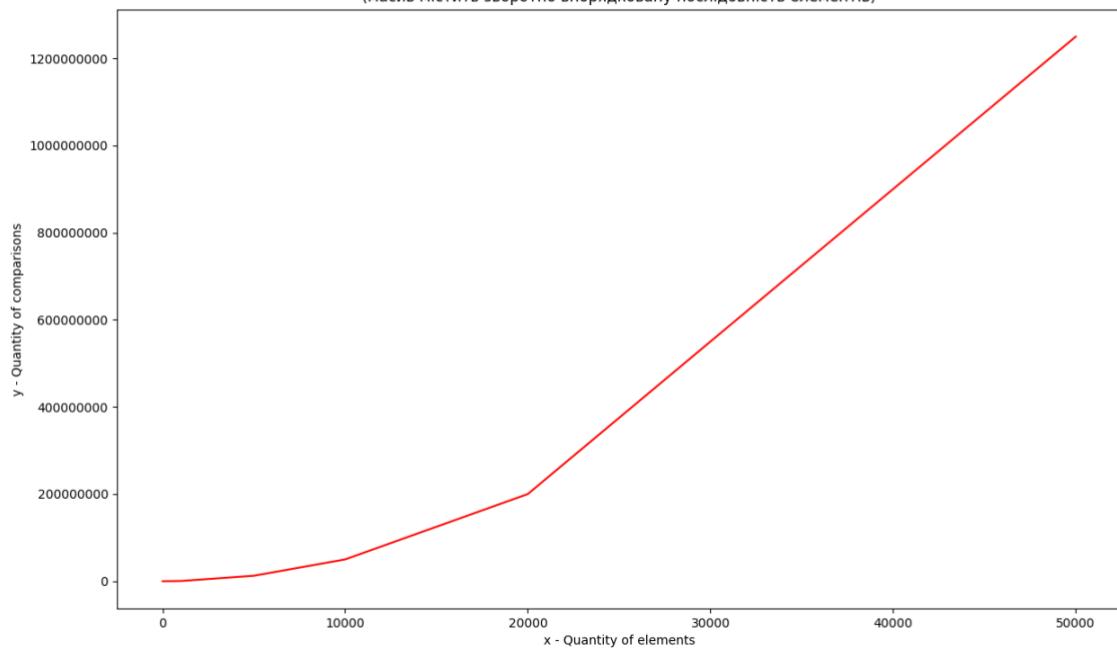
Графік залежності часових характеристик оцінювання від розмірності масиву
(масив містить випадкову послідовність елементів)

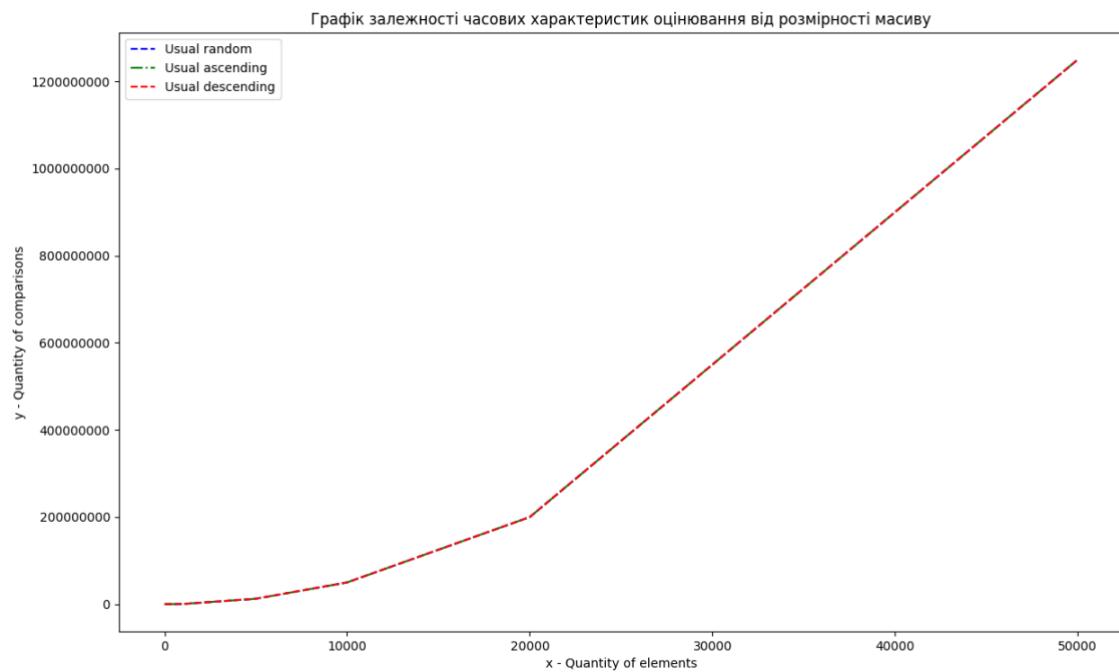


Графік залежності часових характеристик оцінювання від розмірності масиву
(масив містить упорядковану послідовність елементів)



Графік залежності часових характеристик оцінювання від розмірності масиву
(масив містить зворотно впорядковану послідовність елементів)

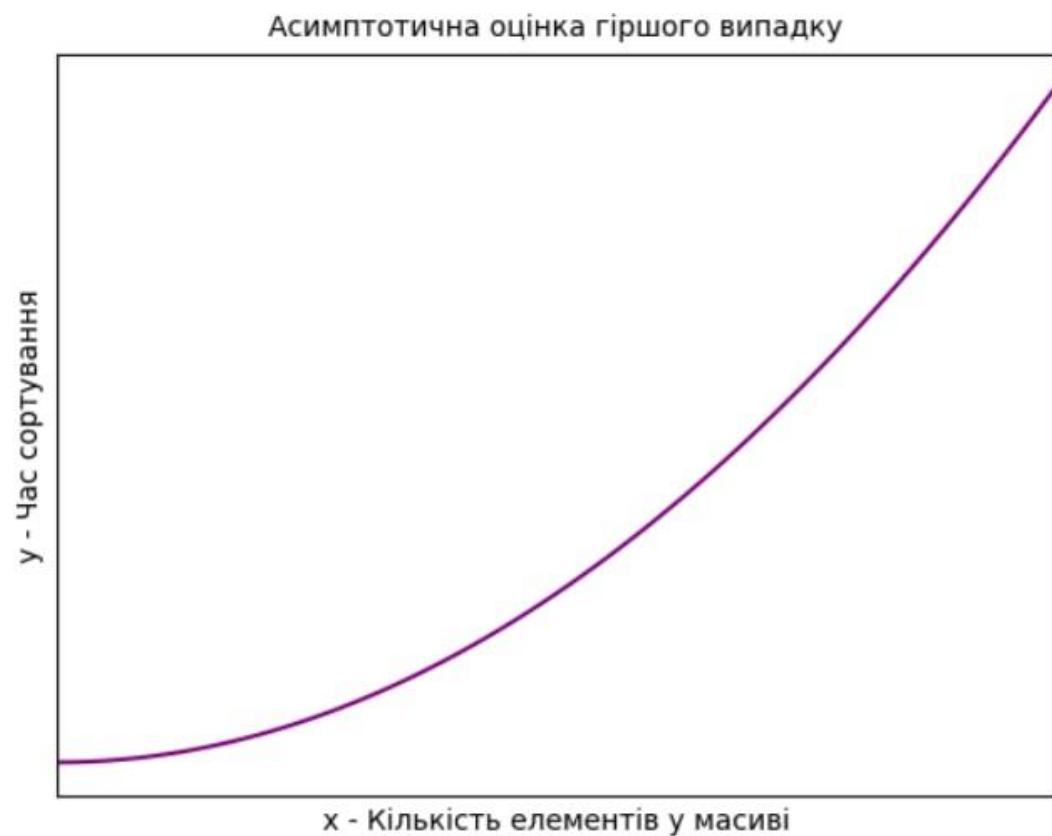




Кращий випадок:



Гірший випадок:



4 ВИКОНАННЯ (АЛГОРИТМ МОДИФІКОВАНОЇ БУЛЬБАШКИ)

3.1 Аналіз алгоритму на відповідність властивостям

Аналіз алгоритму сортування модифікованою бульбашкою, Insertion_sort на відповідність властивостям наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Аналіз алгоритму на відповідність властивостям

Властивість	Сортування модифікованою бульбашкою
Стійкість	Так, алгоритм є стійким.
«Природність» поведінки (Adaptability)	Так, алгоритм є природнім.
Базуються на порівняннях	Так, алгоритм базується на порівняннях.
Необхідність в додатковій пам'яті (об'єм)	Алгоритм не має потреби у додатковій пам'яті(об'ємі).
Необхідність в знаннях про структури даних	Потрібно мати базові знання про структури даних, щоб реалізувати цей алгоритм.

3.2 Псевдокод алгоритму

```
Підпрограма bubbleSortModified(int[] list)
    boolean isSorted = true
    int j=0
    Поки(isSorted && j < list.length - 1)
        isSorted = false
        Повторити для i до list.length - j-1
            Якщо(list[i] > list[i + 1])
                ТО
                    int temp = list[i]
                    list[i] = list[i + 1]
                    list[i + 1] = temp
                    isSorted = true
                Все якщо
                Все повторити
                j+=1
            Все повторити
        Повернути list
```

3.3 Аналіз часової складності

- Найгірша швидкодія: $O(n^2)$
- Найкраща швидкодія: $O(n)$
- Середня швидкодія: $O(n^2)$

3.4 Програмна реалізація алгоритму

```
static int[] bubbleSortModified(int[] list) {  
    boolean isSorted = true;  
    long comparisonsCounter = 0;  
    long swapCounter = 0;  
    int j=0;  
    while (isSorted && j < list.length - 1) {  
        isSorted = false;  
        for (int i = 0; i < list.length - j-1; i++) {  
            comparisonsCounter+=1;  
            if (list[i] > list[i + 1]) {  
                int temp = list[i];  
                list[i] = list[i + 1];  
                list[i + 1] = temp;  
                isSorted = true;  
                swapCounter += 1;  
            }  
        }  
        j++;  
    }  
    System.out.print ("\nSwap counter: " + swapCounter + "\nComparisons counter: " + comparisonsCounter +"\n");  
    return list;  
}  
Font size: 15pt      Reset to 13pt 
```

3.4.1 Вихідний код

```
static int[] bubbleSortModified(int[] list) {  
    boolean isSorted = true;  
    long comparisonsCounter = 0;  
    long swapCounter = 0;  
    int j=0;  
    while (isSorted && j < list.length - 1) {  
        isSorted = false;  
        for (int i = 0; i < list.length - j-1; i++) {  
            comparisonsCounter+=1;  
            if (list[i] > list[i + 1]) {  
                int temp = list[i];  
                list[i] = list[i + 1];  
                list[i + 1] = temp;  
                isSorted = true;  
                swapCounter += 1;  
            }  
        }  
        j++;  
    }  
}
```

```

        list[i + 1] = temp;
        isSorted = true;
        swapCounter += 1;

    }

}

j+=1;
}

System.out.print ("\nSwap counter: " +
swapCounter + "\nComparisons counter: " +
comparisonsCounter +"\n" );
return list;
}

```

4.2 Приклад роботи

На рисунках **3.1, 3.2, 3.3** показані приклади роботи програми сортування алгоритму бульбашки для масивів на 10, 100 і 1000 елементів відповідно.

Рисунок 3.1 – Сортування масиву на 10 елементів

- Випадковий

```

Before sorting:141, 805, 135, 495, 99, 978, 681, 745, 892, 310
Swap counter: 18
Comparisons counter: 42
After sorting:99, 135, 141, 310, 495, 681, 745, 805, 892, 978
Process finished with exit code 0

```

- Упорядкований

```

Before sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
Swap counter: 0
Comparisons counter: 9
After sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
Process finished with exit code 0

```

- Протилежно впорядкований

```
Before sorting:10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1
Swap counter: 45
Comparisons counter: 45
After sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
Process finished with exit code 0
```

Рисунок 3.2 – Сортування масиву на 100 елементів

• Випадковий

```
Before sorting:1585, 7298, 806, 3650, 4685, 5308, 7273, 5420, 2285, 6595, 3967, 6681, 7851, 5006, 8637, 1164, 9159, 7735, 8775, 1706, 4617, 5227, 2449, 8624, 5429, 8617, 2302, 4047, 1884, 4349, 6126, 1896, 3655, 5181, 4248, 2908, 9539, 9112, 6058, 1615, 1112, 2975, 5468, 7505, 4197, 5354, 7808, 5729, 1729, 4349, 8749, 3666, 8306, 9246, 9192, 8422, 834, 1625, 8747, 6893, 4853, 614, 4432, 4434, 1535, 9095, 510, 353, 6044, 2454, 24, 8468, 3992, 9205, 8492, 8780, 9045, 3237, 5504, 1953, 1393, 762, 478, 1758, 3762, 1118, 4755, 1850, 8912, 9532, 3324, 2376, 172, 1630, 6041, 8758, 4435, 4069, 9941, 9707
Swap counter: 2534
Comparisons counter: 4922
After sorting:24, 172, 353, 478, 510, 614, 762, 806, 834, 1112, 1118, 1164, 1393, 1535, 1585, 1615, 1625, 1638, 1706, 1729, 1758, 1804, 1850, 1896, 1953, 2285, 2302, 2376, 2449, 2454, 2908, 2975, 3237, 3324, 3650, 3655, 3666, 3762, 3967, 3992, 4047, 4069, 4197, 4248, 4349, 4349, 4432, 4434, 4435, 4605, 4617, 4755, 4853, 5006, 5181, 5227, 5308, 5354, 5420, 5429, 5468, 5504, 5729, 6041, 6044, 6058, 6126, 6595, 6681, 6893, 7273, 7298, 7505, 7735, 7808, 7851, 8306, 8422, 8468, 8492, 8617, 8624, 8637, 8747, 8749, 8758, 8775, 8788, 8912, 9045, 9095, 9112, 9159, 9192, 9205, 9246, 9532, 9539, 9707, 9941
Process finished with exit code 0
```

• Упорядкований

```
Before sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100
Swap counter: 0
Comparisons counter: 99
After sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100
Process finished with exit code 0
```

• Протилежно впорядкований

```
Before sorting:100, 99, 98, 97, 96, 95, 94, 93, 92, 91, 90, 89, 88, 87, 86, 85, 84, 83, 82, 81, 80, 79, 78, 77, 76, 75, 74, 73, 72, 71, 70, 69, 68, 67, 66, 65, 64, 63, 62, 61, 60, 59, 58, 57, 56, 55, 54, 53, 52, 51, 50, 49, 48, 47, 46, 45, 44, 43, 42, 41, 40, 39, 38, 37, 36, 35, 34, 33, 32, 31, 30, 29, 28, 27, 26, 25, 24, 23, 22, 21, 20, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1
Swap counter: 4950
Comparisons counter: 4950
After sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100
Process finished with exit code 0
```

Рисунок 3.2 – Сортування масиву на 1000 елементів

• Випадковий

BubbleSorterModified ×

```
Before sorting:52378, 62868, 17332, 89287, 78672, 2631, 55688, 46597, 39762, 12120, 19057, 70253, 23988, 9370, 8646, 36339, 27105, 10211, 25296, 62162, 80759, 24800, 68355, 49189, 53621, 880, 50785, 88691, 77193, 23906, 76882, 97252, 24168, 56652, 93264, 18175, 46233, 2347, 41940, 71849, 60327, 4089, 15467, 63196, 57630, 17389, 38508, 57548, 97927, 16834, 77558, 17672, 43511, 50217, 11163, 54112, 81392, 61870, 76649, 78611, 88361, 76341, 46198, 66134, 30319, 31805, 75048, 24806, 15290, 78224, 7658, 45111, 78668, 76212, 23874, 49740, 49494, 52821, 56444, 93741, 11955, 26017, 13679, 78956, 16778, 92584, 96614, 67187, 52840, 85172, 8720, 63168, 20056, 43404, 18835, 31897, 78508, 11218, 46519, 87373, 13697, 68045, 29512, 61125, 14179, 24955, 9353, 13228, 44624, 68558, 1558, 93734, 96305, 15237, 99317, 56967, 90048, 46296, 62877, 63839, 75563, 29902, 73596, 82108, 54727, 2407, 19872, 83450, 15315, 68859, 21587, 35233, 15647, 9223, 93048, 62897, 17764, 20350, 90516, 14093, 27009, 2886, 89713, 56392, 59237, 6386, 91191, 90314, 23418, 78911, 56965, 94685, 76999, 28399, 40523, 33956, 84160, 92282, 84155, 47882, 82971, 29096, 22459, 12211, 46461, 91237, 48962, 8209, 4748, 11559, 73985, 59482, 80615, 38176, 26210, 3382, 79315, 81586, 27804, 41131, 64879, 96194, 3588, 72542, 49837, 4294, 68366, 58140, 23013, 84764, 73391, 67317, 40929, 91009, 82866, 64974, 12372, 33079, 94439, 61112, 12786, 57447, 13865, 97889, 75425, 84577, 43384, 76928, 19567, 19204, 45166, 35965, 92601, 31154, 98999, 68426, 22425, 15573, 77587, 42127, 99349, 80588, 30250, 13970, 32573, 77799, 76279, 56417, 55309, 85694, 79509, 8439, 84772, 82142, 96216, 38782, 78469, 88709, 62845, 62567, 66645, 55672, 17517, 83648, 82219, 59439, 29841, 44562, 54182, 22648, 47214, 53843, 78176, 30679, 23795, 28863, 10652, 69136, 4031, 32684, 59419, 38391, 1307, 76753, 55683, 48526, 97232, 89863, 67349, 83862, 36898, 94984, 72302, 23049, 26182, 99117, 39187, 16993, 7581, 56007, 81419, 36813, 97312, 9976, 82343, 73899, 57147, 5000, 8957, 99864, 43295, 22174, 76427, 45839, 21615, 98033, 99188, 74184, 63544, 3841, 66127, 95166, 40341, 55966, 7100, 34630, 14613, 15714, 75966, 84423, 87532, 35698, 61344, 33462, 97777, 4245, 50456, 87711, 83949, 42085, 13724, 78102, 16044, 51511, 48167, 98494, 73557, 33088, 16221, 11951, 97882, 94794, 43217, 12948, 74888, 92074, 91585, 35524, 9911, 53748, 12717, 53030, 41876, 68322, 88501, 23726, 5830, 28026, 13661, 98384, 93948, 53777, 37345, 20923, 83852, 53262, 77806, 21226, 119, 96478, 47553, 20436, 49902, 28301, 78027, 43369, 26856, 76059, 12605, 60118, 8851, 51564, 44693, 59496, 84499, 91705, 13659, 90625, 31048, 29444, 35555, 95854, 31973, 37955, 37828, 98055, 66415, 44618, 87678, 98489, 24584, 68749, 52136, 87566, 3379, 97167, 4898, 78167, 14645, 75094, 99155, 59640, 94899, 56395, 59405, 129, 39711, 26768, 5344, 35618, 98818, 86243, 10880, 55807, 58182, 53379, 18107, 14107, 4921, 32178, 71687, 30661, 17040, 65352, 12585, 65057, 45833, 82457, 71758, 67251, 61488, 39940, 34188, 92884, 14046, 41650, 1557, 99716, 21252, 22943, 67908, 25534, 32437, 79317, 36719, 84774, 33321, 21348, 50361, 10989, 50437, 41732, 72827, 15396, 85880, 87348, 65744, 27893, 63165, 39532, 23889, 36295, 93266, 19100, 91436, 41933, 75778, 49198, 62994, 5367, 36293, 28648, 84562, 64625, 68326, 91252, 8682, 70225, 28976, 52362, 25330, 96138, 77285, 73050, 58542, 39729, 43087, 4318, 58253, 58791, 59279, 9082, 12545, 69342, 69693, 97985, 97228, 52880, 78864, 56656, 97637, 5362, 14444, 86623, 85520, 91461, 48025, 29854, 42101, 62826, 97781, 26633, 95735, 21418, 79664, 83209, 82637, 1836, 62278, 27171, 57679, 715, 53165, 28676, 36397, 8919, 63069, 17302, 1552, 62281, 69669, 61430, 73004, 61755, 54376, 40983, 937, 55471, 76689, 18220, 40765, 58908, 26484, 30080, 32934, 43804, 73655, 70574, 28956, 30802, 16582, 5269, 76166, 86275, 16239, 61617, 98027, 47483, 91053, 68621, 84234, 81080, 39198, 77278, 35459, 39721, 49589, 79251, 91245, 19812, 66615, 55387, 6387, 32827, 26534, 27995, 31078, 18802, 55437, 61187, 93160, 57862, 89840, 52138, 77018, 41656, 11197, 82777, 42959, 50068, 63024, 56195, 33387, 7271, 3808, 24991, 67610, 69284, 20523, 29774, 35839, 58589, 56320, 5244, 64755, 2093, 31832, 78527, 41929, 47541, 68544, 79851, 54496, 30496, 54821, 9216, 18624, 39073, 30405, 54330, 50674, 76847, 3614, 34893, 58377, 55699, 56946, 56221, 10902, 59840, 41434, 91224, 80416, 9851, 7856, 73921, 34517, 21294, 73781, 79967, 98886, 96299, 79412, 90056, 2570, 8516, 42366, 80622, 64476, 41895, 81733, 62998, 79009, 22003, 45162, 96259, 11198, 34921, 39235, 34418, 17189, 63243, 32978, 24561, 64881, 81290, 77173, 68225, 40847, 42388, 57945, 70069, 59883, 28167, 44267, 36395, 30566, 74302, 38670, 17638, 74267, 49595, 78291, 76753, 66583, 16873, 80332, 77163, 23086, 55750, 99723, 17584, 52883, 7627, 71097, 78323, 36365, 17655, 66832, 40549, 99954, 65711, 50359, 87234, 50086, 28409, 72160, 32244, 5628, 21345, 54438, 80219, 15744, 80980, 37099, 21244, 76257, 58977, 12459, 90700, 68818, 18312, 59800, 16303, 27299, 40871, 95653, 98989, 633, 72655, 16479, 72145, 21438, 80943, 35458, 22617, 8670, 81997, 61466, 76991, 29526, 86016, 53328, 37846, 20918, 96489, 51485, 80968, 24066, 61893, 65111, 76000, 17089, 12765, 685, 9518, 39976, 62637, 54177, 31254, 93877, 99033, 53154, 30981, 62414, 41652, 27396, 93531, 46537, 98835, 7015, 72465, 26426, 10547, 95638, 69135, 64046, 26372,
```

Swap counter: 253675
Comparisons counter: 499094

After sorting:119, 129, 399, 474, 633, 685, 715, 880, 937, 1123, 1307, 1382, 1550, 1552, 1557, 1634, 1657, 1761, 1836, 2093, 2295, 2347, 2407, 2570, 2631, 2886, 3154, 3156, 3379, 3382, 3413, 3534, 3588, 3614, 3808, 3841, 3917, 4031, 4089, 4245, 4294, 4318, 4748, 4898, 4921, 5000, 5244, 5269, 5291, 5344, 5362, 5367, 5628, 5830, 6100, 6186, 6205, 6283, 6318, 6386, 6387, 6500, 6728, 7015, 7100, 7201, 7271, 7516, 7524, 7581, 7627, 7658, 7856, 8209, 8439, 8456, 8516, 8646, 8670, 8679, 8682, 8720, 8851, 8941, 8957, 9882, 9216, 9223, 9342, 9353, 9378, 9518, 9795, 9851, 9911, 9976, 10211, 10476, 10547, 10652, 10880, 10902, 10989, 11163, 11190, 11197, 11218, 11269, 11559, 11951, 11955, 11964, 12120, 12175, 12372, 12459, 12548, 12585, 12605, 12717, 12765, 12773, 12784, 12894, 12948, 13161, 13228, 13659, 13661, 13679, 13697, 13724, 13865, 13978, 14046, 14093, 14107, 14179, 14213, 14444, 14645, 14690, 14845, 14905, 14926, 15011, 15122, 15152, 15237, 15290, 15315, 15346, 15396, 15467, 15504, 15570, 15647, 15684, 15714, 15744, 15794, 16034, 16044, 16221, 16239, 16303, 16479, 16582, 16647, 16778, 16873, 16993, 17040, 17089, 17189, 17302, 17332, 17389, 17517, 17584, 17638, 17655, 17672, 17764, 18035, 18107, 18146, 18175, 18220, 18312, 18624, 18802, 19012, 19057, 19100, 19204, 19567, 19872, 20056, 20246, 20350, 20436, 20487, 20523, 20918, 20923, 21226, 21244, 21252, 21294, 21321, 21345, 21348, 21418, 21438, 21450, 21512, 21513, 21587, 21615, 22003, 22174, 22425, 22617, 22648, 22671, 22731, 22919, 22943, 23013, 23049, 23086, 23418, 23726, 23795, 23889, 23906, 23988, 24008, 24066, 24168, 24416, 24555, 24651, 24848, 24955, 24991, 25141, 25296, 25330, 25534, 25830, 26017, 26182, 26210, 26372, 26376, 26426, 26484, 26534, 26633, 26760, 26837, 26856, 26978, 27089, 27836, 27105, 27291, 27396, 27440, 27508, 27595, 27641, 27804, 27893, 27995, 28086, 28301, 28399, 28409, 28648, 28676, 28863, 28956, 28976, 29096, 29148, 29444, 29473, 29512, 29526, 29774, 29841, 29854, 29902, 30080, 30250, 30319, 30384, 30405, 30496, 30566, 30661, 30679, 30802, 30981, 31048, 31078, 31097, 31154, 31254, 31656, 31805, 31832, 31973, 32178, 32244, 32437, 32573, 32684, 32827, 32934, 32978, 33079, 33088, 33321, 33387, 33401, 33462, 33956, 34188, 34418, 34442, 34517, 34630, 34779, 34893, 34921, 35013, 35233, 35458, 35459, 35524, 35555, 35610, 35690, 35839, 35847, 35965, 36116, 36293, 36295, 36368, 36393, 36365, 36397, 36719, 36831, 36898, 37099, 37345, 37516, 37828, 37846, 37955, 38864, 38148, 38176, 38318, 38475, 38508, 38670, 38782, 39073, 39187, 39198, 39235, 39352, 39519, 39548, 39711, 39721, 39762, 39853, 39940, 39976, 40071, 40341, 40523, 40549, 40765, 40847, 40929, 40983, 41131, 41434, 41555, 41650, 41652, 41656, 41705, 41732, 41876, 41895, 41929, 41933, 41940, 41957, 42085, 42101, 42127, 42149, 42366, 42388, 42596, 42822, 42959, 43859, 43217, 43295, 43304, 43369, 43404, 43511, 43715, 43804, 44046, 44562, 44618, 44624, 44693, 44705, 45111, 45162, 45166, 45833, 45839, 46092, 46198, 46206, 46233, 46427, 46461, 46519, 46537, 46597, 47214, 47483, 47541, 47553, 47793, 47802, 48025, 48167, 48292, 48526, 48962, 49189, 49198, 49422, 49494, 49589, 49595, 49740, 49837, 49902, 50006, 50068, 50215, 50359, 50361, 50437, 50456, 50496, 50674, 50785, 50819, 51142, 51485, 51511, 51564, 51687, 52136, 52210, 52289, 52338, 52362, 52372, 52378, 52549, 52643, 52658, 52803, 52840, 52880, 53080, 53154, 53165, 53262,

```

53328, 53379, 53543, 53550, 53621, 53748, 53758, 53777, 53972, 54112, 54177, 54182, 54330, 54376, 54438, 54496, 54727, 54821, 55309, 55387, 55437, 55471, 55683,
55608, 55672, 55672, 55699, 55750, 55807, 55836, 55892, 55966, 56007, 56195, 56221, 56320, 56392, 56395, 56417, 56444, 56498, 56652, 56656, 56852, 56900, 56946,
56965, 56967, 57147, 57302, 57447, 57469, 57548, 57630, 57679, 57774, 57862, 57911, 57945, 58140, 58182, 58253, 58377, 58399, 58589, 58791, 58900, 58977, 59000,
59237, 59279, 59405, 59419, 59439, 59482, 59496, 59640, 59808, 59840, 59883, 60108, 60118, 60262, 60315, 60327, 60615, 60658, 60737, 60803, 60907, 60963, 61112,
61125, 61187, 61344, 61430, 61466, 61488, 61617, 61677, 61755, 61870, 61893, 62162, 62278, 62281, 62414, 62421, 62567, 62637, 62826, 62845, 62868, 62877, 62897,
62908, 62994, 63024, 63039, 63069, 63165, 63168, 63196, 63243, 63544, 63958, 64046, 64476, 64625, 64649, 64755, 64879, 64881, 64974, 65057, 65111, 65111, 65352,
65527, 65641, 65711, 65744, 66127, 66134, 66415, 66583, 66645, 66832, 66836, 67187, 67251, 67317, 67349, 67463, 67543, 67610, 67900, 67988, 68045, 68193, 68225,
68322, 68355, 68366, 68426, 68554, 68558, 68621, 68749, 68818, 68859, 69135, 69136, 69284, 69323, 69342, 69353, 69391, 69441, 69669, 70069, 70167, 70225,
70253, 70323, 70500, 70574, 70643, 70956, 71097, 71558, 71687, 71758, 71809, 71849, 72145, 72168, 72302, 72465, 72542, 72655, 72722, 72827, 73004, 73050,
73391, 73557, 73596, 73655, 73681, 73708, 73781, 73921, 73985, 74184, 74267, 74302, 74465, 74769, 74888, 75048, 75094, 75425, 75563, 75771, 75778, 75859, 75966,
75983, 76000, 76059, 76166, 76212, 76257, 76279, 76341, 76427, 76649, 76753, 76847, 76882, 76928, 76991, 76999, 77018, 77082, 77163, 77173, 77193,
77228, 77285, 77558, 77587, 77709, 77806, 77823, 77944, 78027, 78102, 78176, 78224, 78291, 78469, 78527, 78611, 78668, 78672, 78864, 78911, 79009, 79251, 79315,
79317, 79412, 79509, 79582, 79664, 79851, 79959, 79967, 80167, 80219, 80323, 80332, 80361, 80416, 80588, 80615, 80622, 80759, 80943, 80968, 80980, 81080, 81245,
81290, 81392, 81419, 81586, 81733, 81997, 82108, 82128, 82142, 82167, 82219, 82343, 82457, 82637, 82777, 82866, 82971, 83209, 83456, 83648, 83852, 83862, 83949,
84155, 84160, 84234, 84449, 84562, 84577, 84583, 84764, 84772, 84774, 84856, 84934, 85172, 85232, 85322, 85520, 85522, 85542, 85543, 85693, 85694, 85880,
86016, 86243, 86256, 86275, 86623, 87234, 87235, 87344, 87348, 87373, 87428, 87532, 87566, 87670, 87677, 87709, 87711, 88399, 88501, 88691, 88709, 88718, 88767,
89019, 89207, 89492, 89576, 89696, 89713, 89772, 89823, 89840, 89863, 90048, 90056, 90121, 90314, 90516, 90625, 90708, 90833, 90989, 91009, 91053, 91191, 91224,
91237, 91245, 91252, 91268, 91323, 91436, 91585, 91705, 91866, 92074, 92282, 92338, 92584, 92601, 92833, 92884, 93048, 93168, 93166, 93206, 93264,
93399, 93531, 93584, 93695, 93734, 93741, 93877, 93899, 93948, 94307, 94439, 94685, 94794, 94890, 94984, 95166, 95287, 95563, 95565, 95638, 95735, 95854, 95921,
96138, 96194, 96216, 96259, 96299, 96305, 96478, 96489, 96614, 97167, 97228, 97232, 97252, 97312, 97637, 97777, 97781, 97845, 97854, 97882, 97889, 97927, 97985,
98027, 98055, 98384, 98489, 98494, 98767, 98810, 98835, 98886, 98999, 99033, 99064, 99117, 99155, 99188, 99317, 99349, 99716, 99723, 99797, 99954
Process finished with exit code 0

```

• Упорядкований

```

Before sorting: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40,
41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81,
82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117,
118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150,
151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182,
183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215,
216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247,
248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280,
281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312,
313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345,
346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377,
378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410,
411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442,
443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475,
476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507,
508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540,
541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572,
573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605,
606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637,
638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670,
671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702,
703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735,
736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767,
768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800,
801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832,
833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865,
866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897,
898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930,
931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962,
963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995,
996, 997, 998, 999, 1000

```

Swap counter: 0

Comparisons counter: 999

After sorting: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000

● Протилежно впорядкований

Before sorting: 1000, 999, 998, 997, 996, 995, 994, 993, 992, 991, 990, 989, 988, 987, 986, 985, 984, 983, 982, 981, 980, 979, 978, 977, 976, 975, 974, 973, 972, 971, 970, 969, 968, 967, 966, 965, 964, 963, 962, 961, 960, 959, 958, 957, 956, 955, 954, 953, 952, 951, 950, 949, 948, 947, 946, 945, 944, 943, 942, 941, 940, 939, 938, 937, 936, 935, 934, 933, 932, 931, 930, 929, 928, 927, 926, 925, 924, 923, 922, 921, 920, 919, 918, 917, 916, 915, 914, 913, 912, 911, 910, 909, 908, 907, 906, 905, 904, 903, 902, 901, 900, 899, 898, 897, 896, 895, 894, 893, 892, 891, 890, 889, 888, 887, 886, 885, 884, 883, 882, 881, 880, 879, 878, 877, 876, 875, 874, 873, 872, 871, 870, 869, 868, 867, 866, 865, 864, 863, 862, 861, 860, 859, 858, 857, 856, 855, 854, 853, 852, 851, 850, 849, 848, 847, 846, 845, 844, 843, 842, 841, 840, 839, 838, 837, 836, 835, 834, 833, 832, 831, 830, 829, 828, 827, 826, 825, 824, 823, 822, 821, 820, 819, 818, 817, 816, 815, 814, 813, 812, 811, 810, 809, 808, 807, 806, 805, 804, 803, 802, 801, 800, 799, 798, 797, 796, 795, 794, 793, 792, 791, 790, 789, 788, 787, 786, 785, 784, 783, 782, 781, 780, 779, 778, 777, 776, 775, 774, 773, 772, 771, 770, 769, 768, 767, 766, 765, 764, 763, 762, 761, 760, 759, 758, 757, 756, 755, 754, 753, 752, 751, 750, 749, 748, 747, 746, 745, 744, 743, 742, 741, 740, 739, 738, 737, 736, 735, 734, 733, 732, 731, 730, 729, 728, 727, 726, 725, 724, 723, 722, 721, 720, 719, 718, 717, 716, 715, 714, 713, 712, 711, 710, 709, 708, 707, 706, 705, 704, 703, 702, 701, 700, 699, 698, 697, 696, 695, 694, 693, 692, 691, 690, 689, 688, 687, 686, 685, 684, 683, 682, 681, 680, 679, 678, 677, 676, 675, 674, 673, 672, 671, 670, 669, 668, 667, 666, 665, 664, 663, 662, 661, 660, 659, 658, 657, 656, 655, 654, 653, 652, 651, 650, 649, 648, 647, 646, 645, 644, 643, 642, 641, 640, 639, 638, 637, 636, 635, 634, 633, 632, 631, 630, 629, 628, 627, 626, 625, 624, 623, 622, 621, 620, 619, 618, 617, 616, 615, 614, 613, 612, 611, 610, 609, 608, 607, 606, 605, 604, 603, 602, 601, 600, 599, 598, 597, 596, 595, 594, 593, 592, 591, 590, 589, 588, 587, 586, 585, 584, 583, 582, 581, 580, 579, 578, 577, 576, 575, 574, 573, 572, 571, 570, 569, 568, 567, 566, 565, 564, 563, 562, 561, 560, 559, 558, 557, 556, 555, 554, 553, 552, 551, 550, 549, 548, 547, 546, 545, 544, 543, 542, 541, 540, 539, 538, 537, 536, 535, 534, 533, 532, 531, 530, 529, 528, 527, 526, 525, 524, 523, 522, 521, 520, 519, 518, 517, 516, 515, 514, 513, 512, 511, 510, 509, 508, 507, 506, 505, 504, 503, 502, 501, 500, 499, 498, 497, 496, 495, 494, 493, 492, 491, 490, 489, 488, 487, 486, 485, 484, 483, 482, 481, 480, 479, 478, 477, 476, 475, 474, 473, 472, 471, 470, 469, 468, 467, 466, 465, 464, 463, 462, 461, 460, 459, 458, 457, 456, 455, 454, 453, 452, 451, 450, 449, 448, 447, 446, 445, 444, 443, 442, 441, 440, 439, 438, 437, 436, 435, 434, 433, 432, 431, 430, 429, 428, 427, 426, 425, 424, 423, 422, 421, 420, 419, 418, 417, 416, 415, 414, 413, 412, 411, 410, 409, 408, 407, 406, 405, 404, 403, 402, 401, 400, 399, 398, 397, 396, 395, 394, 393, 392, 391, 390, 389, 388, 387, 386, 385, 384, 383, 382, 381, 379, 378, 377, 376, 375, 374, 373, 372, 371, 370, 369, 368, 367, 366, 365, 364, 363, 362, 361, 360, 359, 358, 357, 356, 355, 354, 353, 352, 351, 350, 349, 348, 347, 346, 345, 344, 343, 342, 341, 340, 339, 338, 337, 336, 335, 334, 333, 332, 331, 330, 329, 328, 327, 326, 325, 324, 323, 322, 321, 320, 319, 318, 317, 316, 315, 314, 313, 312, 311, 310, 309, 308, 307, 306, 305, 304, 303, 302, 301, 300, 299, 298, 297, 296, 295, 294, 293, 292, 291, 290, 289, 288, 287, 286, 285, 284, 283, 282, 281, 280, 279, 278, 277, 276, 275, 274, 273, 272, 271, 270, 269, 268, 267, 266, 265, 264, 263, 262, 261, 260, 259, 258, 257, 256, 255, 254, 253, 252, 251, 250, 249, 248, 247, 246, 245, 244, 243, 242, 241, 240, 239, 238, 237, 236, 235, 234, 233, 232, 231, 230, 229, 228, 227, 226, 225, 224, 223, 222, 221, 220, 219, 218, 217, 216, 215, 214, 213, 212, 211, 210, 209, 208, 207, 206, 205, 204, 203, 202, 201, 200, 199, 198, 197, 196, 195, 194, 193, 192, 191, 190, 189, 188, 187, 186, 185, 184, 183, 182, 181, 180, 179, 178, 177, 176, 175, 174, 173, 172, 171, 170, 169, 168, 167, 166, 165, 164, 163, 162, 161, 160, 159, 158, 157, 156, 155, 154, 153, 152, 151, 150, 149, 148, 147, 146, 145, 144, 143, 142, 141, 140, 139, 138, 137, 136, 135, 134, 133, 132, 131, 130, 129, 128, 127, 126, 125, 124, 123, 122, 121, 120, 119, 118, 117, 116, 115, 114, 113, 112, 111, 110, 109, 108, 107, 106, 105, 104, 103, 102, 101, 100, 99, 98, 97, 96, 95, 94, 93, 92, 91, 90, 89, 88, 87, 86, 85, 84, 83, 82, 81, 80, 79, 78, 77, 76, 75, 74, 73, 72, 71, 70, 69, 68, 67, 66, 65, 64, 63, 62, 61, 60, 59, 58, 57, 56, 55, 54, 53, 52, 51, 50, 49, 48, 47, 46, 45, 44, 43, 42, 41, 40, 39, 38, 37, 36, 35, 34, 33, 32, 31, 30, 29, 28, 27, 26, 25, 24, 23, 22, 21, 20, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1

Swap counter: 499500

Comparisons counter: 499500

After sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 98, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000

3.5 Тестування алгоритму

Я провела тестування у пункті (4.3.2) згенерувавши масиви на 10,100,1000, з'ясувала, що алгоритм модифікованої бульбашки правильно відсортував масиви у трьох випадках, які є унікальними. Модифікований алгоритм бульбашки є кращою версією попередньої, бо містить в собі flag(в даному випадку isSorted), який ставиться, якщо зміна відбувається після повного проходу по масиву. Якщо ж обмін відсутній, то немає необхідності міняти місцями, у цьому випадку завершується виконання. Але складність найгіршого випадку залишається незмінною. Додатково проведемо тестування з 37ома елементами:

Код:

```
package SortAlgorithm;

public class BubbleSorterModified {
    public static void main(String[] args) {
        int[] list = new int[37];

        GenerateRandomList ( list );
        GenerateAscendingList ( list );
        GenerateDescendingList(list);

        System.out.print ( "Before sorting:" );
        OutputList ( list );
        list = bubbleSortModified ( list );

        System.out.print ( "After sorting:" );
        OutputList ( list );
    }

    private static void GenerateDescendingList(int[]list) {
        for(int i = list.length;i > 0;i--){
            list[list.length-i] = i;
        }
    }
}
```



```

    }
}

private static void GenerateAscendingList(int[] list) {
    for (int i = 0; i < list.length; i++) {
        list[i] = i+1;
    }
}

private static void GenerateRandomList(int[] list) {
    for (int i = 0; i < list.length; i++) {
        list[i] = (int) (Math.random () * 100000) + 1;
    }
}

private static void OutputList(int[] list) {
    for (int i = 0; i < list.length; i++) {
        if (i != list.length - 1) {
            System.out.print ( list[i] + ", " );
        } else {
            System.out.print ( list[i] );
        }
    }
}

static int[] bubbleSortModified(int[] list) {
    boolean isSorted = true;
    long comparisonsCounter = 0;
    long swapCounter = 0;
    int j=0;
    while (isSorted && j < list.length - 1) {
        isSorted = false;
        for (int i = 0; i < list.length - j-1; i++) {
            comparisonsCounter+=1;
            if (list[i] > list[i + 1]) {
                int temp = list[i];
                list[i] = list[i + 1];
                list[i + 1] = temp;
                isSorted = true;
                swapCounter += 1;

            }
        }
        j+=1;
    }
    System.out.print ("\nSwap counter: " + swapCounter + "\nComparisons
counter: " + comparisonsCounter +"\n" );
    return list;
}
}

```

Обираємо функцію відповідно до потрібності певного сортування(для упорядкованого, протилежно впорядкованого або випадкового масиву)

Результати тестування:

• Випадковий

```
Before sorting:318, 901, 98, 163, 807, 598, 431, 484, 12, 882, 561, 399, 972, 771, 724, 415, 184, 534, 90, 609, 91, 156, 202, 221, 51, 800, 909, 413, 787, 702, 285, 596, 17, 487, 388, 581, 298
Swap counter: 355
Comparisons counter: 656
After sorting:12, 17, 51, 90, 91, 98, 156, 163, 184, 202, 221, 285, 298, 318, 388, 399, 413, 415, 431, 484, 487, 534, 561, 581, 596, 598, 609, 702, 724, 771, 787, 800, 807, 882, 901, 909, 972
Process finished with exit code 0
```

Бачимо, що алгоритм працює правильно – відсортувавши унікальний масив. Цей варіант вважаємо середнім за швидкодією $O(n^2)$, к-сть порівнянь та перестановок варіюється кожного разу, залежно від випадково сформованого масиву.

• Упорядкований

```
Before sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37
Swap counter: 0
Comparisons counter: 36
After sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37
Process finished with exit code 0
```

Бачимо, що алгоритм працює правильно – відсортувавши унікальний масив. Цей варіант вважаємо найкращим за швидкодією $O(n)$, к-сть порівнянь для даного масиву є 36, а к-сть перестановок дорівнює 0, тому що масив був упорядкованим заздалегідь.

• Протилежно впорядкований

```
Before sorting:37, 36, 35, 34, 33, 32, 31, 30, 29, 28, 27, 26, 25, 24, 23, 22, 21, 20, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1
Swap counter: 666
Comparisons counter: 666
After sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37
Process finished with exit code 0
```

Бачимо, що алгоритм працює правильно – відсортувавши унікальний масив. Цей варіант вважаємо найгіршим за швидкодією $O(n^2)$, к-сть порівнянь та перестановок для даного масиву є 666, тому що масив не був упорядкованим заздалегідь, що вимагає здійснення більшої к-сть перетворень.

3.5.1 Часові характеристики оцінювання

В таблиці 3.2 наведені характеристики оцінювання числа порівнянь і числа перестановок алгоритму сортування бульбашки, модифікованого алгоритму та Insertion_sort для масивів різної розмірності, коли масив містить упорядковану послідовність елементів.

Таблиця 3.2 – Характеристики оцінювання модифікованого алгоритму сортування бульбашки, модифікованого алгоритму та Insertion_sort для упорядкованої послідовності елементів у масиві

Розмірність масиву	Число порівнянь	Число перестановок
10	9	0
100	99	0
1000	999	0
5000	4999	0
10000	9999	0
20000	19999	0
50000	49999	0

В таблиці 3.3 наведені характеристики оцінювання числа порівнянь і числа перестановок алгоритму сортування бульбашки, модифікованого алгоритму та Insertion_sort для масивів різної розмірності, коли масиви *містять зворотно упорядковану послідовність* елементів.

Розмірність масиву	Число порівнянь	Число перестановок
10	45	45
100	4950	4950
1000	499500	499500
5000	12497500	12497500
10000	49995000	49995000
20000	199990000	199990000
50000	1249975000	1249975000

У таблиці 3.4 наведені характеристики оцінювання числа порівнянь і числа перестановок алгоритму сортування бульбашки, модифікованого алгоритму та

`Insertion_sort` для масивів різної розмірності, масиви містять випадкову послідовність елементів.

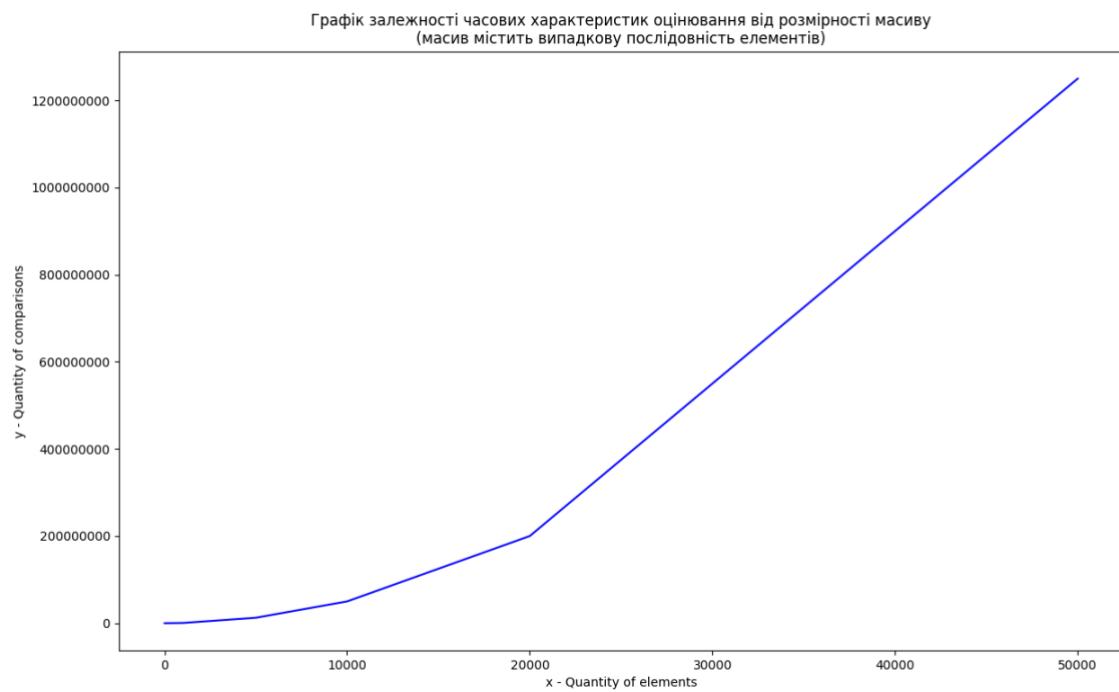
Таблиця 3.4 – Характеристика оцінювання алгоритму сортування бульбашки, модифікованого алгоритму та `Insertion_sort` для випадкової послідовності елементів у масиві.

Розмірність масиву	Число порівнянь	Число перестановок
10	42	22
100	4914	2517
1000	498639	245535
5000	12492844	6218741
10000	49985547	24809730
20000	199988404	99856685
50000	1249774972	625949955

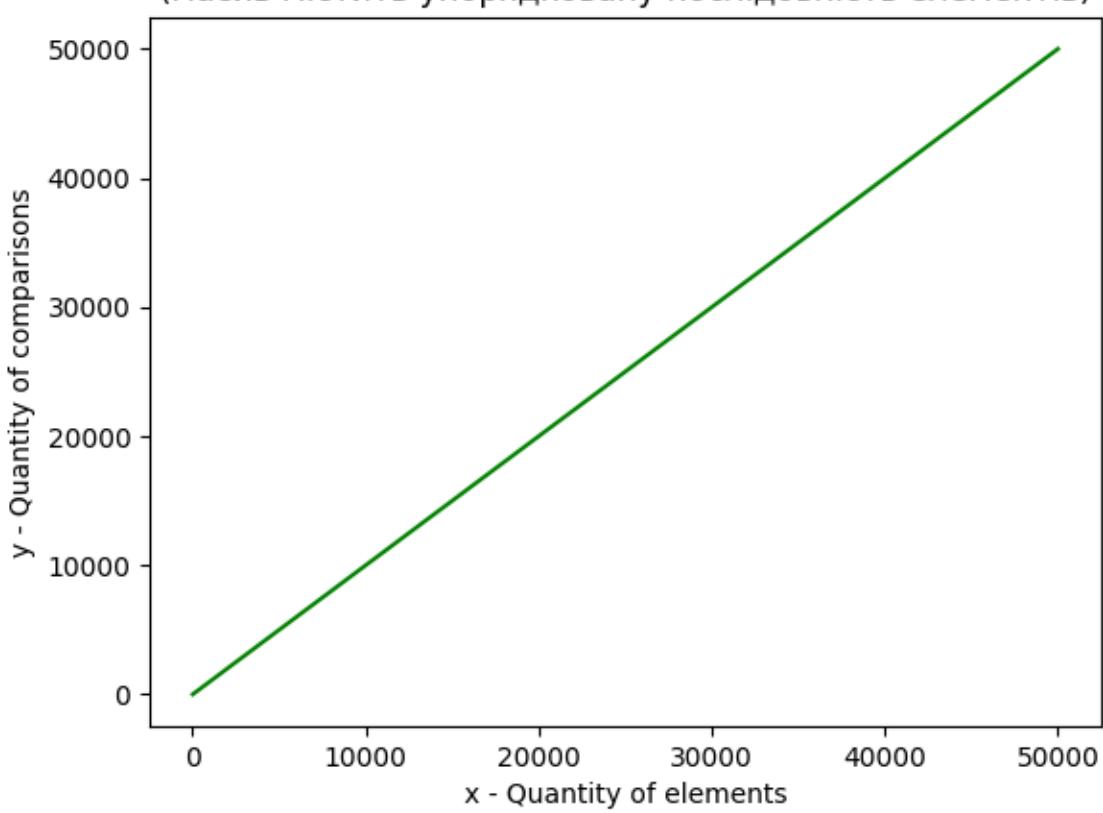
3.5.2 Графіки залежності часових характеристик оцінювання від розмірності масиву

На рисунку 3.3 показані графіки залежності часових характеристик оцінювання від розмірності масиву для випадків, коли масиви містять упорядковану послідовність елементів (зелений графік), коли масиви містять зворотно упорядковану послідовність елементів (червоний графік), коли масиви містять випадкову послідовність елементів (синій графік), також показані асимптотичні оцінки гіршого (фіолетовий графік) і кращого (жовтий графік) випадків для порівняння.

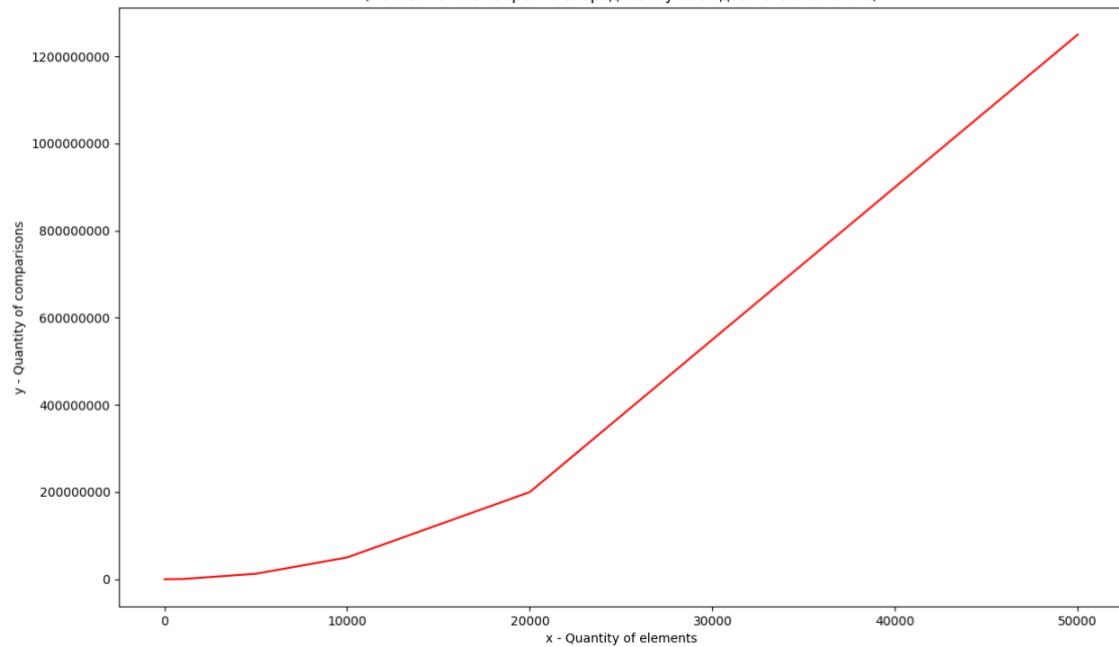
Рисунок 3.3 – Графіки залежності часових характеристик оцінювання



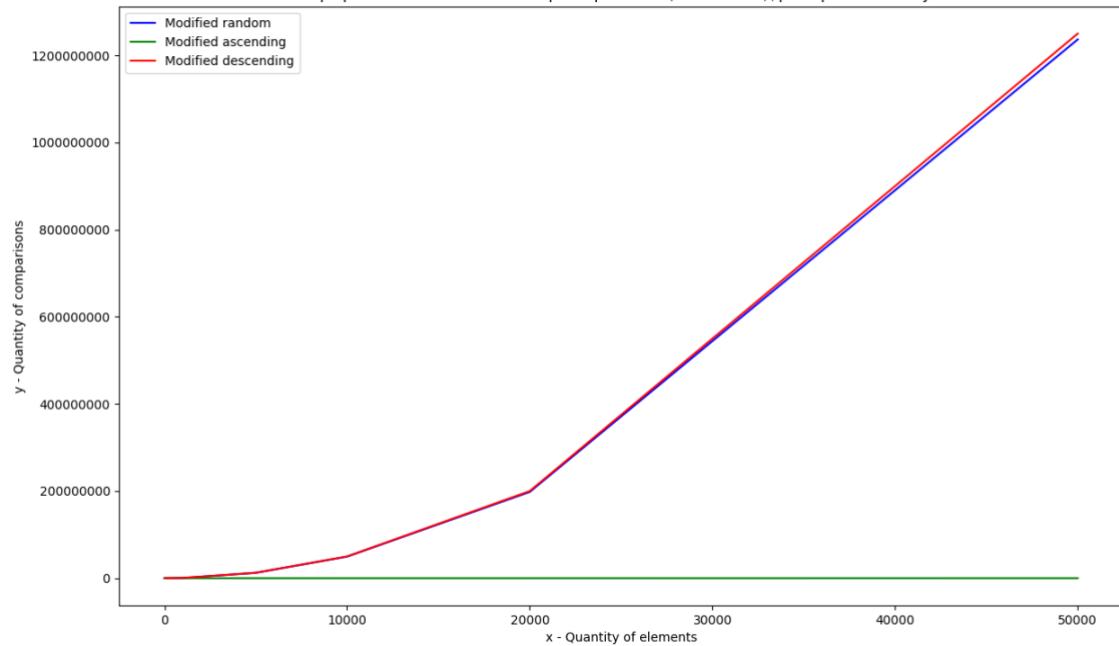
Графік залежності часових характеристик оцінювання від розмірності масиву
(массив містить упорядковану послідовність елементів)



Графік залежності часових характеристик оцінювання від розмірності масиву
(масив містить зворотно впорядковану послідовність елементів)

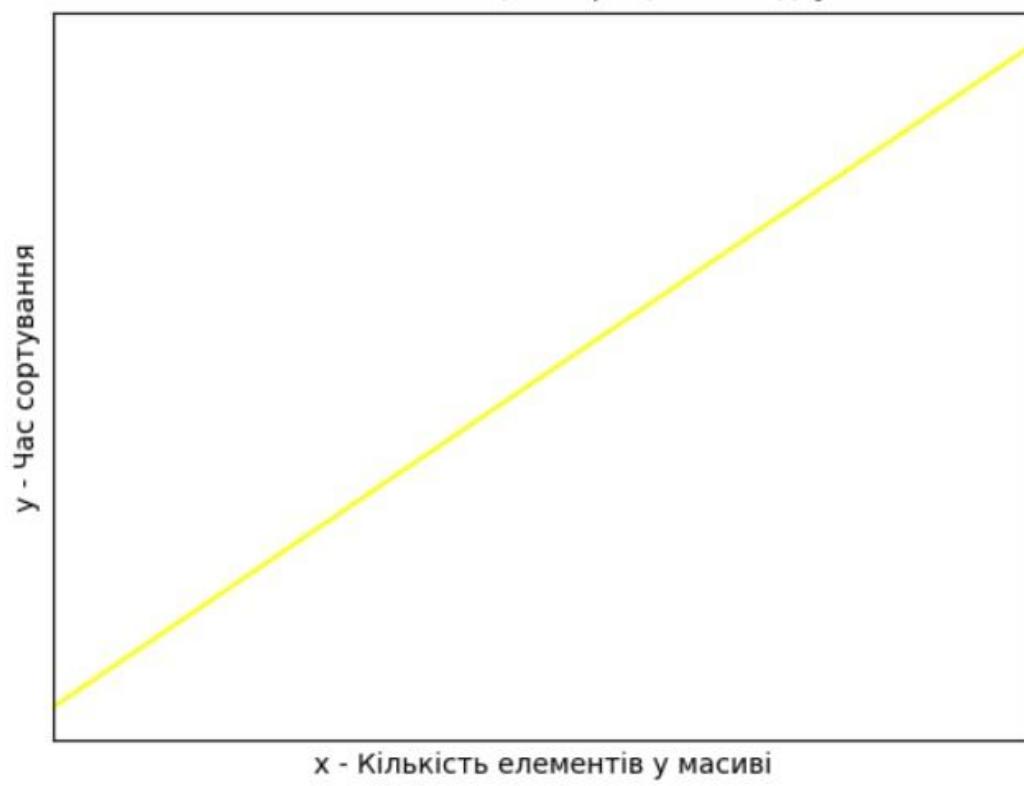


Графік залежності часових характеристик оцінювання від розмірності масиву



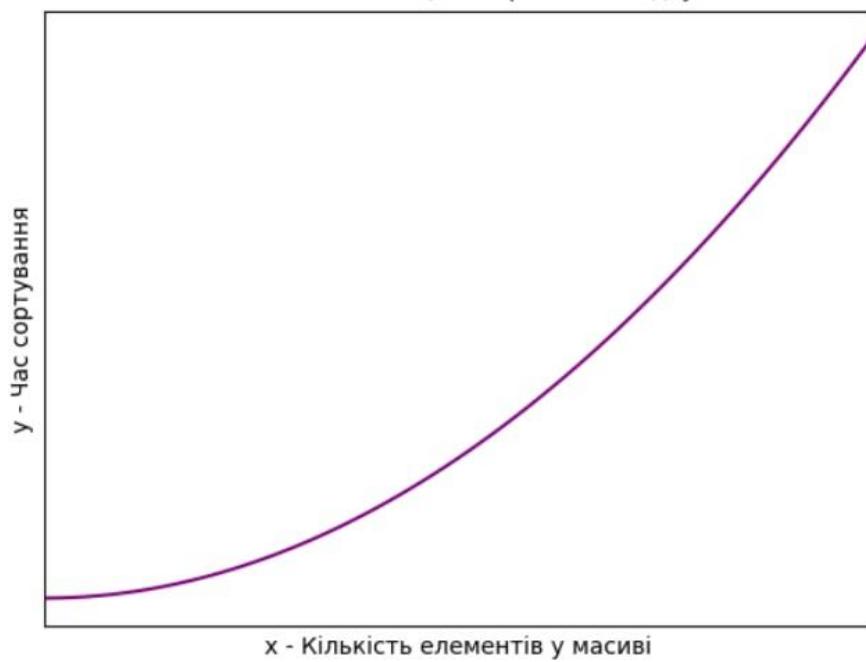
Кращий випадок:

Асимптотична оцінка кращого випадку



Гірший випадок:

Асимптотична оцінка гіршого випадку



5 ВИКОНАННЯ (АЛГОРИТМ INSERTION_SORT)

3.1 Аналіз алгоритму на відповідність властивостям

Аналіз алгоритму сортування бульбашкою, **Insertion_sort** на відповідність властивостям наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Аналіз алгоритму на відповідність властивостям

Властивість	Сортування Insertion_sort
Стійкість	Так, алгоритм є стійким.
«Природність» поведінки (Adaptability)	Так, алгоритм є природнім.
Базуються на порівняннях	Так, алгоритм базується на порівняннях.
Необхідність в додатковій пам'яті (об'єм)	Алгоритм не має потреби у додатковій пам'яті(об'ємі).
Необхідність в знаннях про структури даних	Потрібно мати базові знання про структури даних, щоб реалізувати цей алгоритм.

3.2 Псевдокод алгоритму

```
Підпрограма [] insertionSort(int[] list) {
    int size = list.length;
    Повторити для step від 0 до size
        int key = list[step];
        int j = step - 1;
        Поки (j >= 0 && key < list[j])
            list[j + 1] = list[j];
            --j;
        Все повторити
            list[j + 1] = key;
        Все повторити
    Повернути list
```

3.3 Аналіз часової складності

- Найгірша швидкодія: $O(n^2)$
- Найкраща швидкодія: $O(n)$
- Середня швидкодія: $O(n^2)$

3.4 Програмна реалізація алгоритму

```
1 usage
private static int[] insertionSort(int[] list) {
    long comparisonsCounter = 0;
    long swapCounter = 0;
    int size = list.length;
    for (int step = 1; step < size; step++) {
        int key = list[step];
        int j = step - 1;
        while (j >= 0 && key < list[j]) {
            list[j + 1] = list[j];
            comparisonsCounter+=1;
            swapCounter += 1;
            --j;
        }
        list[j + 1] = key;
        comparisonsCounter+=1;
    }
    System.out.print ("\nSwap counter: "+ swapCounter + "\nComparisons counter: " + comparisonsCounter +"\n" );
    return list;
}
```

3.4.1 Вихідний код

```
private static int[] insertionSort(int[] list) {
    long comparisonsCounter = 0;
    long swapCounter = 0;
    int size = list.length;
    for (int step = 1; step < size; step++) {
        int key = list[step];
        int j = step - 1;
        while (j >= 0 && key < list[j]) {
            list[j + 1] = list[j];
            comparisonsCounter+=1;
            swapCounter += 1;
            --j;
        }
        list[j + 1] = key;
        comparisonsCounter+=1;
    }
    System.out.print ("\nSwap counter: "+ swapCounter + "\nComparisons counter:
" + comparisonsCounter +"\n" );
    return list;
}
```

3.4.2 Приклад роботи

На рисунках **3.1, 3.2, 3.3** показані приклади роботи програми сортування алгоритму бульбашки для масивів на 10, 100 і 1000 елементів відповідно.

Рисунок 3.1 – Сортuvання масиву на 10 елементів

• Випадковий

```
Before sorting:39, 370, 578, 694, 772, 783, 344, 537, 780, 120
Swap counter: 18
Comparisons counter: 27
After sorting:39, 120, 344, 370, 537, 578, 694, 772, 780, 783
Process finished with exit code 0
```

• Упорядкований

```
Before sorting:0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
Swap counter: 0
Comparisons counter: 9
After sorting:0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
Process finished with exit code 0
```

• Протилежно впорядкований

```
Before sorting:10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1
Swap counter: 45
Comparisons counter: 54
After sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
Process finished with exit code 0
```

Рисунок 3.2 – Сортuvання масиву на 100 елементів

• Випадковий

```
Before sorting:83187, 56316, 48769, 53427, 89978, 85661, 35039, 38388, 69673, 26613, 45065, 58136, 79617, 89439, 88987, 49414, 17023, 88601, 14695, 59798, 9254, 70971, 63852, 82956, 41658, 42821, 36886, 12652, 30068, 22285, 57754, 916, 81856, 34984, 63022, 50104, 72032, 10555, 75954, 6873, 51154, 26929, 53162, 58502, 27532, 7384, 7071, 58445, 39259, 22635, 15806, 8516, 60867, 46515, 79336, 29685, 25308, 89170, 28625, 22118, 24464, 76109, 24039, 17777, 30392, 44947, 70340, 75689, 45117, 64210, 78209, 30799, 38958, 60196, 56439, 72242, 46067, 38556, 44680, 25791, 31160, 17004, 43948, 48283, 43265, 34336, 30978, 28900, 40719, 88834, 52929, 33304, 16606, 36046, 30984, 1861, 85379, 71881, 54911, 2432
Swap counter: 2778
Comparisons counter: 2877
After sorting:916, 1861, 2432, 6873, 7071, 7384, 8516, 9254, 10555, 12652, 14695, 15806, 16606, 17004, 17023, 17777, 22118, 22285, 22635, 24039, 24464, 25308, 25791, 26613, 26929, 27532, 28625, 28900, 29685, 30068, 30392, 30799, 30978, 30984, 31160, 33304, 34336, 34984, 35039, 36046, 36886, 38388, 38556, 38958, 39259, 40719, 41658, 42821, 43265, 43948, 44680, 44947, 45065, 45117, 46067, 46515, 48283, 48769, 49414, 50104, 51154, 52929, 53162, 53427, 54911, 56316, 56439, 57754, 58136, 58445, 58502, 59798, 60196, 60867, 63022, 63052, 64210, 69673, 70340, 70971, 71881, 72032, 72242, 75689, 75954, 76109, 78209, 79336, 79617, 81856, 82956, 83187, 85379, 85661, 88601, 88834, 88987, 89170, 89439, 89978
Process finished with exit code 0
```

● Упорядкований

```
Before sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40,  
41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81,  
82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100  
Swap counter: 0  
Comparisons counter: 99  
After sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40,  
41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81,  
82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100  
Process finished with exit code 0
```

● Протилежно впорядкований

```
Before sorting:100, 99, 98, 97, 96, 95, 94, 93, 92, 91, 90, 89, 88, 87, 86, 85, 84, 83, 82, 81, 80, 79, 78, 77, 76, 75, 74, 73, 72, 71, 70, 69, 68, 67, 66, 65, 64,  
63, 62, 61, 60, 59, 58, 57, 56, 55, 54, 53, 52, 51, 50, 49, 48, 47, 46, 45, 44, 43, 42, 41, 40, 39, 38, 37, 36, 35, 34, 33, 32, 31, 30, 29, 28, 27, 26, 25, 24, 23,  
22, 21, 20, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1  
Swap counter: 4950  
Comparisons counter: 5049  
After sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40,  
41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81,  
82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100  
Process finished with exit code 0
```

Рисунок 3.3 – Сортування масиву на 1000 елементів

● Протилежно впорядкований

```
Before sorting:1000, 999, 998, 997, 996, 995, 994, 993, 992, 991, 990, 989, 988, 987, 986, 985, 984, 983, 982, 981, 980, 979, 978, 977, 976, 975, 974, 973, 972,  
971, 970, 969, 968, 967, 966, 965, 964, 963, 962, 961, 960, 959, 958, 957, 956, 955, 954, 953, 952, 951, 950, 949, 948, 947, 946, 945, 944, 943, 942, 941, 940,  
939, 938, 937, 936, 935, 934, 933, 932, 931, 930, 929, 928, 927, 926, 925, 924, 923, 922, 921, 920, 919, 918, 917, 916, 915, 914, 913, 912, 911, 910, 909, 908,  
907, 906, 905, 904, 903, 902, 901, 900, 899, 898, 897, 896, 895, 894, 893, 892, 891, 890, 889, 888, 887, 886, 885, 884, 883, 882, 881, 880, 879, 878, 877, 876,  
875, 874, 873, 872, 871, 870, 869, 868, 867, 866, 865, 864, 863, 862, 861, 860, 859, 858, 857, 856, 855, 854, 853, 852, 851, 850, 849, 848, 847, 846, 845, 844,  
843, 842, 841, 840, 839, 838, 837, 836, 835, 834, 833, 832, 831, 830, 829, 828, 827, 826, 825, 824, 823, 822, 821, 820, 819, 818, 817, 816, 815, 814, 813, 812,  
811, 810, 809, 808, 807, 806, 805, 804, 803, 802, 801, 800, 799, 798, 797, 796, 795, 794, 793, 792, 791, 790, 789, 788, 787, 786, 785, 784, 783, 782, 781, 780,  
779, 778, 777, 776, 775, 774, 773, 772, 771, 770, 769, 768, 767, 766, 765, 764, 763, 762, 761, 760, 759, 758, 757, 756, 755, 754, 753, 752, 751, 750, 749, 748,  
747, 746, 745, 744, 743, 742, 741, 740, 739, 738, 737, 736, 735, 734, 733, 732, 731, 730, 729, 728, 727, 726, 725, 724, 723, 722, 721, 720, 719, 718, 717, 716,  
715, 714, 713, 712, 711, 710, 709, 708, 707, 706, 705, 704, 703, 702, 701, 700, 699, 698, 697, 696, 695, 694, 693, 692, 691, 690, 689, 688, 687, 686, 685, 684,  
683, 682, 681, 680, 679, 678, 677, 676, 675, 674, 673, 672, 671, 670, 669, 668, 667, 666, 665, 664, 663, 662, 661, 660, 659, 658, 657, 656, 655, 654, 653, 652,  
651, 650, 649, 648, 647, 646, 645, 644, 643, 642, 641, 640, 639, 638, 637, 636, 635, 634, 633, 632, 631, 630, 629, 628, 627, 626, 625, 624, 623, 622, 621, 620,  
619, 618, 617, 616, 615, 614, 613, 612, 611, 610, 609, 608, 607, 606, 605, 604, 603, 602, 601, 600, 599, 598, 597, 596, 595, 594, 593, 592, 591, 590, 589, 588,  
587, 586, 585, 584, 583, 582, 581, 580, 579, 578, 577, 576, 575, 574, 573, 572, 571, 570, 569, 568, 567, 566, 565, 564, 563, 562, 561, 560, 559, 558, 557, 556,  
555, 554, 553, 552, 551, 550, 549, 548, 547, 546, 545, 544, 543, 542, 541, 540, 539, 538, 537, 536, 535, 534, 533, 532, 531, 530, 529, 528, 527, 526, 525, 524,  
523, 522, 521, 520, 519, 518, 517, 516, 515, 514, 513, 512, 511, 510, 509, 508, 507, 506, 505, 504, 503, 502, 501, 500, 499, 498, 497, 496, 495, 494, 493, 492,  
491, 490, 489, 488, 487, 486, 485, 484, 483, 482, 481, 480, 479, 478, 477, 476, 475, 474, 473, 472, 471, 470, 469, 468, 467, 466, 465, 464, 463, 462, 461, 460,  
459, 458, 457, 456, 455, 454, 453, 452, 451, 450, 449, 448, 447, 446, 445, 444, 443, 442, 441, 440, 439, 438, 437, 436, 435, 434, 433, 432, 431, 430, 429, 428,  
427, 426, 425, 424, 423, 422, 421, 420, 419, 418, 417, 416, 415, 414, 413, 412, 411, 410, 409, 408, 407, 406, 405, 404, 403, 402, 401, 400, 399, 398, 397, 396,  
395, 394, 393, 392, 391, 390, 389, 388, 387, 386, 385, 384, 383, 382, 381, 380, 379, 378, 377, 376, 375, 374, 373, 372, 371, 370, 369, 368, 367, 366, 365, 364,  
363, 362, 361, 360, 359, 358, 357, 356, 355, 354, 353, 352, 351, 350, 349, 348, 347, 346, 345, 344, 343, 342, 341, 340, 339, 338, 337, 336, 335, 334, 333, 332,  
331, 330, 329, 328, 327, 326, 325, 324, 323, 322, 321, 320, 319, 318, 317, 316, 315, 314, 313, 312, 311, 310, 309, 308, 307, 306, 305, 304, 303, 302, 301, 300,  
299, 298, 297, 296, 295, 294, 293, 292, 291, 290, 289, 288, 287, 286, 285, 284, 283, 282, 281, 280, 279, 278, 277, 276, 275, 274, 273, 272, 271, 270, 269, 268,  
267, 266, 265, 264, 263, 262, 261, 260, 259, 258, 257, 256, 255, 254, 253, 252, 251, 250, 249, 248, 247, 246, 245, 244, 243, 242, 241, 240, 239, 238, 237, 236,  
235, 234, 233, 232, 231, 230, 229, 228, 227, 226, 225, 224, 223, 222, 221, 220, 219, 218, 217, 216, 215, 214, 213, 212, 211, 210, 209, 208, 207, 206, 205, 204,  
203, 202, 201, 200, 199, 198, 197, 196, 195, 194, 193, 192, 191, 190, 189, 188, 187, 186, 185, 184, 183, 182, 181, 180, 179, 178, 177, 176, 175, 174, 173, 172,  
171, 170, 169, 168, 167, 166, 165, 164, 163, 162, 161, 160, 159, 158, 157, 156, 155, 154, 153, 152, 151, 150, 149, 148, 147, 146, 145, 144, 143, 142, 141, 140,  
139, 138, 137, 136, 135, 134, 133, 132, 131, 130, 129, 128, 127, 126, 125, 124, 123, 122, 121, 120, 119, 118, 117, 116, 115, 114, 113, 112, 111, 110, 109, 108,  
107, 106, 105, 104, 103, 102, 101, 100, 99, 98, 97, 96, 95, 94, 93, 92, 91, 90, 89, 88, 87, 86, 85, 84, 83, 82, 81, 80, 79, 78, 77, 76, 75, 74, 73, 72, 71, 70,  
69, 68, 67, 66, 65, 64, 63, 62, 61, 60, 59, 58, 57, 56, 55, 54, 53, 52, 51, 50, 49, 48, 47, 46, 45, 44, 43, 42, 41, 40, 39, 38, 37, 36, 35, 34, 33, 32, 31, 30,
```

Swap counter: 999

Comparisons counter: 500499

After sorting: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000

Process finished with exit code 0

• Випадковий

Before sorting: 10100, 42163, 85603, 47838, 71617, 12820, 67637, 12901, 25538, 40480, 77416, 63724, 31586, 18943, 22459, 22414, 78121, 2655, 43191, 22352, 41021, 83479, 38551, 40076, 43976, 21577, 4611, 657, 82740, 44332, 86226, 6081, 69017, 11372, 52503, 5047, 608, 78238, 70503, 85918, 3197, 25999, 67982, 53286, 75733, 49222, 25225, 32569, 45761, 60082, 80809, 26384, 63213, 21066, 31241, 83288, 21047, 1606, 70425, 13797, 49487, 78559, 28401, 1971, 9626, 1010, 20320, 6799, 65391, 25556, 86880, 74545, 51916, 2444, 45706, 3485, 57330, 66515, 48734, 79101, 23412, 2386, 42993, 180, 52109, 30432, 4627, 54823, 85129, 32575, 56383, 44171, 6749, 54602, 16885, 60841, 5810, 54822, 35978, 68507, 1449, 37214, 4143, 18487, 48456, 4926, 5092, 57538, 82145, 3084, 66944, 74810, 8277, 24671, 27108, 29926, 15474, 43322, 18208, 89078, 55325, 70262, 44880, 58738, 73778, 57985, 59242, 41708, 9599, 63121, 32750, 36886, 43651, 6728, 16672, 310, 34691, 20571, 35696, 60917, 69921, 14666, 64748, 66349, 11462, 60920, 31806, 43825, 43119, 30026, 29840, 38605, 45328, 63965, 8012, 27917, 70027, 44442, 25547, 11311, 61328, 88351, 29321, 9405, 23242, 54999, 69783, 11692, 3276, 16174, 68463, 700, 51011, 49562, 74302, 44140, 15778, 67655, 15371, 88908, 16251, 49672, 7138, 40747, 10404, 71243, 38398, 1419, 35822, 51802, 50417, 19806, 77086, 51701, 52271, 56563, 15019, 64674, 31297, 66069, 63649, 35691, 54958, 66755, 68491, 11368, 73740, 2088, 22021, 9968, 10409, 69329, 321, 81720, 13535, 77251, 10456, 10664, 11097, 38480, 68976, 57577, 27624, 31230, 69888, 86587, 64542, 14701, 82415, 16441, 47646, 32157, 88513, 81106, 22452, 65802, 27839, 83335, 74310, 47984, 559, 69171, 3807, 43931, 83698, 20961, 4955, 22307, 1685, 1392, 12926, 81148, 36558, 11303, 5491, 8451, 41680, 9585, 85894, 88594, 63917, 43437, 2481, 68098, 33129, 60709, 71943, 56777, 14591, 32081, 9953, 33255, 79454, 8592, 66397, 7039, 10752, 88437, 74911, 62842, 47604, 35379, 19288, 86719, 88234, 78338, 83127, 67696, 83250, 57100, 29975, 63067, 34196, 81521, 49982, 60279, 88285, 20285, 75637, 13443, 63760, 19291, 31554, 87876, 77272, 69822, 11481, 71834, 29709, 44877, 19687, 50572, 6849, 34399, 73736, 82425, 11853, 80545, 81275, 87804, 64838, 60719, 68904, 47980, 25172, 57153, 16480, 79769, 50510, 65412, 45251, 72371, 28324, 4275, 83116, 72478, 40209, 72063, 45011, 60986, 86628, 61606, 18912, 37754, 39885, 58463, 68279, 57887, 26126, 54764, 59986, 11945, 42951, 54092, 52071, 62761, 7812, 11191, 61667, 59666, 43799, 73972, 505827, 33105, 53650, 44293, 70596, 71333, 29835, 38265, 14736, 2446, 88464, 36496, 45820, 55796, 87378, 29575, 33152, 88179, 14313, 24379, 48302, 81859, 59281, 2325, 26089, 3453, 76443, 51540, 8709, 34961, 14627, 61158, 70263, 50829, 2433, 77374, 53250, 7826, 23337, 17757, 31857, 8618, 12411, 15215, 6357, 1062, 17996, 89893, 66244, 40400, 63397, 67647, 14576, 52197, 3855, 57784, 82254, 25555, 63761, 47463, 44884, 51369, 26989, 45832, 1529, 72124, 87642, 7461, 2440, 16262, 33384, 35173, 52729, 14995, 78153, 55933, 24951, 57110, 11803, 62120, 59918, 77784, 23016, 86113, 1649, 60735, 64844, 79592, 29553, 29110, 73261, 20186, 57758, 9461, 6313, 47212, 39663, 84861, 23139, 45086, 33231, 57762, 44341, 7736, 80871, 80564, 21913, 69885, 57051, 52080, 64145, 20802, 72776, 30455, 697, 86448, 28888, 1101, 76056, 27465, 28478, 82347, 89998, 79749, 8356, 58519, 51322, 11518, 8328, 59902, 6140, 42288, 68806, 38341, 34311, 35997, 59438, 66411, 87215, 45121, 68691, 40888, 25009, 26038, 5601, 46673, 21739, 66065, 70553, 5656, 82247, 1268, 51934, 56576, 47484, 43987, 41919, 88559, 25985, 10875, 43804, 40095, 2094, 31458, 86845, 7298, 41364, 27790, 27575, 18475, 89473, 83334, 213, 45154, 13350, 59629, 66155, 64416, 34048, 87679, 32143, 13548, 53440, 70727, 35676, 89098, 56434, 21584, 21306, 51622, 14394, 42141, 36871, 79457, 14747, 14826, 44431, 59717, 66396, 25806, 86671, 72376, 25753, 85933, 73752, 71220, 4144, 29613, 49844, 12356, 25592, 52686, 39637, 30874, 89870, 15365, 19815, 28947, 41488, 79302, 33292, 3200, 21144, 52444, 73216, 62655, 69254, 22450, 52521, 26210, 70324, 18989, 69254, 60794, 28486, 60636, 28590, 76544, 31016, 29346, 25187, 64015, 23045, 82770, 10703, 45235, 66920, 21637, 29574, 6952, 1768, 43650, 35131, 65826, 87224, 62397, 12470, 6506, 59979, 49622, 84072, 34551, 62853, 51867, 59141, 49468, 11418, 37978, 37829, 63778, 62846, 72261, 7123, 42470, 5641, 29175, 5982, 63457, 27155, 29352, 73549, 53732, 28416, 63598, 5715, 87799, 58656, 50229, 52140, 54590, 15171, 36262, 47955, 46853, 47659, 62583, 41786, 21770, 80013, 28128, 4503, 15399, 26709, 63361, 21137, 23896, 25379, 39693, 1881, 53562, 71957, 87155, 16095, 28201, 19835, 41892, 39519, 6698, 29910, 77167, 19648, 85924, 34084, 16354, 74591, 44670, 2025, 64100, 15940, 47359, 57709, 42302, 33948, 18651, 12556, 838, 33006, 50048, 81686, 59093, 51476, 72681, 41132, 63251, 81073, 76079, 24224, 36011, 77499, 76329, 26856, 89996, 35846, 46974, 69954, 43400, 11367, 9066, 7220, 6645, 88702, 57148, 25011, 11759, 343, 86058, 68422, 42005, 68198, 9397, 3053, 67873, 30452, 84261, 45764, 16976, 9763, 8418, 9751, 19611, 27452, 45475, 49745, 68803, 53150, 10816, 65788, 3472, 88583, 56051, 39106, 66078, 19288, 42584, 10913, 11483, 38281, 65511, 34644, 32286, 31219, 67530, 44078, 86567, 43496, 8780, 72068, 48418, 55878, 52628, 17213, 27954, 86793, 69275, 48688, 17223, 46174, 78776,

, 22657, 80769, 77898, 42569, 27238, 54729, 7922, 66807, 56369, 66843, 22858, 60599, 46713, 87574, 40052, 65002, 22554, 44395, 66957, 63739, 80537, 23070, , 6002, 65203, 55235, 7907, 23055, 11632, 65182, 44864, 34586, 486, 75676, 3278, 13947, 44467, 24841, 21407, 35000, 2905, 9899, 56170, 16989, 83925, 53917, 78075, , 47985, 83756, 79365, 18156, 65471, 26811, 23781, 34939, 31741, 77779, 64520, 5958, 8665, 74838, 54140, 10134, 11835, 51344, 5320, 64443, 40264, 61847, 84362, , 20770, 10512, 47151, 55327, 46532, 77425, 82254, 35765, 25671, 40497, 18486, 5699, 55164, 67009, 53207, 67545, 37480, 14627, 20172, 69218, 73321, 25866, , 44837, 2002, 9114, 85237, 6624, 42815, 75810, 87237, 55356, 58635, 5789, 86640, 19360, 9905, 24406, 29438, 56646, 5294, 61167, 346

```

After sorting:180, 213, 310, 321, 343, 486, 559, 608, 657, 697, 700, 825, 838, 1010, 1062, 1101, 1268, 1392, 1419, 1449, 1529, 1606, 1649, 1685, 1768, 1801, 1971, 2002, 2088, 2325, 2386, 2433, 2440, 2444, 2446, 2481, 2655, 2905, 3053, 3084, 3197, 3200, 3276, 3278, 3453, 3472, 3485, 3887, 3855, 4041, 4081, 4143, 4144, 4275, 4503, 4611, 4627, 4955, 5047, 5218, 5294, 5320, 5491, 5601, 5641, 5656, 5699, 5715, 5789, 5810, 5958, 5982, 6002, 6081, 6088, 6140, 6313, 6357, 6506, 6575, 6624, 6645, 6698, 6728, 6749, 6799, 6849, 6952, 7039, 7107, 7123, 7138, 7220, 7298, 7461, 7736, 7812, 7826, 7907, 7922, 8012, 8101, 8277, 8328, 8356, 8418, 8451, 8592, 8618, 8665, 8709, 8780, 9066, 9114, 9263, 9397, 9405, 9461, 9585, 9599, 9626, 9655, 9751, 9763, 9899, 9905, 9953, 9968, 10100, 10134, 10208, 10221, 10278, 10314, 10404, 10409, 10456, 10512, 10664, 10703, 10752, 10816, 10875, 10913, 11003, 11035, 11097, 11191, 11303, 11311, 11367, 11368, 11372, 11418, 11462, 11481, 11483, 11510, 11531, 11632, 11692, 11759, 11853, 11884, 11945, 12350, 12411, 12470, 12556, 12820, 12901, 12926, 13356, 13443, 13543, 13554, 13797, 13947, 14313, 14394, 14576, 14591, 14627, 14666, 14701, 14736, 14747, 14826, 14995, 15019, 15171, 15215, 15365, 15371, 15399, 15474, 15778, 15940, 16095, 16174, 16251, 16262, 16297, 16354, 16441, 16480, 16616, 16672, 16885, 16976, 17213, 17223, 17483, 17569, 17609, 17732, 17759, 17996, 18156, 18257, 18475, 18486, 18651, 18678, 18847, 18912, 18943, 18989, 19288, 19291, 19360, 19611, 19648, 19687, 19806, 19818, 19835, 20172, 20186, 20285, 20320, 20350, 20571, 20770, 20802, 20880, 20961, 21047, 21052, 21066, 21137, 21144, 21306, 21407, 21577, 21584, 21637, 21739, 21766, 21770, 21913, 22021, 22204, 22307, 22342, 22352, 22414, 22450, 22452, 22459, 22554, 22657, 22858, 23016, 23045, 23055, 23070, 23139, 23337, 23412, 23453, 23728, 23781, 23896, 24224, 24379, 24406, 24671, 24758, 24841, 24951, 25009, 25011, 25172, 25187, 25225, 25379, 25538, 25547, 25555, 25556, 25592, 25671, 25806, 25866, 25985, 26038, 26089, 26126, 26210, 26317, 26384, 26419, 26709, 26811, 26856, 26989, 27106, 27155, 27236, 27371, 27452, 27465, 27573, 27575, 27624, 27752, 27798, 27839, 27917, 27954, 28128, 28201, 28324, 28399, 28401, 28416, 28487, 28590, 28947, 29003, 29110, 29175, 29321, 29346, 29352, 29438, 29553, 29574, 29575, 29613, 29709, 29835, 29840, 29910, 29926, 29975, 30026, 30074, 30432, 30452, 30455, 30472, 31016, 31219, 31230, 31241, 31297, 31458, 31480, 31586, 31741, 31806, 31887, 32081, 32143, 32157, 32286, 32569, 32575, 32750, 32786, 33006, 33105, 33129, 33152, 33231, 33255, 33292, 33384, 33948, 34048, 34084, 34196, 34311, 34399, 34551, 34586, 34644, 34651, 34691, 34939, 34961, 35000, 35131, 35173, 35379, 35676, 35691, 35765, 35822, 35846, 35970, 35997, 36011, 36262, 36496, 36558, 36577, 36871, 36886, 37214, 37480, 37536, 37752, 37754, 37829, 37978, 38059, 38265, 38281, 38312, 38348, 38398, 38480, 38551, 38556, 38605, 39106, 39150, 39155, 39637, 39663, 39693, 39756, 39885, 40052, 40076, 40095, 40209, 40264, 40400, 40480, 40497, 40588, 40747, 40888, 40904, 40926, 40935, 41021, 41132, 41364, 41488, 41688, 41708, 41786, 41892, 41919, 42005, 42141, 42163, 42288, 42302, 42470, 42569, 42584, 42640, 42815, 42951, 42993, 43119, 43191, 43322, 43400, 43405, 43496, 43650, 43651, 43799, 43804, 43825, 43931, 43976, 43987, 44072, 44078, 44140, 44171, 44293, 44332, 44347, 44395, 44420, 44431, 44442, 44457, 44467, 44837, 44864, 44877, 44880, 44884, 45011, 45020, 45086,
```

```

45121, 45154, 45235, 45251, 45283, 45328, 45475, 45706, 45761, 45764, 45832, 46174, 46341, 46532, 46673, 46713, 46742, 46853, 46974, 47038, 47046, 47151, 47212, 47359, 47463, 47604, 47659, 47786, 47955, 47980, 47984, 48296, 48302, 48418, 48546, 48688, 48734, 49844, 49870, 49896, 49222, 49283, 49468, 49487, 49562, 49622, 49672, 49745, 49982, 50048, 50229, 50417, 50510, 50527, 50572, 50646, 50829, 51011, 51079, 51202, 51322, 51344, 51369, 51476, 51540, 51622, 51701, 51743, 51867, 51916, 51934, 52000, 52071, 52109, 52140, 52197, 52271, 52444, 52503, 52521, 52604, 52623, 52628, 52686, 52729, 52768, 53150, 53207, 53250, 53286, 53440, 53562, 53650, 53732, 53917, 54092, 54140, 54482, 54590, 54602, 54729, 54764, 54783, 54822, 54823, 54861, 54956, 54992, 55140, 55164, 55235, 55325, 55356, 55738, 55796, 55801, 55878, 55933, 56051, 56170, 56369, 56383, 56400, 56434, 56560, 56563, 56777, 57051, 57100, 57110, 57148, 57153, 57330, 57577, 57709, 57758, 57762, 57784, 57857, 57985, 58463, 58519, 58635, 58656, 58738, 58993, 59141, 59242, 59281, 59438, 59629, 59666, 59717, 59902, 59906, 59910, 59979, 60082, 60279, 60294, 60422, 60491, 60599, 60636, 60709, 60719, 60735, 60841, 60917, 60920, 60920, 60986, 61059, 61158, 61167, 61328, 61606, 61667, 61748, 61847, 62120, 62135, 62278, 62397, 62583, 62655, 62761, 62777, 62812, 62842, 62846, 62853, 63067, 63121, 63123, 63251, 63361, 63397, 63457, 63500, 63649, 63668, 63724, 63739, 63760, 63761, 63778, 63917, 63965, 64015, 64100, 64145, 64416, 64443, 64520, 64542, 64674, 64740, 64804, 64838, 64844, 65002, 65182, 65203, 65391, 65412, 65471, 65511, 65676, 65788, 65802, 65826, 66065, 66069, 66070, 66155, 66244, 66312, 66349, 66384, 66396, 66397, 66411, 66515, 66755, 66807, 66843, 66944, 66957, 67009, 67530, 67545, 67637, 67647, 67655, 67696, 67873, 67982, 68098, 68190, 68279, 68339, 68463, 68507, 68803, 68806, 68904, 68976, 69017, 69022, 69171, 69218, 69254, 69254, 69275, 69329, 69674, 69725, 69783, 69805, 69888, 69921, 69954, 70027, 70262, 70263, 70324, 70425, 70503, 70553, 70596, 70727, 71220, 71243, 71333, 71617, 71834, 71943, 71957, 72063, 72068, 72124, 72261, 72371, 72376, 72478, 72681, 72776, 73216, 73321, 73549, 73736, 73748, 73752, 73778, 73972, 74095, 74302, 74310, 74545, 74591, 74768, 74810, 74838, 74911, 75584, 75637, 75676, 75733, 75810, 76056, 76079, 76329, 76443, 76524, 76619, 76922, 77006, 77093, 77167, 77251, 77272, 77374, 77416, 77425, 77449, 77779, 77898, 78075, 78121, 78153, 78238, 78338, 78559, 78776, 79038, 79302, 79365, 79454, 79457, 79592, 79749, 79769, 79964, 79998, 80013, 80315, 80537, 80545, 80564, 80769, 80971, 81073, 81106, 81148, 81275, 81466, 81521, 81686, 81720, 81859, 81868, 81876, 81954, 82145, 82247, 82254, 82347, 82415, 82740, 82770, 83116, 83127, 83250, 83280, 83334, 83335, 83479, 83698, 83756, 83925, 83975, 84072, 84245, 84261, 84362, 84727, 84861, 85129, 85237, 85603, 85844, 85918, 85924, 85933, 85960, 85984, 86058, 86113, 86226, 86448, 86567, 86587, 86628, 86640, 86671, 86691, 86719, 86793, 86845, 86880, 87155, 87215, 87224, 87325, 87378, 87574, 87642, 87679, 87790, 87804, 87876, 88179, 88234, 88351, 88437, 88464, 88513, 88559, 88583, 88594, 88702, 88825, 88900, 88987, 89043, 89078, 89093, 89098, 89404, 89473, 89526, 89600, 89870, 89996, 89998
```

Process finished with exit code 0

3.5 Тестування алгоритму

Я провела тестування у пункті (4.3.2) згенерувавши масиви на 10,100,1000, з'ясувала, що алгоритм Insertion_sort правильно відсортував масиви у трьох випадках, які є унікальними. Чудовий варіант для сортування, який поділяє масив на дві частини(відсортовану та ні) перекидаючи зліва направо, тобто з невідсортованої у відсортовану. Сортування вставками є найбільш ефективним, коли небагато елементів масиву та більшість є відсортованою. Проведемо тестування з 25тъма елементами.

Kod:

```

package SortAlgorithm;

public class BubbleSorterModified {
    public static void main(String[] args) {
        int[] list = new int[25];
        // GenerateRandomList ( list );
        // GenerateAscendingList ( list );
        GenerateDescendingList(list);

        System.out.print ( "Before sorting:" );
        OutputList ( list );
    }
}

```

```

        list = insertionSort( list );
        System.out.print ( "After sorting:" );
        OutputList ( list );
    }

private static void GenerateDescendingList(int[]list){
    for(int i = list.length;i > 0;i--){
        list[list.length-i] = i;
    }
}
private static void GenerateAscendingList(int[] list) {
    for (int i = 0; i< list.length; i++){
        list[i] = i+1;
    }
}

private static void GenerateRandomList(int[] list) {
    for (int i = 0; i < list.length; i++) {
        list[i] = (int) (Math.random () * 40000) + 1;
    }
}

private static void OutputList(int[] list) {
    for (int i = 0; i < list.length; i++) {
        if (i != list.length - 1) {
            System.out.print ( list[i] + ", " );
        } else {
            System.out.print ( list[i] );
        }
    }
}

private static int[] insertionSort(int[] list) {
    long comparisonsCounter = 0;
    long swapCounter = 0;
    int size = list.length;
    for (int step = 1; step < size; step++) {
        int key = list[step];
        int j = step - 1;
        while (j >= 0 && key < list[j]) {
            list[j + 1] = list[j];
            comparisonsCounter+=1;
            swapCounter += 1;
            --j;
        }
        list[j + 1] = key;
        comparisonsCounter+=1;

    }
    System.out.print ("\nSwap counter: "+ swapCounter + "\nComparisons counter:
" + comparisonsCounter +"\n" );
    return list;
}
}

```

Обираємо функцію відповідно до потребності певного сортування(для упорядкованого, протилежно впорядкованого або випадкового масиву)

- Випадковий

```
Before sorting:329, 872, 769, 877, 436, 551, 906, 734, 547, 63, 262, 891, 716, 961, 79, 710, 186, 579, 276, 571, 236, 709, 477, 228, 986
Swap counter: 170
Comparisons counter: 194
After sorting:63, 79, 186, 228, 236, 262, 276, 329, 436, 477, 547, 551, 571, 579, 709, 710, 716, 734, 769, 872, 877, 891, 906, 961, 986
Process finished with exit code 0
```

Бачимо, що алгоритм працює правильно – відсортувавши унікальний масив. Цей варіант вважаємо середнім за швидкодією $O(n^2)$

Упорядкований

```
Before sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25
Swap counter: 0
Comparisons counter: 24
After sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25
Process finished with exit code 0
```

Бачимо, що алгоритм працює правильно – відсортувавши унікальний масив. Цей варіант вважаємо найкращим за швидкодією $O(n)$.

- Протилежно впорядкований

```
Before sorting:25, 24, 23, 22, 21, 20, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1
Swap counter: 300
Comparisons counter: 324
After sorting:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25
Process finished with exit code 0
```

Бачимо, що алгоритм працює правильно – відсортувавши унікальний масив. Цей варіант вважаємо найгіршим за швидкодією $O(n^2)$.

3.5.1 Часові характеристики оцінювання

В таблиці 3.2 наведені характеристики оцінювання числа порівнянь і числа перестановок алгоритму сортування бульбашки, модифікованого алгоритму та **Insertion_sort** для масивів різної розмірності, коли масив містить упорядковану послідовність елементів.

Таблиця 3.2 – Характеристики оцінювання модифікованого алгоритму сортування бульбашки, модифікованого алгоритму та **Insertion_sort** для упорядкованої послідовності елементів у масиві

Розмірність масиву	Число порівнянь	Число перестановок
10	9	0
100	99	0
1000	999	0
5000	4999	0
10000	9999	0
20000	19999	0
50000	49999	0

В таблиці 3.3 наведені характеристики оцінювання числа порівнянь і числа перестановок алгоритму сортування бульбашки, модифікованого алгоритму та **Insertion_sort** для масивів різної розмірності, коли масиви *містять зворотно упорядковану послідовність елементів.*

Розмірність масиву	Число порівнянь	Число перестановок
10	54	45
100	5049	4950
1000	500499	499500
5000	12502499	12497500
10000	50004999	49995000
20000	200009999	199990000
50000	1250024999	1249975000

У таблиці 3.4 наведені характеристики оцінювання числа порівнянь і числа перестановок алгоритму сортування бульбашки, модифікованого алгоритму та **Insertion_sort** для масивів різної розмірності, масиви містять випадкову послідовність елементів.

Таблиця 3.4 – Характеристика оцінювання алгоритму сортування бульбашки, модифікованого алгоритму та **Insertion_sort** для *випадкової послідовності елементів у масиві.*

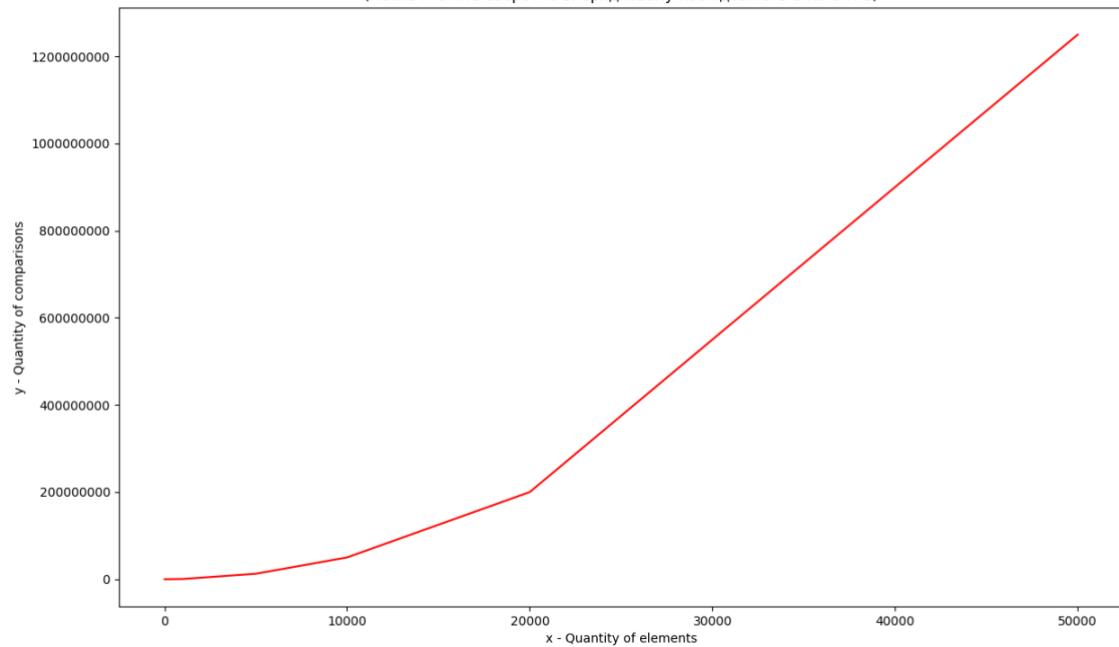
Розмірність масиву	Число порівнянь	Число перестановок
--------------------	-----------------	--------------------

10	26	17
100	2584	2485
1000	258372	257373
5000	6161767	6156768
10000	24873479	24863480
20000	100086209	100066210
50000	623710581	623660582

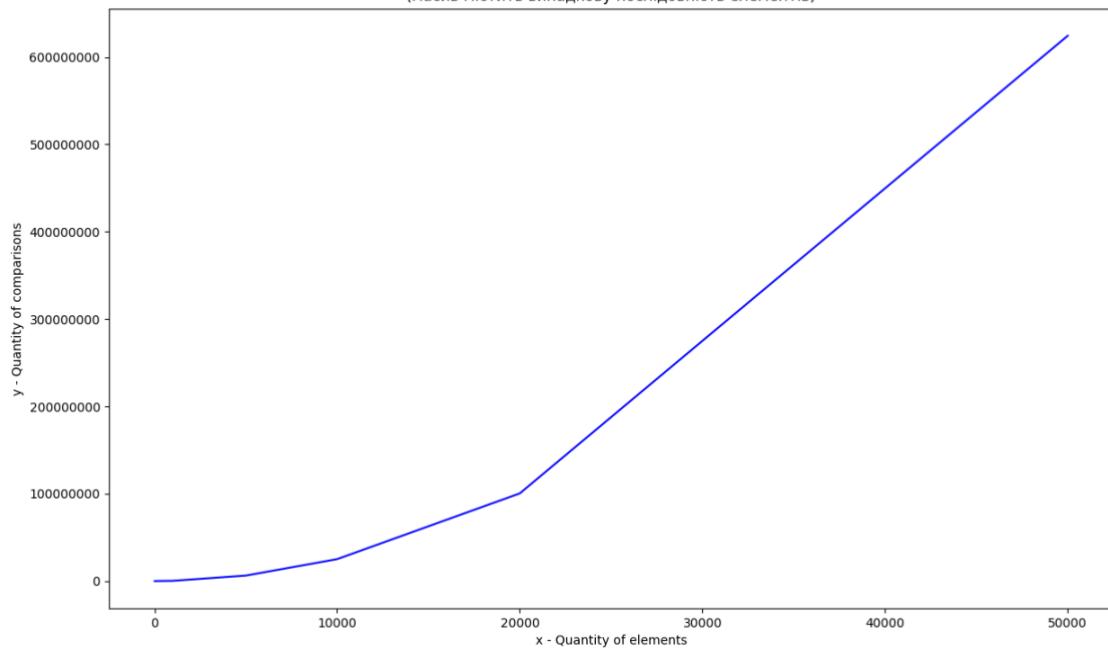
3.5.2 Графіки залежності часових характеристик оцінювання від розмірності масиву

На рисунку 3.3 показані графіки залежності часових характеристик оцінювання від розмірності масиву для випадків, коли масиви містять упорядковану послідовність елементів (зелений графік), коли масиви містять зворотно упорядковану послідовність елементів (червоний графік), коли масиви містять випадкову послідовність елементів (синій графік), також показані асимптотичні оцінки гіршого (фіолетовий графік) і кращого (жовтий графік) випадків для порівняння.

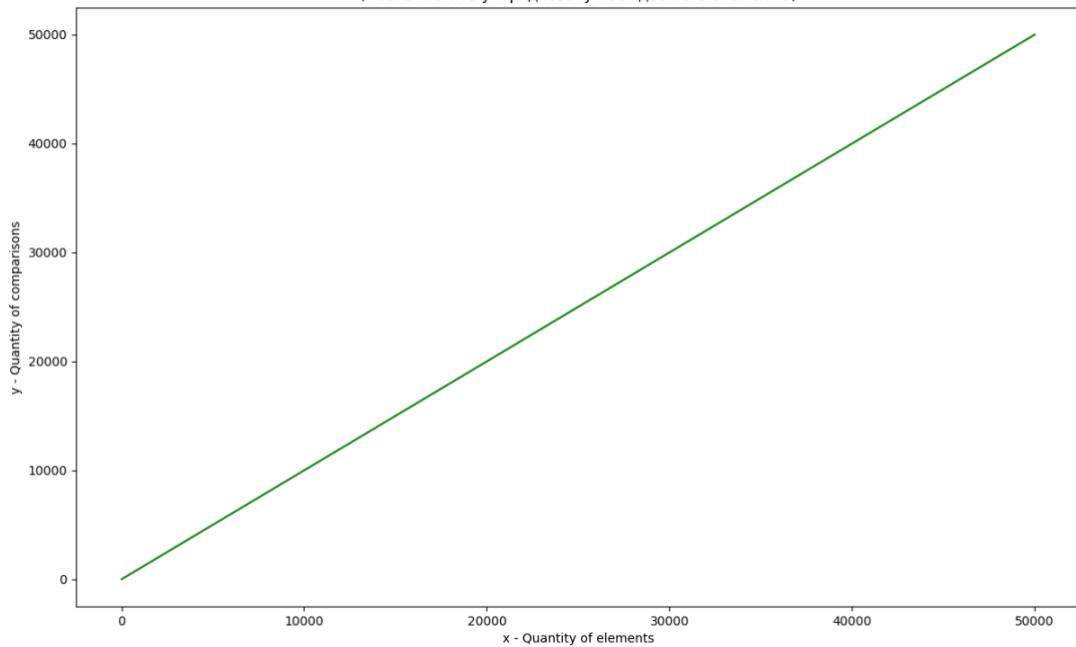
Графік залежності часових характеристик оцінювання від розмірності масиву
(масив містить зворотно впорядковану послідовність елементів)



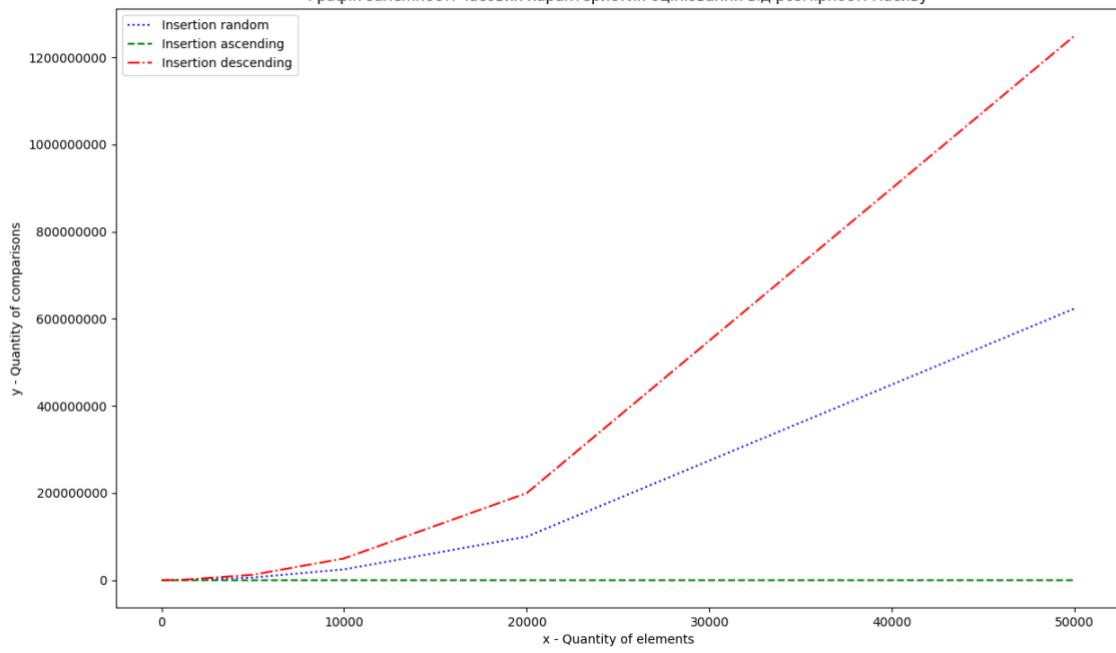
Графік залежності часових характеристик оцінювання від розмірності масиву
(масив містить випадкову послідовність елементів)



Графік залежності часових характеристик оцінювання від розмірності масиву
(масив містить упорядковану послідовність елементів)

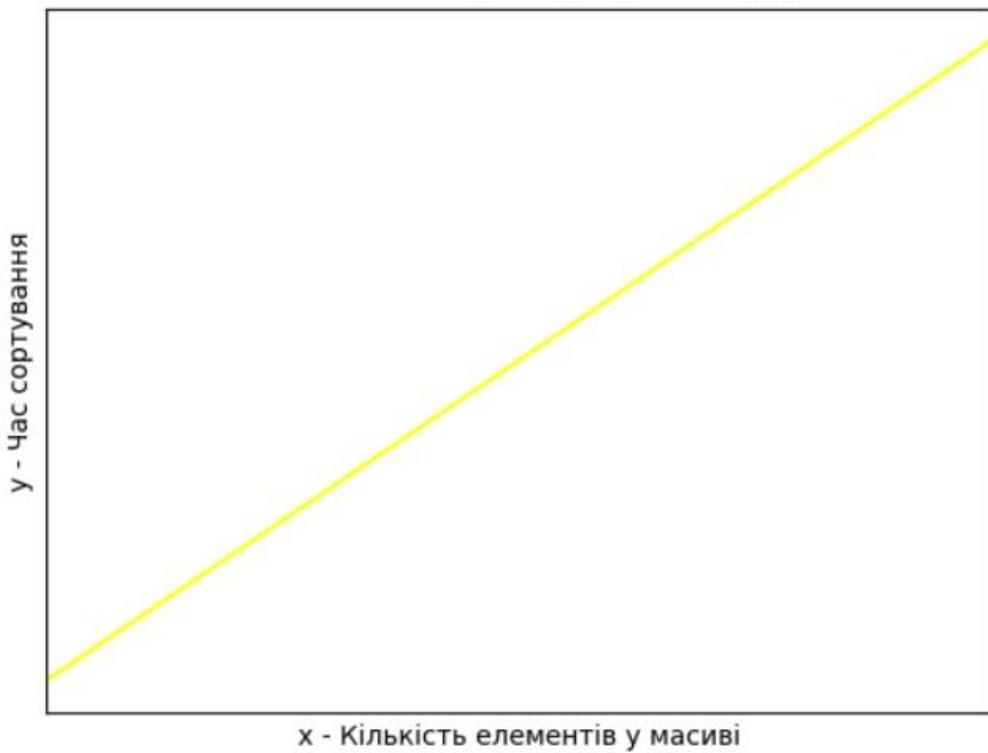


Графік залежності часових характеристик оцінювання від розмірності масиву



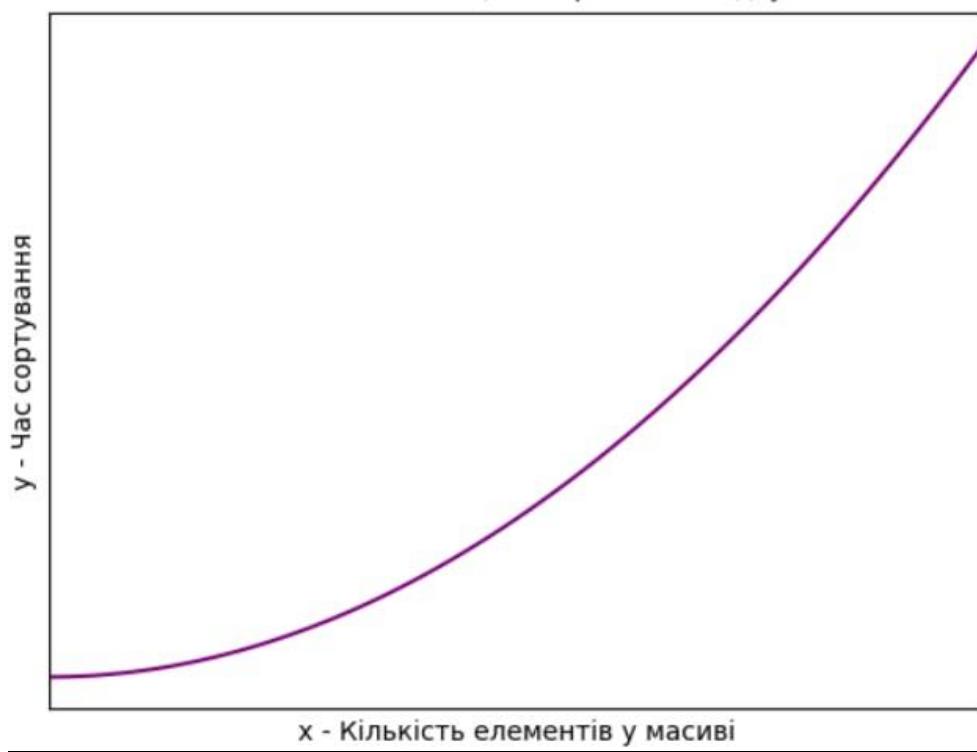
Кращий випадок:

Асимптотична оцінка кращого випадку



Гірший випадок:

Асимптотична оцінка гіршого випадку



ВИСНОВОК

При виконанні даної лабораторної роботи я вивчила основні методи аналізу обчислювальної складності алгоритмів внутрішнього сортування й оцінила поріг їх ефективності:

Insertion Sort:

- 25, 10, 30, 2, 13
- ① 10, 25, 30, 2, 13
- ② 10, 25, 2, 30, 13
- ③ 10, 25, 2, 13, 30
- ④ 2, 10, 25, 13, 30
- ⑤ 2, 10, 13, 25, 30 — sorted

Insertion_Sort вирізняється, тим що ми переносимо дані з невідсортованої частини у відсортовану, алгоритм є простим для реалізації, є швидшим, ніж Bubble_Sort, йому потрібно менше переміщень.

Bubble Sort:

- 2, 45, 0, 11, -9 $\rightarrow i=0$
- 2, 45, 0, 11, -9 $\rightarrow i=1$
- 2, 0, 45, 11, -9 $\rightarrow i=2$
- 2, 0, 11, 45, -9 $\rightarrow i=3$

Bubble_Sort вирізняється тим, що має дуже простий алгоритм та реалізацію, він порівнює сусідні значення і переміщує їх відповідно, має більше переміщень, є повільнішим, ніж метод вставками.

Отже, по числу перестановок, Insertion_Sort є найкращим варіантом серед усіх алгоритмів . Лідером серед двох бульбашок є модифікований Bubble_Sort, з невеликим відривом. Звичайний Bubble_Sort по к-сті порівнянь та переміщень, є у програшній позиції, так як модифікований містить flag, який скорочує к-сті порівнянь. У даному випадку це isSorted, який ставиться, якщо зміна відбувається після повного проходу по масиву. Якщо ж обмін відсутній, то немає необхідності змінювати місцями значення, у цьому випадку завершується виконання. Але складність найгіршого випадку залишається незмінною.

КРИТЕРІЙ ОЦІНЮВАННЯ

У випадку здачі лабораторної роботи із захистом максимальний бал дорівнює – 5.

Критерії від максимального балу:

- аналіз алгоритму на відповідність властивостям ;
- псевдокод алгоритму ;
- аналіз часової складності ;
- програмна реалізація алгоритму ;
- тестування алгоритму ;
- висновок;
- захист роботи – 2 бали