МИНОБРНАУКИ РОССИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)
Кафедра МО ЭВМ

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Алгоритмы и структуры данных»

Тема: Исследование АВЛ-дерева

Студент гр. 9384 _____ Соседков К.С.

Преподаватель _____ Ефремов М.А.

Санкт-Петербург

2020

ЗАДАНИЕ

НА КУРСОВУЮ РАБОТУ (КУРСОВОЙ ПРОЕКТ)

Студент Соседков К.С.

Группа 9384

Тема работы : Исследование АВЛ-дерева

Исходные данные:

Генерация входных данных, использование их для измерения количественных характеристик структур данных, алгоритмов, действий, сравнение экспериментальных результатов с теоретическими

Содержание пояснительной записки:

«Содержание» «Введение» «Анализ задачи» «Визуализация» «Сопоставление с теоретическими оценками» «Тестирование» «Заключение» «Список использованных источников»

Предполагаемый объем пояснительной записки:

Не менее 10 страниц.

Дата выдачи задания: 15.11.2020

Дата сдачи реферата: 24.12.2020

Дата защиты реферата: 24.12.2020

Студент _____ Соседков К.С.

Преподаватель _____ Ефремов М.А.

АННОТАЦИЯ

Основное содержание данного курсового проекта — исследование методов вставки и удаления из структуры данных АВЛ-дерево. Для выполнения данной работы подсчитывается количество операций для каждого из методов и полученная статистика отображается в виде графиков на экран. Анализируя полученные графики можно убедится что сложность данных методов - логарифмическая, что полностью соответствует теоретическим оценкам.

SUMMARY

The main content of this course project is the study of methods of insertion and deletion from the data structure AVL-tree. To perform this work, the number of operations for each of the methods is calculated and the statistics obtained are displayed in the form of graphs on the screen. Analyzing the graphs obtained, one can make sure that the complexity of these methods is logarithmic, which fully corresponds to theoretical estimates.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	5
1.	Анализ задачи	5
1.1.	Основные теоретические сведения	5
1.2.	План экспериментального исследования	6
1.3	Генерация данных и накопление статистики	7
2.	Визуализация	7
3.	Сопоставление с теоретическими оценками	9
4.	Тестирование	10
	Заключение	12
	Список использованных источников	14
	Приложение А. Исходный код программы	15

ВВЕДЕНИЕ

В данной курсовой работе объектом исследования является АВЛ-дерево и его методы insert и remove. Для исследования этих методов, с помощью заранее подготовленных данных, собирается необходимая статистика, а именно время необходимое на полное заполнение(удаление) дерева а так же количество операций.

1. АНАЛИЗ ЗАДАЧИ

1.1. Основные теоретические сведения

Целью курсовой работы является исследование алгоритмов вставки и исключения в АВЛ-дерево в среднем и в худшем случае. АВЛ-дерево — это сбалансированное по высоте бинарное дерево поиска, для каждой его вершины высота двух его поддеревьев различается не более чем на единицу.

В первую очередь для выполнения работы был разработан шаблонный класс AVL_Tree со следующими методами:

insert — вставка элемента в дерево

remove — удаление элемента из дерева

rotate_left — левый поворот дерева

rotate_right — правый поворот дерева

Методы insert и remove аналогичны тем же методам в обычном бинарном дереве поиска, за исключением того что после вставки или удаления нужно проверять не нарушился ли баланс дерева или его поддеревьев. Вставка и удаление имеют логарифмическую сложность.

Методы rotate_left и rotate_right имеют спецификатор доступа private, они вызываются когда баланс дерева нарушается(abs(t.left-t.right)>=2). Баланс АВЛ-дерева может нарушится только после вставки и удаления.

Всего существует четыре вида поворота, они являются комбинациями этих двух:

-LL-поворот: поворот дерева влево;

-LR-поворот: поворот правого поддерева вправо, затем поворот дерева влево;

-RR-поворот: поворот дерева вправо;

-RL-поворот: поворот левого поддерева влево, затем поворот дерева вправо;

Повороты работают за константное время.

В методах АВЛ-дерева были реализованы необходимые счетчики фиксирующие количество операций необходимых для выполнения этих методов. Для получения количества операций был разработан метод number_of_operations.

1.2. План экспериментального исследования

Для исследования методов вставки и удаления были выполнены следующие шаги:

1. Реализация структуры данных АВЛ-дерево
2. Генерация данных
3. Фиксация результатов испытаний алгоритмов
4. Визуализация полученных результатов в виде графиков

1.3 Генерация данных и накопление статистики

В данной работе используются два вида данных, случайные данные и отсортированные. Тип генерируемых данных 32-ух битные беззнаковые целые числа(quint32). Диапазон чисел от 0 до 4294967295. Данные для исследования генерируются с помощью класса Qt - QRandomGenerator. Результат работы алгоритмов с этими данными сразу же накладывается на графики(подробнее в следующем разделе).

2. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Визуализация полученной статистики выполняется с помощью классов QGraphicsScene и QGraphicsView фреймворка Qt. Всего показывается четыре графика, по два на каждый метод. Один их графиков показывает статистику со случайными данными, другой с отсортированными. Ось x — количество элементов в АВЛ-дереве, ось y — количество операций необходимых для

вставки(удаления) в АВЛ-дерево размером x. Так же показывается полное время выполнения алгоритмов.

Пример графика изображающего удаление из АВЛ-дерева размера 10000 показан на рисунке 1. Красные точки показывают количество операций. Синий график — 17log(x). Время удаления всех элементов из этого дерева — 19 мс.

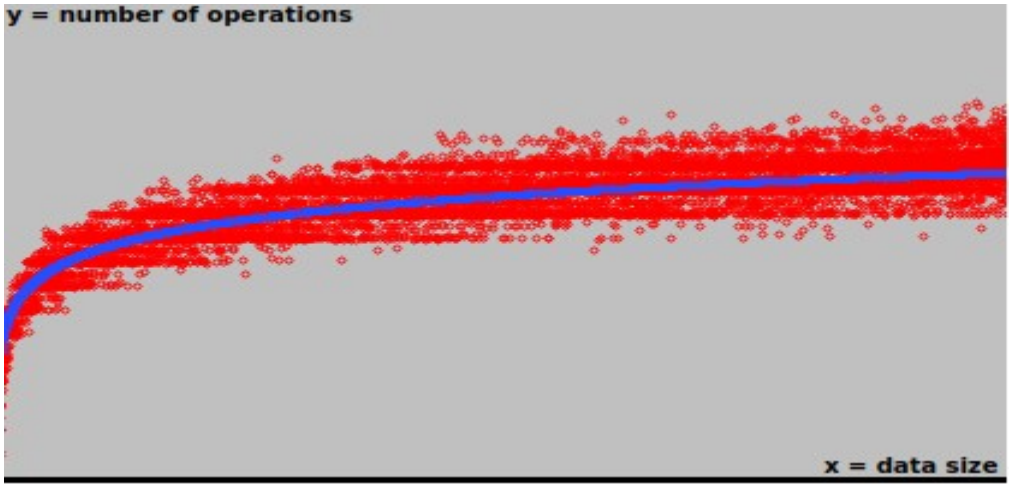


Рисунок 1. Удаление из АВЛ-дерева размера 10000.

3. СОПОСТАВЛЕНИЕ С ТЕОРЕТИЧЕСКИМИ ОЦЕНКАМИ

На рисунке 2 представлен результат работы программы.

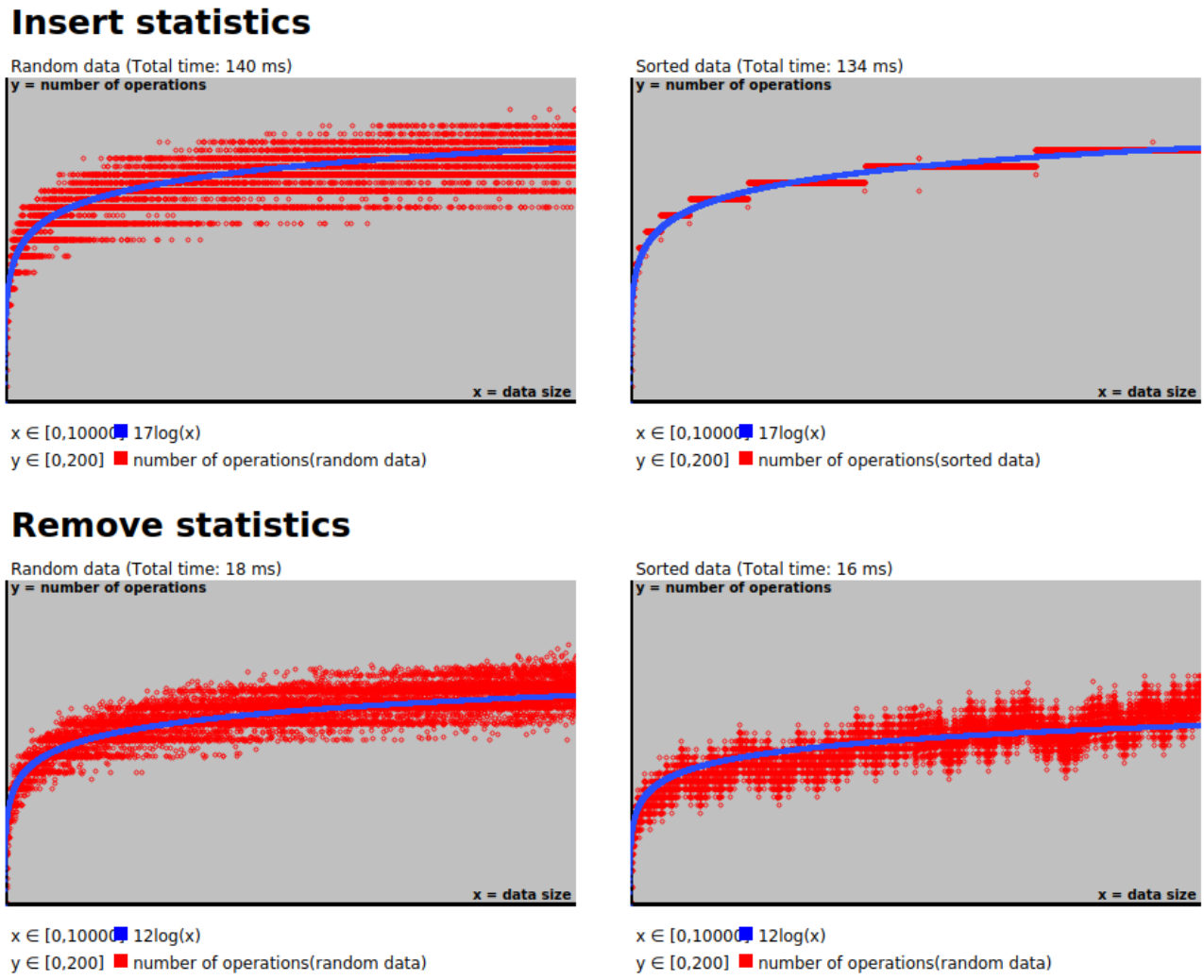


Рисунок 2. Количество данных равно 10000.

На рисунке 2 видно что методы вставки и удаления из АВЛ-дерева имеют логарифмическую сложность(O(log(n))). Причем почти для любых размеров дерева вставка и удаления случайных элементов требуют большего числа операций чем для отсортированных данных. Это связано с тем что дерево будет заполнятся не равномерно, и в среднем случае балансировка дерева будет выполнятся чаще. Может так получится что сгенерированные данные будут лучше чем отсортированные, но вероятность этого очень мала, лучшим случаем является равномерное заполнение(удаление) дерева.

Так же из графиков видно что хотя сложность алгоритмов вставки и удаления одинакова, для алгоритма вставки требуется немного больше времени и операций чем для удаления. Связано это с тем что при удалении балансировка выполняется не так часто как при вставке. Удаление из АВЛ-дерева ~ 12*log(n), вставка ~ 17*log(n). Коэффициенты 12 и 17 не точны, они зависят от способа подсчета количества операций.

4. ТЕСТИРОВАНИЕ

Ниже представлены изображения показывающие результат работы программы при вводе различных размеров дерева.

Рисунок 3. Количество данных равно 100.

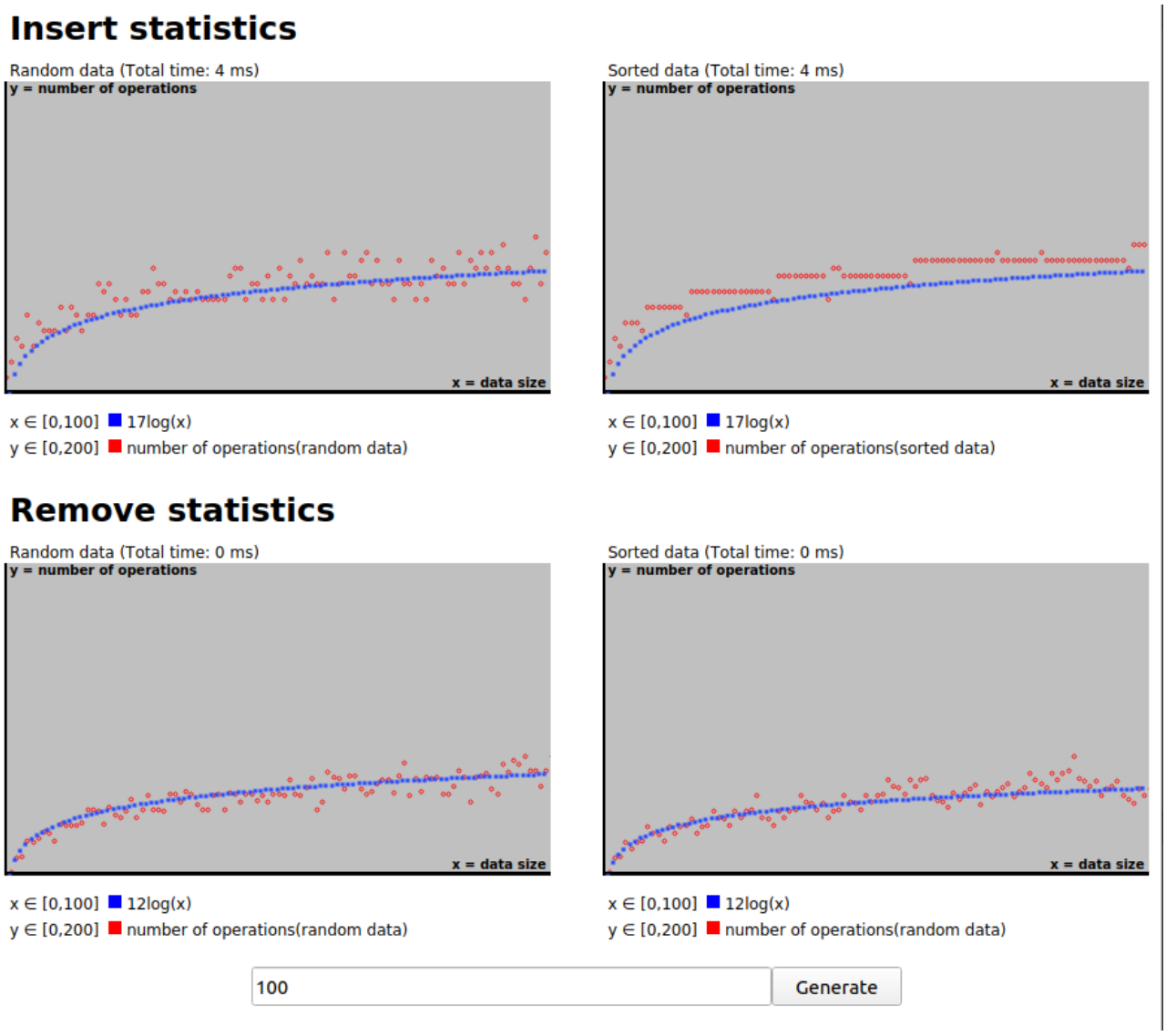


Рисунок 4. Количество данных равно 1000.

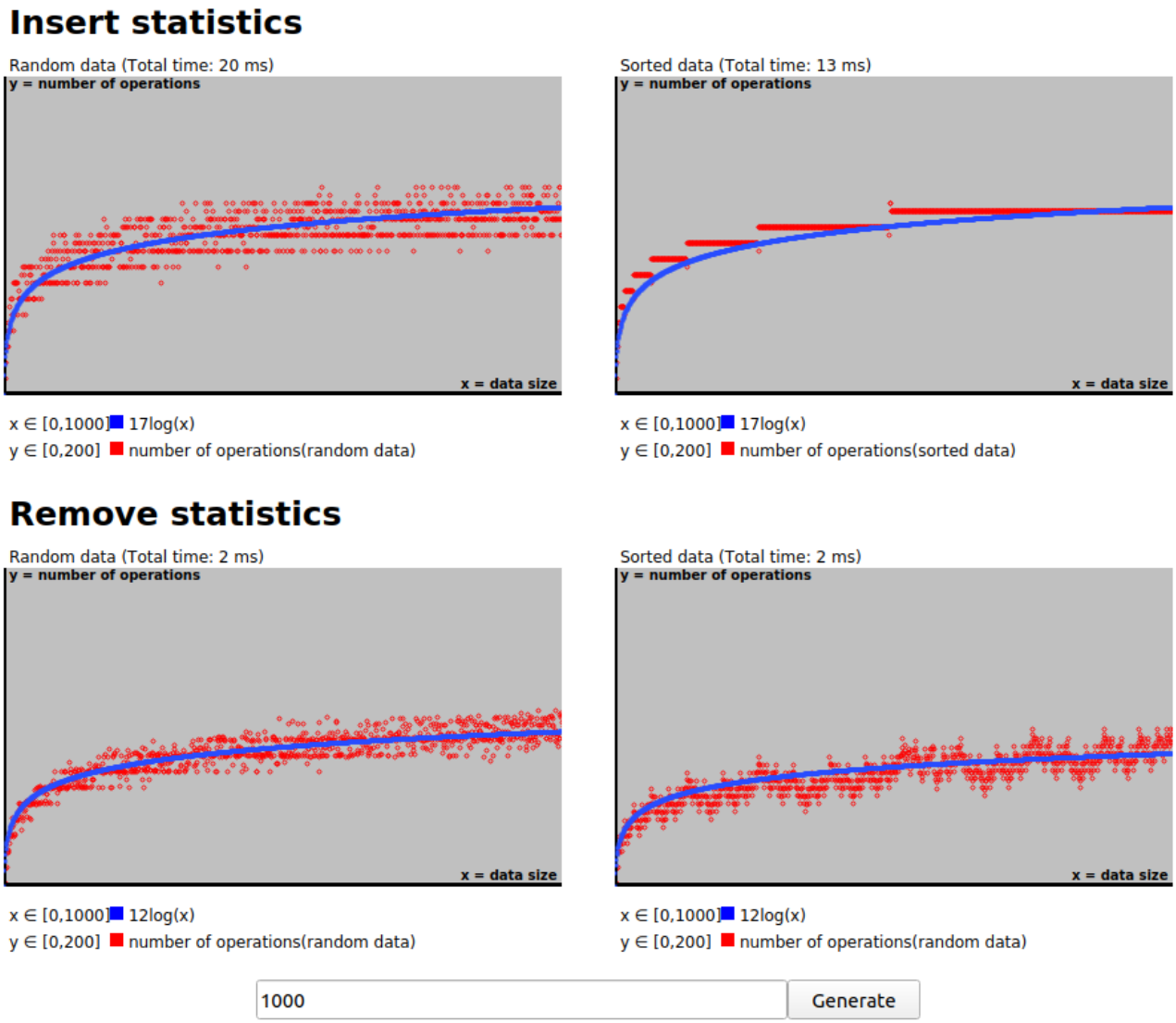
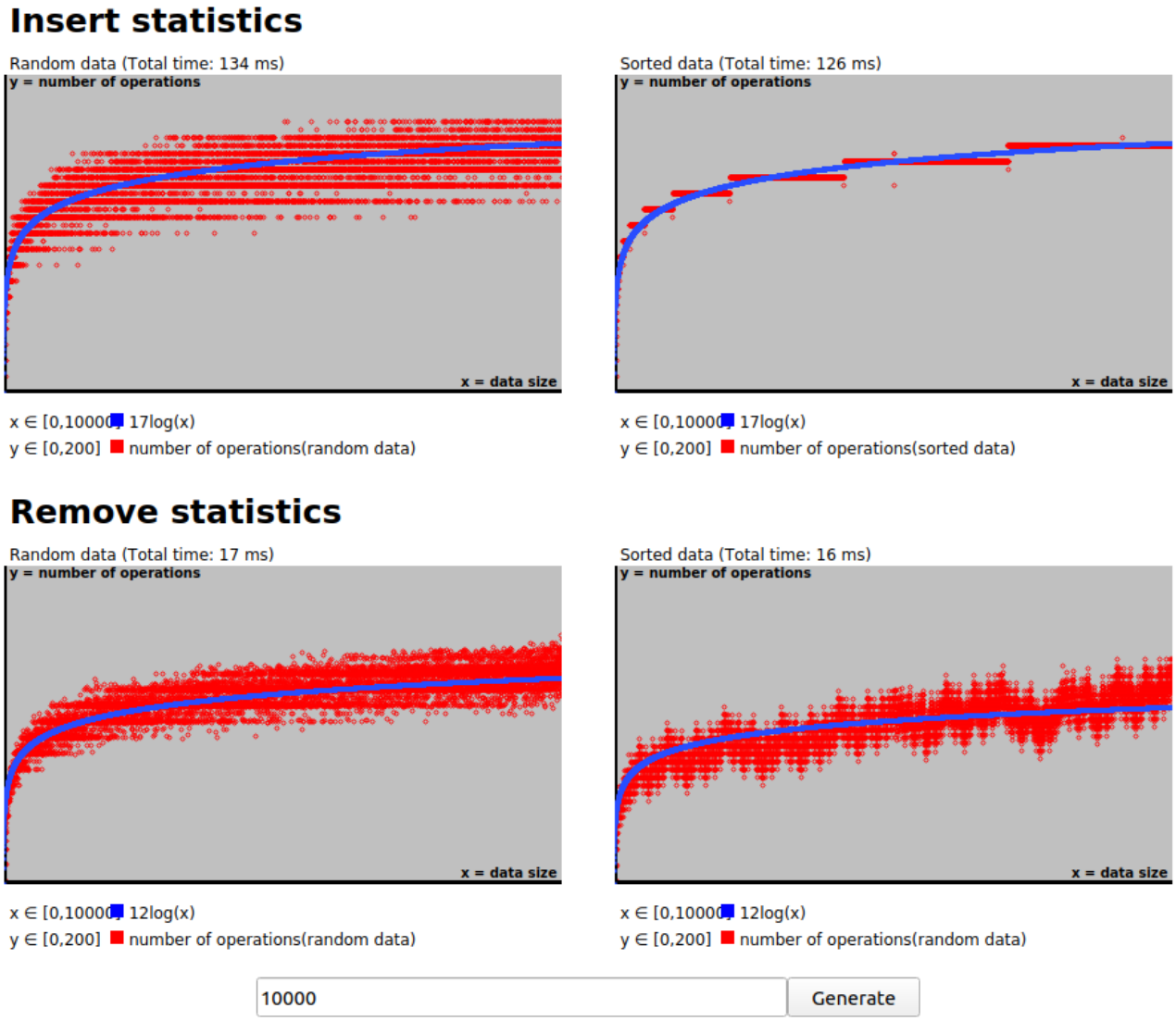


Рисунок 5. Количество данных равно 10000.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении работы были исследованы методы вставки и удаления из АВЛ-дерева, и так же в виде графиков была изображена накопленная статистика. В результате исследования было показано что методы вставки и удаления из АВЛ-дерева имеют логарифмическую сложность, что в точности соответствует теоретическим оценкам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алгоритмы: построение и анализ : пер. с англ. / Т. Кормен и др. – 2-е изд. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2007, 2009

ПРИЛОЖЕНИЕ А
ИСХОДНЫЙ КОД ПРОГРАММЫ

Название файла: AVL_Tree.h

```
#ifndef AVL_TREE_H
#define AVL_TREE_H

#include <QDebug>
#include <QTime>
template <class T>
class AVL_Tree
{
public:
   struct AvlNode {
      AvlNode(T data) {
         this->data = data;
      }

      ~AvlNode() {
         if(left) delete left;
         if(right) delete right;
      }

      AvlNode* leftChild() const {
         return this->left;
      }

      AvlNode* rightChild() const {
         return this->right;
      }

      int balance_factor() {
         int left_height = left ? left->height : 0;
         int right_height = right ? right->height : 0;
         return left_height-right_height;
      }


      void update_height() {
         int left_heght = left ? left->height : 0;
         int right_heght = right ? right->height : 0;
         height = std::max(left_heght,right_heght)+1;
      }

      void print(int offset=0) {
         qDebug() << QString(" ").repeated(offset) << this->data << this->height;
         if(left) left->print(offset+2);
         if(right) right->print(offset+2);
      }
```

```
    T data;
    int height = 1;
    AvlNode* left = nullptr;
    AvlNode* right = nullptr;

};



AVL_Tree() {};

~AVL_Tree() {
    if(root) delete root;
};


int number_of_operations() const {
    return num_operations;
}

int elapsed_time() const {
    return m_seconds;
}

void clear() {
    if(root) {
        delete root;
        root = nullptr;
    }
}

void insert(T data) {
    num_operations = 0;
    QTime t;
    t.start();
    root = insert(data, root);
    m_seconds = t.elapsed();

}

void remove(T data) {
    num_operations = 0;
    root = remove(data, root);
}

int height() {
    if(!root) return 0;
    return root->height;
}

void print(int offset=0) {
```

```
        this->root->print();
    }

    AvlNode* getRoot() const {
        return root;
    }

private:
    AvlNode* insert(T data, AvlNode* node) {
        if(!node) {
            num_operations+=2;
            node = new AvlNode(data);
        }
        else if(data > node->data) {
            num_operations++;
            node->right = insert(data, node->right);
        }
        else if(data < node->data) {
            num_operations++;
            node->left = insert(data, node->left);
        }
        num_operations++;
        return balance(node);
    }

    AvlNode* remove(T data, AvlNode* node) {
        if(!node) {
            num_operations++;
            return node;
        }
        else if(data > node->data) {
            num_operations++;
            node->right = remove(data, node->right);
        }
        else if(data < node->data) {
            num_operations++;
            node->left = remove(data, node->left);
        }
        else {
            if(!node->left && !node->right) {
                num_operations+=3;
                delete node;
                node = nullptr;
                return nullptr;
            }
            else if(!node->left || !node->right) {
                num_operations+=3;
                if(node->left) {
                    node->data = node->left->data;
                    delete node->left;
                    node->left = nullptr;
                }
```

```
            else {
                node->data = node->right->data;
                delete node->right;
                node->right = nullptr;
            }
        }
        else {
            num_operations+=2;
            AvlNode* tmp = min(node->right);
            node->data = tmp->data;
            node->right = remove(node->data, node->right);
        }
    }
    num_operations++;
    return balance(node);
}


AvlNode* min(AvlNode* node) {
    AvlNode* tmp = node;
    while (tmp->left) {
        num_operations++;
        tmp = tmp->left;
    }
    return tmp;
}

AvlNode* balance(AvlNode* node) {
    if(!node) return node;
    node->update_height();
    num_operations+=3;
    if(node->balance_factor() >= 2) {
        if(node->left->balance_factor() <= -1) {
            num_operations+=5;
            node->left = rotate_left(node->left);
        }
        node = rotate_right(node);
        num_operations+=5;
    }
    else if(node->balance_factor() <= -2) {
        if(node->right->balance_factor() >= 1) {
            num_operations+=5;
            node->right = rotate_right(node->right);
        }
        node = rotate_left(node);
        num_operations+=5;
    }

    node->update_height();
    num_operations+=5;
    return node;
}
```

```
    AvlNode* rotate_right(AvlNode* node) {
        AvlNode* new_root = node->left;
        node->left = new_root->right;
        new_root->right = node;
        new_root->right->update_height();
        return new_root;
    }


    AvlNode* rotate_left(AvlNode* node) {
        AvlNode* new_root = node->right;
        node->right = new_root->left;
        new_root->left = node;
        new_root->left->update_height();
        return new_root;
    }


    AvlNode* root = nullptr;
    int num_operations = 0;
    int m_seconds = 0;

};


#endif // AVL_TREE_H
```

Название файла: GraphicWidget.cpp

```
#include "graphicwidget.h"
#include <QtMath>
#include <QPainter>
#include <QGraphicsPixmapItem>
#include "AVL_Tree.h"
#include <QRandomGenerator>
#include <QVector>
#include <QTime>
#include <QGraphicsTextItem>
#include <QGraphicsProxyWidget>

GraphicWidget::GraphicWidget(QWidget *parent) : QWidget(parent) {

    scene = new QGraphicsScene(parent);
    view = new QGraphicsView(parent);
    view->resize(parent->width(), parent->height());
    view->setScene(scene);
//    view->setAlignment(Qt::AlignTop);
    scene->setSceneRect(view->contentsRect());
```

```
}

void GraphicWidget::clear() {
   scene->clear();
}

void GraphicWidget::drawStatistics(int data_size) {
   int insert_width = 420;
   int insert_height = 240;
   int x_max = data_size;
   int y_max = 200;
   int random_insertion_time;
   int sorted_insertion_time;
   int random_remove_time;
   int sorted_remove_time;
   QTime q;
   q.start();
   QPixmap insert_operations_pixmap = createPixmapGraph(insert_width, insert_height, x_max,
y_max, 17);
   QPixmap insert_operations_sorted_pixmap = insert_operations_pixmap.copy();
   QPixmap remove_operations_pixmap = createPixmapGraph(insert_width, insert_height, x_max,
y_max, 12);
   QPixmap remove_operations_sorted_pixmap = remove_operations_pixmap.copy();
   qDebug() << "create time: " << q.elapsed();









   //RANDOM INSERT STATISTICS
   QPainter p(&insert_operations_pixmap);
   QPen pen(QColor(255,0,0));
   p.setRenderHint(QPainter::Antialiasing, true);
   p.setPen(pen);
   AVL_Tree<int> tree;
   QVector<quint32> data(x_max);
   QRandomGenerator::global()->fillRange(data.data(), data.size());
   QTime t;
   t.start();
   for(int i=0; i<data.size(); i++) {
      tree.insert(data[i]);
      float x = i;
      float y = tree.number_of_operations();
      if(x*insert_width/(x_max) > insert_width || (-y*insert_height/y_max)+insert_height >
insert_height) {
         break;
      }
      p.drawEllipse(x*insert_width/(x_max), (-y*insert_height/y_max)+insert_height, 3, 3);
```

```
    }

    qDebug() << "Random insert time (ms) " << t.elapsed();
    random_insertion_time = t.elapsed();
    p.end();









    //RANDOM REMOVE STATISTICS
    QPainter random_remove_p(&remove_operations_pixmap);
    random_remove_p.setRenderHint(QPainter::Antialiasing, true);
    random_remove_p.setPen(QColor(255,0,0));
    t.start();
    for(int i=0; i<data.size(); i++) {
        tree.remove(data[i]);
        float x = i;
        float y = tree.number_of_operations();
        if(x*insert_width/(x_max) > insert_width || (-y*insert_height/y_max)+insert_height >
insert_height) {
            break;
        }
        random_remove_p.drawEllipse(insert_width-x*insert_width/(x_max),
(-y*insert_height/y_max)+insert_height, 3, 3);
    }

    qDebug() << "Random remove time (ms) " << t.elapsed();
    random_remove_time = t.elapsed();
    random_remove_p.end();









    //SORTED INSERT STATISTICS
    std::sort(data.begin(), data.end());
    QPainter p2(&insert_operations_sorted_pixmap);
    QPen pen2(QColor(255,0,0));
    p2.setRenderHint(QPainter::Antialiasing, true);
    p2.setPen(pen2);
```

```
    t.start();
    for(int i=0; i<data.size(); i++) {
        tree.insert(data[i]);
        float x = i;
        float y = tree.number_of_operations();
        if(x*insert_width/(x_max) > insert_width || (-y*insert_height/y_max)+insert_height >
insert_height) {
            break;
        }
        p2.drawEllipse(x*insert_width/(x_max), (-y*insert_height/y_max)+insert_height, 3, 3);
    }
    qDebug() << "Sorted insert time (ms) " << t.elapsed();
    sorted_insertion_time = t.elapsed();
    p2.end();









    //SORTED REMOVE STATISTICS
    QPainter sorted_remove_p(&remove_operations_sorted_pixmap);
    sorted_remove_p.setRenderHint(QPainter::Antialiasing, true);
    sorted_remove_p.setPen(QColor(255,0,0));
    t.start();
    for(int i=0; i<data.size(); i++) {
        tree.remove(data[i]);
        float x = i;
        float y = tree.number_of_operations();
        if(x*insert_width/(x_max) > insert_width || (-y*insert_height/y_max)+insert_height >
insert_height) {
            break;
        }
        sorted_remove_p.drawEllipse(insert_width-x*insert_width/(x_max), (-y*insert_height/y_max)
+insert_height, 3, 3);
    }

    qDebug() << "Sorted remove time (ms) " << t.elapsed();
    sorted_remove_time = t.elapsed();
    sorted_remove_p.end();









    insert_operations_pixmap = drawLog(insert_operations_pixmap, insert_width,insert_height,
x_max, y_max, 17);
```

```
    remove_operations_pixmap = drawLog(remove_operations_pixmap, insert_width,insert_height,
x_max, y_max, 14);
    insert_operations_sorted_pixmap = drawLog(insert_operations_sorted_pixmap,
insert_width,insert_height, x_max, y_max, 17);
    remove_operations_sorted_pixmap = drawLog(remove_operations_sorted_pixmap,
insert_width,insert_height, x_max, y_max, 12);

    scene->addPixmap(insert_operations_pixmap)->setPos(10,60);
    scene->addPixmap(remove_operations_pixmap)->setPos(10,insert_height+190);
    scene->addPixmap(insert_operations_sorted_pixmap)->setPos(50+insert_width,60);
    scene->addPixmap(remove_operations_sorted_pixmap)-
>setPos(50+insert_width,insert_height+190);









    //INSERT TEXT
    QFont titleFont;
    titleFont.setPixelSize(25);
    titleFont.setBold(true);
    titleFont.setFamily("Calibri");


    QFont textFont;
    textFont.setPixelSize(12);
    textFont.setBold(false);
    textFont.setFamily("Calibri");




    QGraphicsTextItem* text = scene->addText("Insert statistics");
    text->setPos(10,0);
    text->setFont(titleFont);


    text = scene->addText(QString("Random data ") + QString("(Total time: ") +
QString::number(random_insertion_time) + QString(" ms)"));
    text->setPos(10,40);
    text->setFont(textFont);
```

```
    text = scene->addText(QString("Sorted data ") + QString("(Total time: ") +
QString::number(sorted_insertion_time) + QString(" ms)"));
    text->setPos(insert_width+50, 40);
    text->setFont(textFont);


    text = scene->addText(QString("x ∈ [0,") + QString::number(x_max) + QString("]"));
    text->setPos(10,insert_height+70);
    text->setFont(textFont);


    text = scene->addText(QString("y ∈ [0,") + QString::number(y_max) + QString("]"));
    text->setPos(10,insert_height+90);
    text->setFont(textFont);


    QPixmap rect_pix(10,10);
    rect_pix.fill(QColor(0,0,255));
    scene->addPixmap(rect_pix)->setPos(90, insert_height+75);
    rect_pix.fill(QColor(255,0,0));
    scene->addPixmap(rect_pix)->setPos(90, insert_height+95);


    text = scene->addText(QString("17log(x)"));
    text->setPos(100, insert_height+70);
    text->setFont(textFont);


    text = scene->addText(QString("number of operations(random data)"));
    text->setPos(100, insert_height+90);
    text->setFont(textFont);



    text = scene->addText(QString("x ∈ [0,") + QString::number(x_max) + QString("]"));
    text->setPos(insert_width+50,insert_height+70);
    text->setFont(textFont);


    text = scene->addText(QString("y ∈ [0,") + QString::number(y_max) + QString("]"));
    text->setPos(insert_width+50,insert_height+90);
    text->setFont(textFont);

    rect_pix.fill(QColor(0,0,255));
    scene->addPixmap(rect_pix)->setPos(insert_width+50+80, insert_height+75);
    rect_pix.fill(QColor(255,0,0));
    scene->addPixmap(rect_pix)->setPos(insert_width+50+80, insert_height+95);


    text = scene->addText(QString("17log(x)"));
    text->setPos(insert_width+50+90, insert_height+70);
    text->setFont(textFont);
```

```
    text = scene->addText(QString("number of operations(sorted data)"));
    text->setPos(insert_width+50+90, insert_height+90);
    text->setFont(textFont);









    //REMOVE TEXT
    text = scene->addText("Remove statistics");
    text->setPos(10,insert_height+130);
    text->setFont(titleFont);


    text = scene->addText(QString("Random data ") + QString("(Total time: ") +
QString::number(random_remove_time) + QString(" ms)"));
    text->setPos(10,insert_height+170);
    text->setFont(textFont);


    text = scene->addText(QString("Sorted data ") + QString("(Total time: ") +
QString::number(sorted_remove_time) + QString(" ms)"));
    text->setPos(insert_width+50, insert_height+170);
    text->setFont(textFont);


    text = scene->addText(QString("x ∈ [0,") + QString::number(x_max) + QString("]"));
    text->setPos(10, 2*insert_height+170+30);
    text->setFont(textFont);

    text = scene->addText(QString("y ∈ [0,") + QString::number(y_max) + QString("]"));
    text->setPos(10, 2*insert_height+170+30+20);
    text->setFont(textFont);


    rect_pix.fill(QColor(0,0,255));
    scene->addPixmap(rect_pix)->setPos(90, 2*insert_height+170+30+5);
    rect_pix.fill(QColor(255,0,0));
    scene->addPixmap(rect_pix)->setPos(90,  2*insert_height+170+30+20+5);


    text = scene->addText(QString("12log(x)"));
    text->setPos(100, 2*insert_height+170+30);
    text->setFont(textFont);
```

```
text = scene->addText(QString("number of operations(random data)"));
text->setPos(100, 2*insert_height+170+30+20);
text->setFont(textFont);



text = scene->addText(QString("x ∈ [0,") + QString::number(x_max) + QString("]"));
text->setPos(insert_width+50, 2*insert_height+170+30);
text->setFont(textFont);

text = scene->addText(QString("y ∈ [0,") + QString::number(y_max) + QString("]"));
text->setPos(insert_width+50, 2*insert_height+170+30+20);
text->setFont(textFont);


rect_pix.fill(QColor(0,0,255));
scene->addPixmap(rect_pix)->setPos(insert_width+50+80, 2*insert_height+170+30+5);
rect_pix.fill(QColor(255,0,0));
scene->addPixmap(rect_pix)->setPos(insert_width+50+80,  2*insert_height+170+30+20+5);

text = scene->addText(QString("12log(x)"));
text->setPos(insert_width+50+80+10, 2*insert_height+170+30);
text->setFont(textFont);


text = scene->addText(QString("number of operations(random data)"));
text->setPos(insert_width+50+80+10, 2*insert_height+170+30+20);
text->setFont(textFont);



QFont axisTitleFont;
axisTitleFont.setPixelSize(10);
axisTitleFont.setBold(true);
axisTitleFont.setFamily("Calibri");
//1
text = scene->addText(QString("y = number of operations"));
text->setPos(10,60-5); //y-5
text->setFont(axisTitleFont);

text = scene->addText(QString("x = data size"));
text->setPos(10+insert_width-80, 60-19+insert_height); //x+wid-80; y-19+height
text->setFont(axisTitleFont);

//2
text = scene->addText(QString("y = number of operations"));
text->setPos(10,insert_height+190-5);
text->setFont(axisTitleFont);

text = scene->addText(QString("x = data size"));
```

```
    text->setPos(10+insert_width-80,insert_height+190-19+insert_height);
    text->setFont(axisTitleFont);

    //3
    text = scene->addText(QString("y = number of operations"));
    text->setPos(50+insert_width,60-5);
    text->setFont(axisTitleFont);

    text = scene->addText(QString("x = data size"));
    text->setPos(50+insert_width+insert_width-80,60-19+insert_height);
    text->setFont(axisTitleFont);

    //4
    text = scene->addText(QString("y = number of operations"));
    text->setPos(50+insert_width,insert_height+190-5);
    text->setFont(axisTitleFont);

    text = scene->addText(QString("x = data size"));
    text->setPos(50+insert_width+insert_width-80,insert_height+190-19+insert_height);
    text->setFont(axisTitleFont);
}



QPixmap GraphicWidget::drawLog(QPixmap graph,int width, int height, double x_max_value,
double y_max_value, double log_coeff) {
//    QPixmap graph(width, height);
    QPainter p(&graph);
    p.setRenderHint(QPainter::Antialiasing,true);

    QPen pen(QColor(0,0,0));
    pen.setWidth(4);
    p.setPen(pen);
    p.drawLine(0, 0, 0, height-1);
    p.drawLine(0, height-1, width-1, height-1);

    pen.setColor(QColor(40,77,255));
    pen.setWidth(3);
    p.setPen(pen);
    for(double i=0; i<x_max_value; i+=1) {
        double x = i;
        double y = log_coeff*log(x);
        p.drawPoint(x*width/(x_max_value), (-y*height/y_max_value)+height);
    }
    return graph;
}
```

```
QPixmap GraphicWidget::createPixmapGraph(int width, int height, double x_max_value, double
y_max_value, double log_coeff) {
    QPixmap graph(width, height);
    QPainter p(&graph);
    graph.fill(QColor(192,192,192));
    p.setRenderHint(QPainter::Antialiasing,true);




    return graph;
}
```

Название файла: GraphicWidget.h

```
#ifndef GRAPHICWIDGET_H
#define GRAPHICWIDGET_H

#include <QObject>
#include <QWidget>
#include <QGraphicsScene>
#include <QGraphicsView>
#include <QPixmap>
#include <QPushButton>
#include <QLineEdit>
#include <QVBoxLayout>

class GraphicWidget : public QWidget
{
    Q_OBJECT
public:
    explicit GraphicWidget(QWidget *parent = nullptr);
    void drawStatistics(int data_size=300);
    void clear();
private:
    QPixmap createPixmapGraph(int, int, double, double, double);
    QPixmap drawLog(QPixmap,int,int,double,double,double);
    QGraphicsScene* scene;
    QGraphicsView* view;
    QPushButton* gen_button;
    QVBoxLayout* vbox;
    QLineEdit* gen_input;
    int d_size = 300;
signals:

};

#endif // GRAPHICWIDGET_H
```

Название файла: main.cpp

```
#include "mainwindow.h"

#include <QApplication>

#include "AVL_Tree.h"
#include "treeviewwidget.h"
#include "graphicwidget.h"
#include <QRandomGenerator>
#include <QVector>
#include <QPushButton>
#include <QLineEdit>

int main(int argc, char *argv[])
{
    QApplication a(argc, argv);
    MainWindow w;
    w.show();
    return a.exec();
}
```

Название файла: MainWindow.cpp

```
#include "mainwindow.h"

MainWindow::MainWindow(QWidget *parent) : QMainWindow(parent) {
//    this->setFixedSize(800,700);
    this->setFixedSize(900,790);
    g = new GraphicWidget(this);
    gen_button = new QPushButton("Generate", this);
    gen_button->setGeometry(600,740, 100,30);
    gen_input = new QLineEdit(this);
    gen_input->setPlaceholderText("Data size (300 by deafult)");
    gen_input->setGeometry(200,740, 400,30);

    connect(gen_button, &QPushButton::clicked,  [=]() {
        QString str = gen_input->text();
        bool ok;
        int dec = str.toInt(&ok, 10);
        if(ok && dec > 0) {
            g->clear();
            g->drawStatistics(dec);
        }
    });
}

MainWindow::~MainWindow() {

}
```

Название файла: MainWindow.h

```
#ifndef MAINWINDOW_H
#define MAINWINDOW_H

#include "treeviewwidget.h"
#include "graphicwidget.h"
#include <QRandomGenerator>
#include <QVector>
#include <QPushButton>
#include <QLineEdit>
#include <QMainWindow>

class MainWindow : public QMainWindow
{
   Q_OBJECT

public:
   MainWindow(QWidget *parent = nullptr);
   ~MainWindow();
private:
   QPushButton* gen_button;
   QLineEdit* gen_input;
   GraphicWidget* g;
};
#endif // MAINWINDOW_H
```