

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

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1
по дисциплине «Конструирование ПО»
Тема: Программирование контейнерных классов**

Студент гр. 6304

Преподаватель

Корытов П.В.

Спицын А.В.

Санкт-Петербург

2019

Содержание

1	Постановка задачи	2
1.1	Цель работы	2
1.2	Формулировка задания	2
1.3	Индивидуальное задание	3
2	Ход работы	5
2.1	Создание классов фигур	5
2.2	Проверка созданных классов	7
2.3	Применение стандартной библиотеки STL	10
2.4	Реализация нового шаблона контейнера	10
3	Выводы	14
	Список литературы	15
	Приложения	16

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

1.1. Цель работы

Изучение создания полиморфной иерархии классов и разрешения ромбовидного наследования на языке C++.

Изучение контейнеров стандартной библиотеки STL C++. Создание собственного контейнера с внешним итератором.

Исследования возможностей отладки и профилирования C++.

1.2. Формулировка задания

1. Разработка программ.

1.1. Настройка среды. Выполнение индивидуального задания.

- Индивидуальное задание: Написать классы для создания графических объектов. Классы должны иметь общий абстрактный базовый класс Shape с чистыми виртуальными функциями.
- Необходимо использовать множественное наследование. В классах должны быть предусмотрены виртуальные функции для вывода информации об объектах в поток, а Shape должен иметь дружественный перегруженный оператор «.
- Исходный текст должен быть разделен на три файла *.h, *.cpp и *.cpp с тестовой программой.

1.2. Работа в режиме отладки.

- Запустить программу и просмотреть ее работу по шагам (Build -> Start Debug -> Go).
- Просмотреть иерархию классов и найти примеры множественного наследования.
- Расставить точки прерывания программы (Break Points) и протестировать её работу.
- Для выяснения текущих значений переменных, использовать механизм “Watch variable”.

1.3. Исследование программы при помощи Profiler.

- Изучить возможности оптимизации программы в интегрированной среде, в отчете перечислить и объяснить параметры (опции), влияющие на оптимизацию.

- Построить несколько вариантов, отличающихся способом оптимизации, проанализировать время работы и объем памяти полученных вариантов. С помощью Profiler определить наиболее долго выполнявшиеся функции. С помощью Profiler определить не исполнявшиеся участки программы.
- Изменить текст main так, чтобы выполнялись все участки программы.

2. Применение стандартной библиотеки STL.

2.1. Составить консольные приложения, демонстрирующие основные операции с контейнерами и итераторами STL.

- Заполняя 3 контейнера строками из `<cstring>` или другими элементами, продемонстрировать отличия:
 - последовательностей (vector, list, deque);
 - адаптеров последовательностей (stack, queue, priority_queue);
 - ассоциативных контейнеров на базе map.
- На примере заполнения одного контейнера-последовательности из предыдущего задания целыми числами, протестировать интерфейсы контейнера и итератора.
- Аналогично протестировать ассоциативный контейнер, заполняя его указателями на разные графические объекты. Протестировать алгоритмы-методы и алгоритмы-классы на множестве графических элементов.

2.2. Реализовать новый шаблон контейнера и шаблон итератора для него по индивидуальному заданию.

- Предусмотреть обработку исключительных ситуаций.
- Протестировать контейнер, заполнив его графическими объектами.
- В отчете формально описать реализуемую структуру данных и абстракцию итерации, перечислить все отношения между классами, описать интерфейсы классов и особенности реализации.

1.3. Индивидуальное задание

- Фигуры — прямоугольник, кусок арктангенса, текст, текст в прямоугольнике.

- Контейнер — хэш-таблица на базе списка.

2. ХОД РАБОТЫ

Использованное ПО:

1. **JetBrains CLion** — IDE для C/C++ [6];
2. **Valgrind** — проверка утечек памяти;
3. **Google Test** — юнит-тесты для C++;
4. **Jest** — профилировщик для C++;
5. \LaTeX , **neovim** — сборка и написание отчёта [8].

2.1. Создание классов фигур

1. Создан класс `Point` (файлы `point.h`, `point.cpp`). Он содержит основные математические операции по работе с точками, например конвертацию координат.
2. Создан общий абстрактный класс `Shape` (`shape.h`, `shape.cpp`). Он содержит базовые методы, необходимые всем фигурам, несколько виртуальных и чистых виртуальных методов.

Оператор вывода в поток не виртуальный, т.к. дружественные методы не наследуются. Вместо этого в операторе вызывается чистый виртуальный метод `print`, который является `protected` и может наследоваться. [3]

3. Написаны классы `Pentagram`, `AtanSegment`, `Text`, `PentagramText`. Класс `PentagramText` наследуется от `Pentagram` и `Text`. UML-диаграмма классов представлена на рисунке 1.

Исходные коды представлены в приложениях в соответствующих файлах.

В процессе использованы возможности C++11/C++14/C++17, такие как `[[nodiscard]]`, лямбда-выражения, выводение типов (`auto`), `shared_ptr` и т.п. [2] [7]

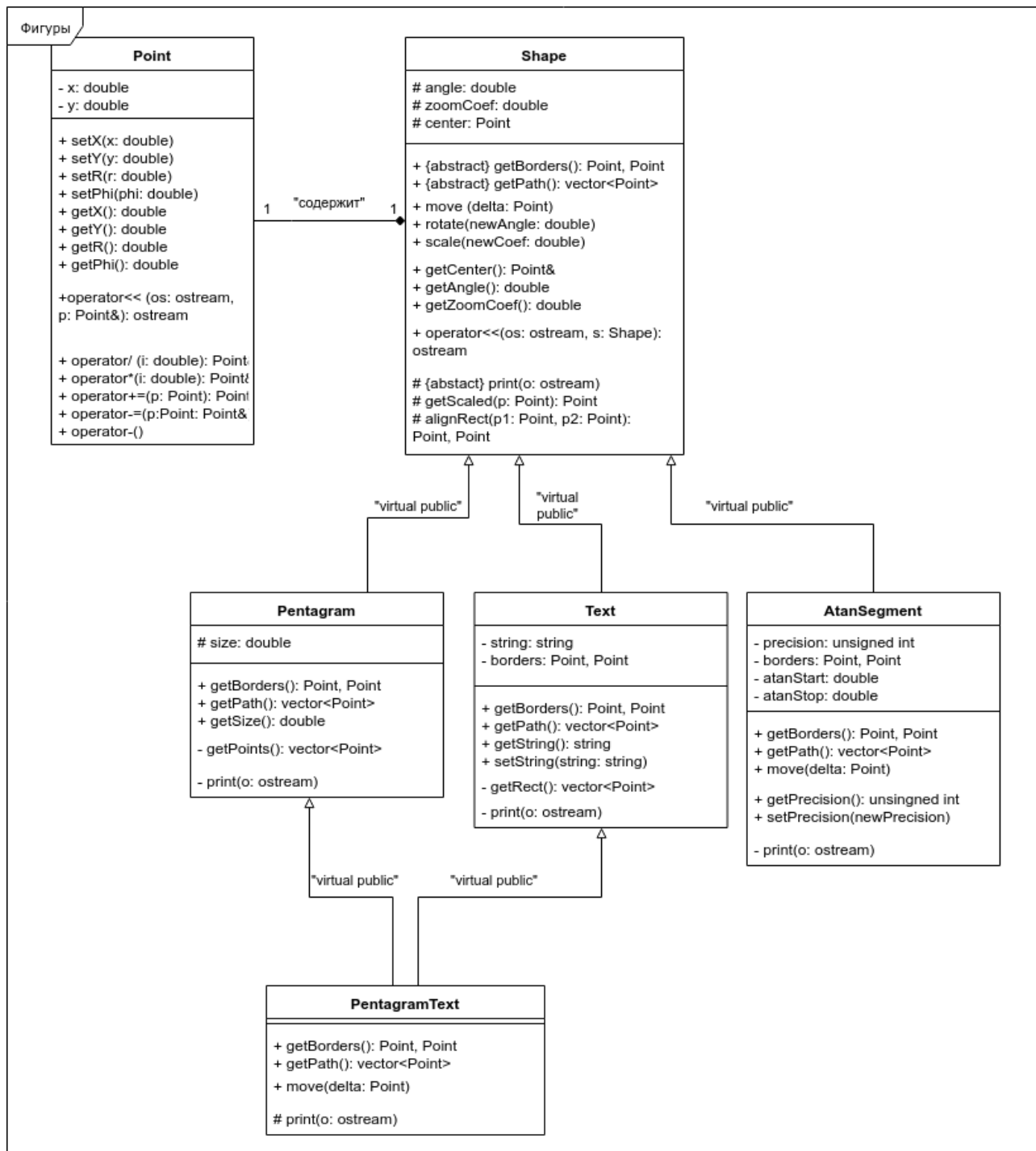
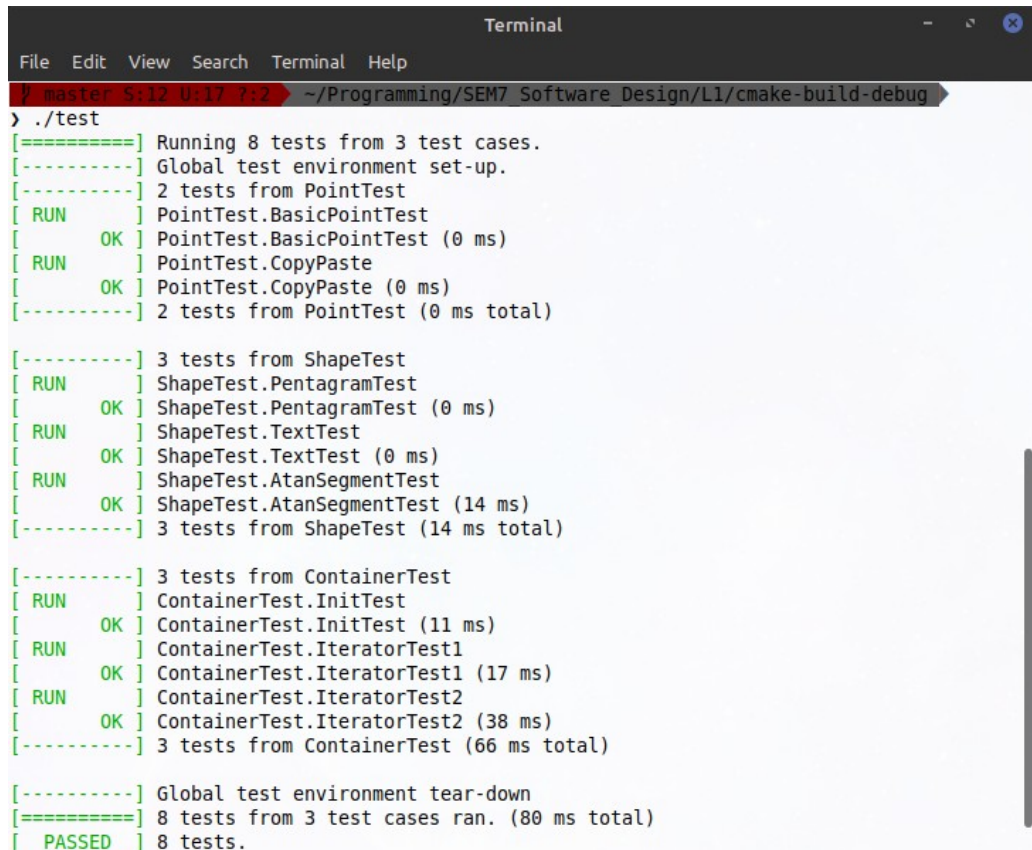


Рисунок 1. UML-диаграмма классов

2.2. Проверка созданных классов

1. Для сборки использована система CMake [4].
2. Для тестирования созданных классов подключен фреймворк GoogleTest, написан ряд юнит-тестов. Исходный код тестов находится в test.cpp.

Процесс запуска юнит-тестов представлен на 2



```
Terminal
File Edit View Search Terminal Help
~/Programming/SEM7 Software Design/L1/cmake-build-debug
> ./test
[=====] Running 8 tests from 3 test cases.
[-----] Global test environment set-up.
[-----] 2 tests from PointTest
[ RUN ] PointTest.BasicPointTest
[ OK ] PointTest.BasicPointTest (0 ms)
[ RUN ] PointTest.CopyPaste
[ OK ] PointTest.CopyPaste (0 ms)
[-----] 2 tests from PointTest (0 ms total)

[-----] 3 tests from ShapeTest
[ RUN ] ShapeTest.PentagramTest
[ OK ] ShapeTest.PentagramTest (0 ms)
[ RUN ] ShapeTest.TextTest
[ OK ] ShapeTest.TextTest (0 ms)
[ RUN ] ShapeTest.AtanSegmentTest
[ OK ] ShapeTest.AtanSegmentTest (14 ms)
[-----] 3 tests from ShapeTest (14 ms total)

[-----] 3 tests from ContainerTest
[ RUN ] ContainerTest.InitTest
[ OK ] ContainerTest.InitTest (11 ms)
[ RUN ] ContainerTest.IteratorTest1
[ OK ] ContainerTest.IteratorTest1 (17 ms)
[ RUN ] ContainerTest.IteratorTest2
[ OK ] ContainerTest.IteratorTest2 (38 ms)
[-----] 3 tests from ContainerTest (66 ms total)

[-----] Global test environment tear-down
[=====] 8 tests from 3 test cases ran. (80 ms total)
[ PASSED ] 8 tests.
```

Рисунок 2. Запуск Google Tests

3. Для демонстрации написан ряд преобразований над фигурами. Код преобразований в файле demo.cpp. Ход преобразований представлен на рисунке 3

Преобразования над всеми фигурами выполнены корректно.

4. Для отладки использована обертка над gdb, встроенная в CLion и Valgrind для контроля над утечками памяти. [6] Приведены скриншоты, сделанные в ходе отладки:

- Рисунок 4 — остановка на breakpoint'е
- Рисунок 5 — оценка выражения
- Рисунок 6 — локализация утечки памяти


```
Terminal
File Edit View Search Terminal Help
~/Programming/SEM7_Software_Design/L1/cmake-build-debug
> ./demo

Korytov Pavel, 6304. LR 1

Pentagram: {center: (0,0); size: 10}

Starting transformation sequence
Path[ (10,0) (-8.09,5.88) (3.09,-9.51) (3.09,9.51) (-8.09,-5.88) (10,0) ]
Moving to (10,20)
Path[ (20,20) (1.91,25.9) (13.1,10.5) (13.1,29.5) (1.91,14.1) (20,20) ]
Rotating at 45 degrees
Path[ (17.1,27.1) (0.123,18.4) (18.9,15.5) (5.46,28.9) (8.44,10.1) (17.1,27.1) ]
Scaling 12.5 times
Path[ (98.4,108) (-113,0.446) (121,-36.7) (-46.7,131) (-9.55,-103) (98.4,108) ]
Scaling back
Path[ (17.1,27.1) (0.123,18.4) (18.9,15.5) (5.46,28.9) (8.44,10.1) (17.1,27.1) ]
Rotating back
Path[ (20,20) (1.91,25.9) (13.1,10.5) (13.1,29.5) (1.91,14.1) (20,20) ]
Moving back
Path[ (10,0) (-8.09,5.88) (3.09,-9.51) (3.09,9.51) (-8.09,-5.88) (10,0) ]
Transformation sequence complete

AtanSegment {precision: 5; box:(1,1) (10,10)}

Starting transformation sequence
Path[ (1,3.25) (2.8,3.95) (4.6,4.93) (6.4,6.07) (8.2,7.05) (10,7.75) ]
Moving to (10,20)
Path[ (11,23.2) (12.8,24) (14.6,24.9) (16.4,26.1) (18.2,27) (20,27.8) ]
Rotating at 45 degrees
Path[ (13.9,20.7) (14.7,22.5) (15.3,24.5) (15.7,26.5) (16.3,28.5) (17.1,30.3) ]
```

Рисунок 3. Запуск преобразований

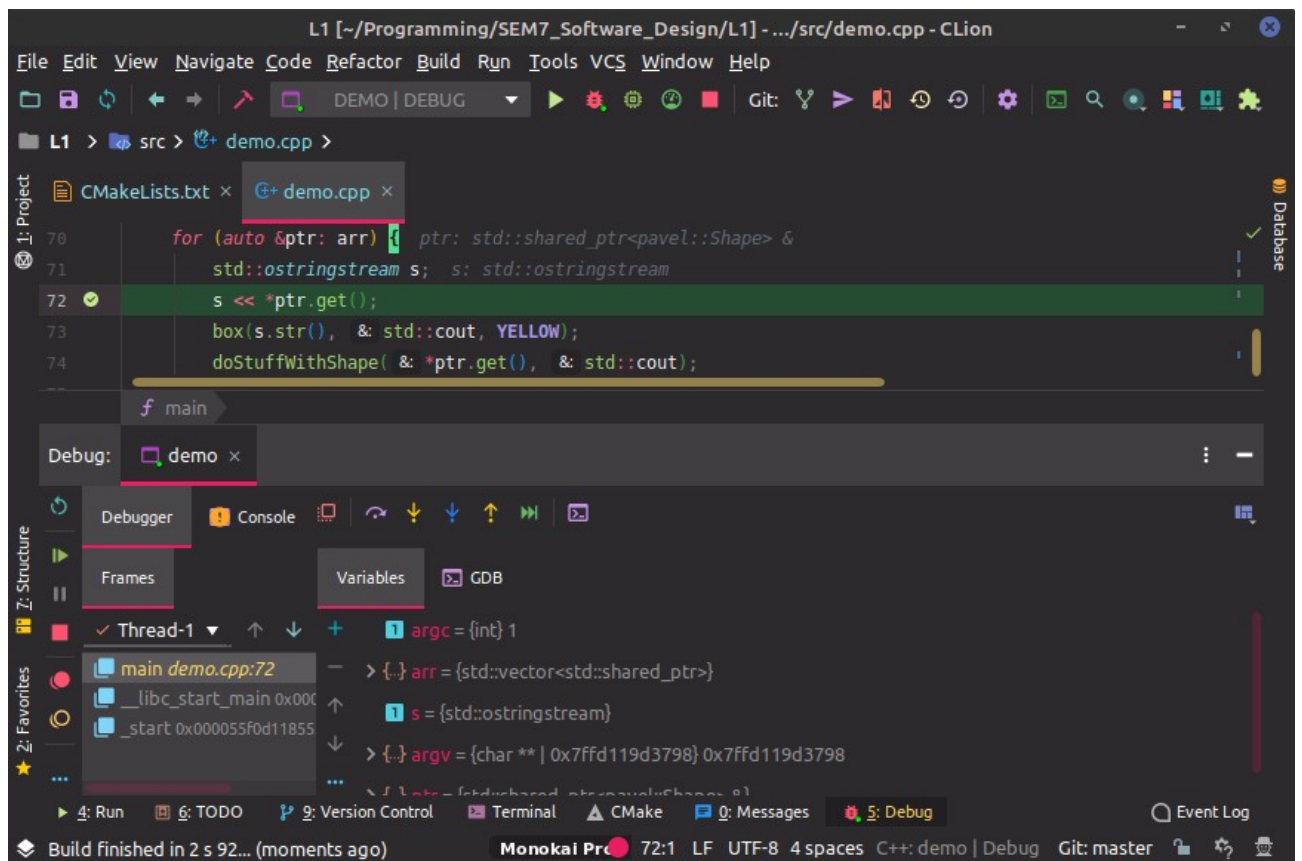


Рисунок 4. Остановка на breakpoint'e

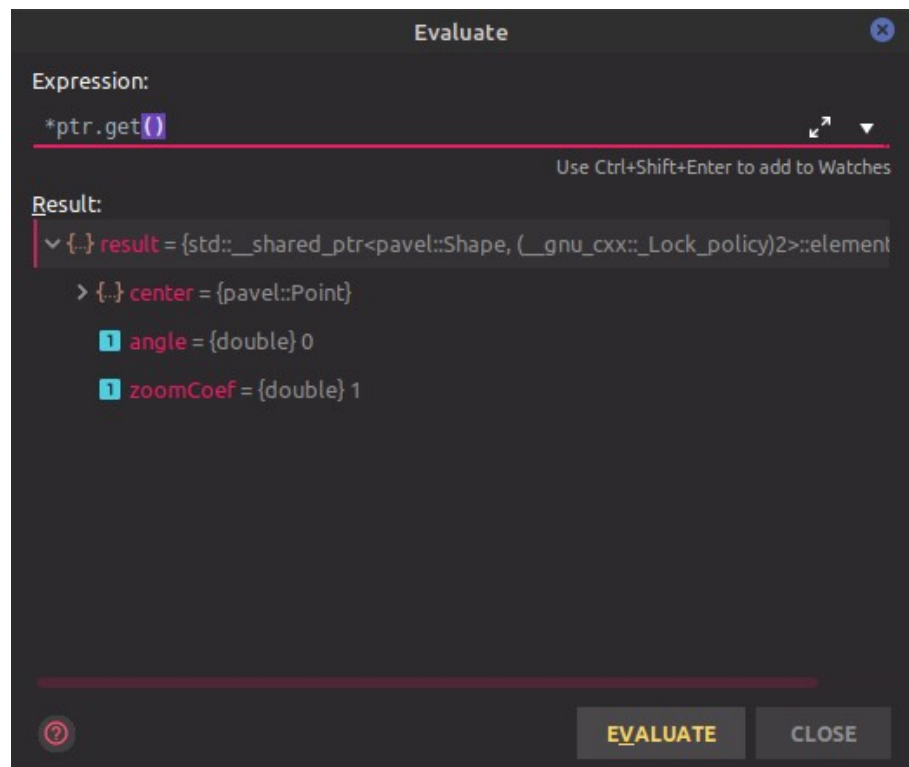


Рисунок 5. Оценка значения выражения

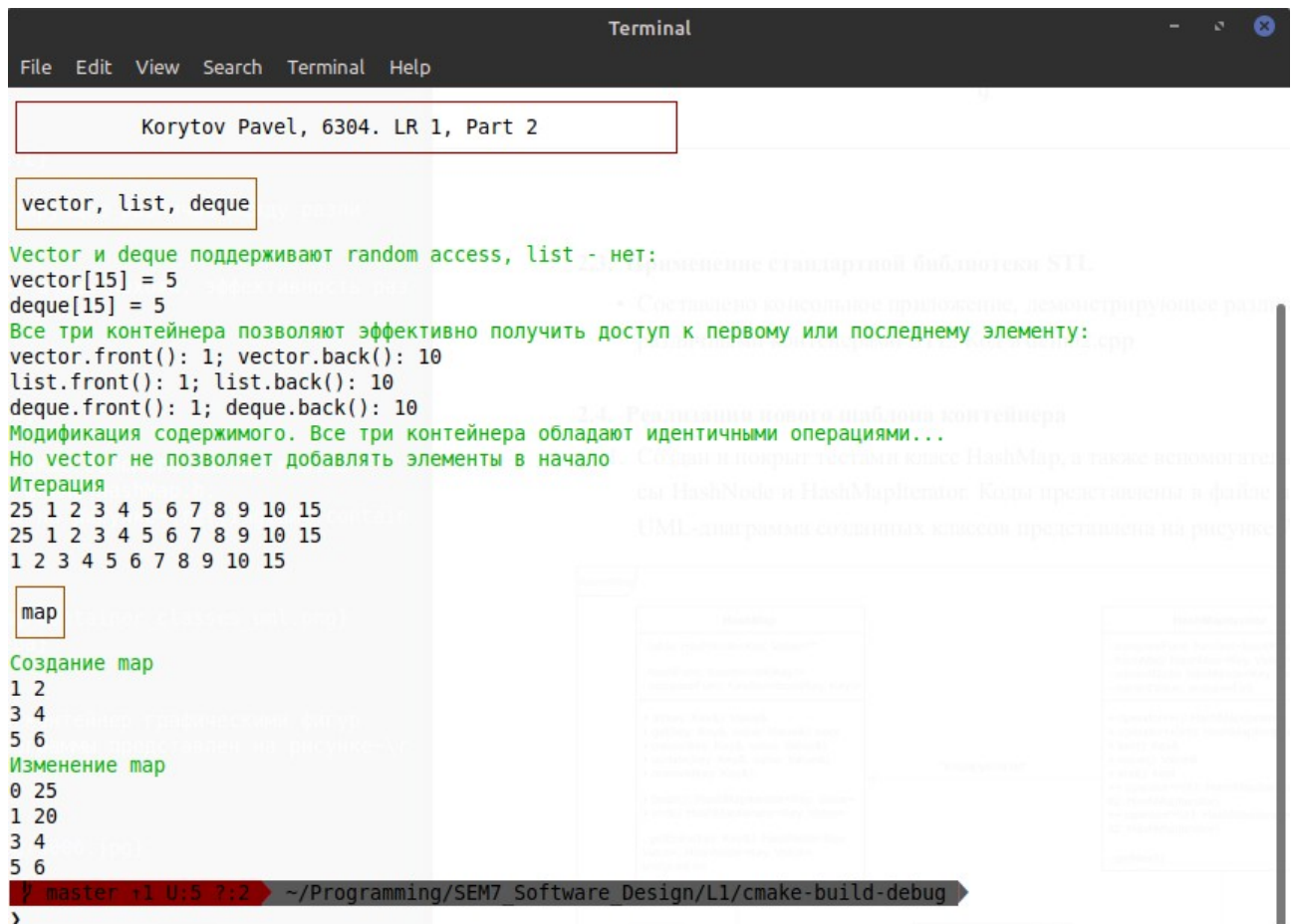


Рисунок 6. Valgrind обнаружил утечку памяти

2.3. Применение стандартной библиотеки STL

- Составлено консольное приложение, демонстрирующее различия между различными контейнерами STL. Код в demo2.cpp.

Установлено, что интерфейсы контейнеров очень похожи, эффективность различных операций в различается. [5]



```
Terminal
File Edit View Search Terminal Help

Korytov Pavel, 6304. LR 1, Part 2

vector, list, deque

Vector и deque поддерживают random access, list - нет:
vector[15] = 5
deque[15] = 5
Все три контейнера позволяют эффективно получить доступ к первому или последнему элементу:
vector.front(): 1; vector.back(): 10
list.front(): 1; list.back(): 10
deque.front(): 1; deque.back(): 10
Модификация содержимого. Все три контейнера обладают идентичными операциями...
Но vector не позволяет добавлять элементы в начало
Итерация
25 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 15
25 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 15
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 15

map

Создание map
1 2
3 4
5 6
Изменение map
0 25
1 20
3 4
5 6

$ master xl U:5 7:2 ~/Programming/SEM7 Software Design/L1/cmake-build-debug
```

Рисунок 7. Результаты запуска демонстрационной программы

Некоторые различия между vector, list и deque указаны в таблице 1.

2.4. Реализация нового шаблона контейнера

1. Создан и покрыт тестами класс HashMap, а также вспомогательные классы HashNode и HashMapIterator. Коды представлены в файле hashMap.h. UML-диаграмма созданных классов представлена на рисунке 8
- Создаваемый контейнер — хэш-таблица на основе списка. На списке основано разрешение коллизий; если у элементов совпадает хэш, они хранятся в односвязном списке.

При конструировании хэш-таблицы, если задается значение ключа, непри-

Таблица 1. Различия между контейнерами

Метод	<i>std::vector</i>	<i>std::list</i>	<i>std::deque</i>	<i>std::map</i>	<i>std::queue</i>	<i>std::stack</i>	<i>std::priority_queue</i>
Доступ по индексу	+	—	+	+	—	—	—
Индекс любого типа	—	—	—	+	—	—	—
Доступ с начала	+	+	+	—	+	—	—
Доступ с конца	+	+	+	—	+	+	+/-
Добавление элементов в конец	+	+	+	—	+	+	+/-
Добавление элементов в начало	—	+	+	—	—	—	—
Удаление элементов с начала	—	+	+	—	+	—	—
Удаление элементов с конца	+	+	+	—	—	+	+/-
Изменение элементов по индексу	+	—	+	+	—	—	—

водимое `static_cast` с `unsigned int`, нужно задать хэш-функцию и функцию сравнения ключей. При это хэш-функция должна возвращать `unsigned int` не больше, чем `SIZE` в файле с `hashMap`.

2. Создано приложение, заполняющее созданный контейнер графическими фигурами. Код в `demo3.cpp`. Запуск демонстрационной программы представлен на рисунке 9
3. Изучение профилировщика

Использована обёртка над профилировщиком `Perf`, встроенная в `CLion`. [6]
На рисунке 10 — дерево вызовов, на 11 — вызываемые методы.

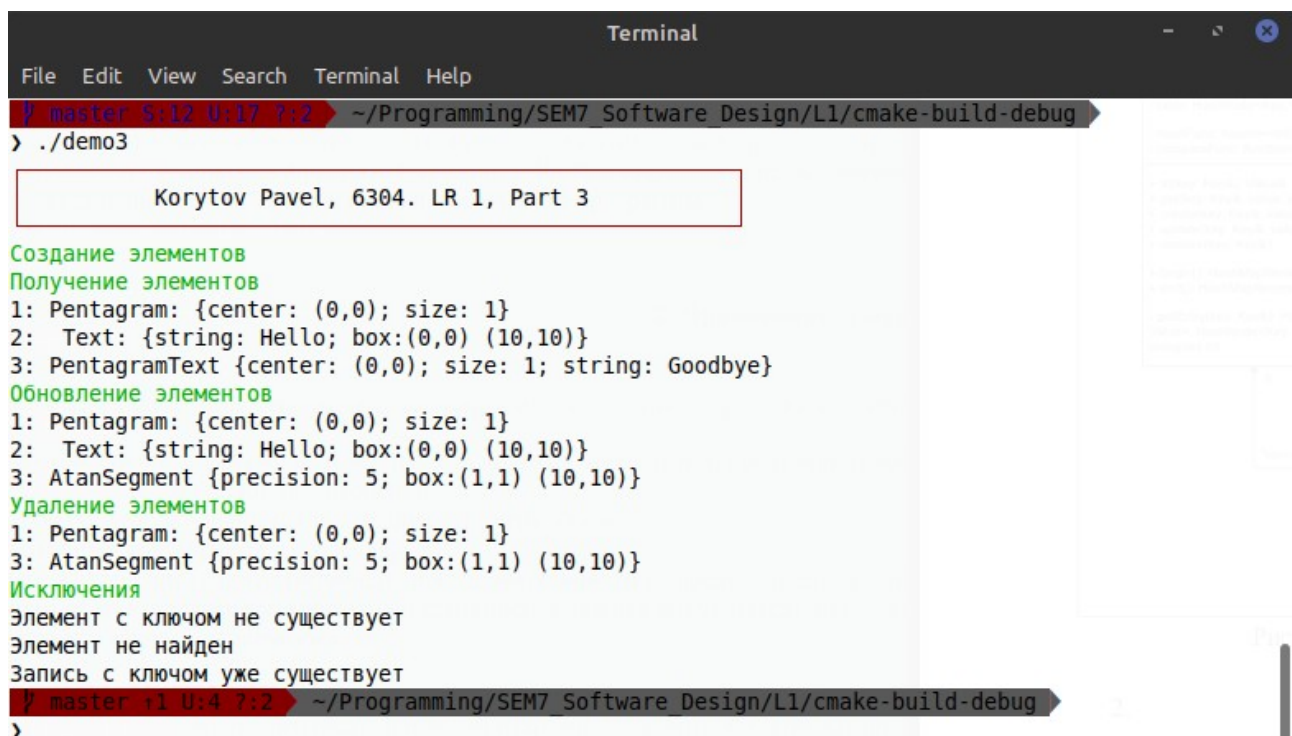


Рисунок 9. Запуск демонстрации HashMap

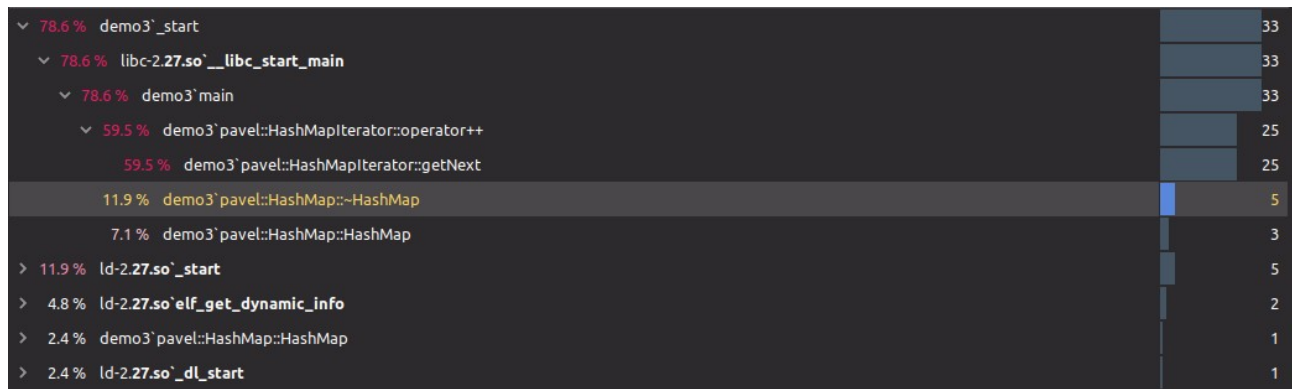


Рисунок 10. Дерево вызовов

Method	Samples
demo3`_start	33
libc-2.27.so`__libc_start_main	33
demo3`main	33
demo3`pavel::HashMapIterator::operator++	25
demo3`pavel::HashMapIterator::getNext	25
demo3`pavel::HashMap::~HashMap	5

Рисунок 11. Список вызываемых методов

3. ВЫВОДЫ

Протестированы и изучены классы контейнеров стандартной библиотеки STL.

Написаны классы графических объектов, поддерживающие полиморфизм. Изучено виртуальное наследование для разрешения проблем, связанных с ромбовидным наследованием.

Написан класс-контейнер — хэш-таблица на базе списка.

Исследованы возможности тестирования, отладки и профилировки программ на C++.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Макс Шлее. Профессиональное программирование на C++. СПб: БХВ-Петербург, 2018, 1073 с.
- [2] C++ Programming // Wikibooks.
URL: https://en.wikibooks.org/wiki/C++_Programming (дата обращения: 08.10.2019)
- [3] More C++ Idioms // Wikibooks.
URL: https://en.wikibooks.org/wiki/More_C++_Idioms (дата обращения: 08.10.2019)
- [4] CMake Refence Documentation // CMake.
URL: <https://cmake.org/cmake/help/v3.15/> (дата обращения: 08.10.2019)
- [5] C++ Reference // C++ Reference. URL: <https://en.cppreference.com/w/> (дата обращения: 08.10.2019)
- [6] Clion Learning Center // JetBrains
URL: <https://www.jetbrains.com/clion/learning-center/> (дата обращения: 08.10.2019)
- [7] AnthonyCalandra/modern-cpp-features // GitHub.
URL: <https://github.com/AnthonyCalandra/modern-cpp-features> (дата обращения: 08.10.2019)
- [8] Л^AT_EX // Wikibooks.
URL: <https://en.wikibooks.org/wiki/LaTeX> (дата обращения: 08.10.2019)

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Код shape.h

```
1  #pragma once
2
3  #include <tuple>
4  #include <vector>
5  #include <utility>
6  #include <ostream>
7  #include "point.h"
8  #include "exception.h"
9
10 namespace pavel {
11     class Shape {
12     public:
13         explicit Shape(Point center = Point {0, 0}): center(std::move(center)) {}
14         virtual ~Shape() = default;
15         [[nodiscard]] virtual std::pair<Point, Point> getBorders() = 0;
16         [[nodiscard]] virtual std::vector<Point> getPath() = 0;
17
18         virtual void move(Point delta);
19         virtual void rotate(double newAngle);
20         virtual void scale(double newCoef);
21
22         [[nodiscard]] const Point &getCenter() const;
23         [[nodiscard]] double getAngle() const;
24         [[nodiscard]] double getZoomCoef() const;
25
26         friend std::ostream &operator<<(std::ostream &os, const Shape &shape);
27
28     protected:
29         virtual void print(std::ostream &o) const = 0;
30
31         Point getScaled(Point p);
32         static std::pair<Point, Point> alignRect(Point p1, Point p2);
33         Point center;
34         double angle = 0;
35         double zoomCoef = 1;
36     };
37
38     inline std::ostream &operator<<(std::ostream &os, const Shape &shape) {
39         shape.print(os);
40         return os;
41     }
42 }
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Код shape.cpp

```
1  #include <algorithm>
2  #include <cmath>
3  #define _USE_MATH_DEFINES
4
5  #include "point.h"
6  #include "shape.h"
7
8  namespace Pavel {
9      const Point &Pavel::Shape::getCenter() const {
10         return center;
11     }
12
13     double Shape::getAngle() const {
14         return angle;
15     }
16
17     double Shape::getZoomCoef() const {
18         return zoomCoef;
19     }
20
21     void Shape::move(Point delta) {
22         center += delta;
23     }
24
25     void Shape::rotate(double newAngle) {
26         angle = std::fmod(angle + newAngle, M_PI * 1);
27     }
28
29     void Shape::scale(double newCoef) {
30         zoomCoef *= newCoef;
31     }
32
33     Point Shape::getScaled(Point p) {
34         auto p2 = p - center;
35         p2.setR(p2.getR() * getZoomCoef());
36         p2.setPhi(p2.getPhi() + angle);
37         p2 += center;
38         return p2;
39     }
40
41     std::pair<Point, Point> Shape::alignRect(Point p1, Point p2) {
42         return std::make_pair(
43             Point(
44                 std::min(p1.getX(), p2.getX()),
45                 std::min(p1.getY(), p2.getY())
46             ),
47             Point(
48                 std::max(p1.getX(), p2.getX()),
49                 std::max(p1.getY(), p2.getY())
50             )
51         );
52     }
53 }
54 }
```

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Код point.h

```
1  #pragma once
2
3  #include <iostream>
4
5  namespace pavel {
6      class Point {
7          public:
8              /* Constructors and copy */
9              explicit Point(double x = 0, double y = 0): x(x), y(y) {}
10             Point(const Point &p) = default;
11             ~Point() = default;
12
13             friend void swap(Point& a, Point& b);
14             Point& operator=(Point p);
15             Point(Point&& p) noexcept;
16
17             /* Getters, setters */
18             [[nodiscard]] double getX() const { return x; }
19             [[nodiscard]] double getY() const { return y; }
20             void setX(double x_) { x = x_; }
21             void setY(double y_) { y = y_; }
22
23             [[nodiscard]] double getR() const;
24             [[nodiscard]] double getPhi() const;
25             void setR(double newR);
26             void setPhi(double newPhi);
27
28             /* Arithmetic */
29             Point& operator/(double i);
30             Point& operator*(double i);
31             Point& operator+=(Point p);
32             Point& operator—=(Point p);
33             Point& operator—();
34
35             /* Stream */
36             friend std::ostream& operator<< (std::ostream& os, const Point& p);
37             friend std::istream& operator>> (std::istream& is, Point& p);
38
39             private:
40                 double x{};
41                 double y{};
42     };
43
44     bool operator==(const Point& a, const Point& b);
45     Point operator+(const Point& p1, const Point& p2);
46     Point operator—(const Point& p1, const Point& p2);
47
48     Point operator+(const Point& p1, double a);
49     Point operator—(const Point& p1, double a);
50 }
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Код point.cpp

```
1  #include <algorithm>
2  #include <cmath>
3
4  #include "point.h"
5
6  namespace pavel {
7      void swap(Point &a, Point &b) {
8          std::swap(a.x, b.x);
9          std::swap(a.y, b.y);
10     }
11
12     Point &Point::operator=(Point p) {
13         swap(*this, p);
14         return *this;
15     }
16
17     Point::Point(Point &&p) noexcept {
18         swap(*this, p);
19     }
20
21     Point & Point::operator/(double i)
22     {
23         x = x / i;
24         y = y / i;
25         return *this;
26     }
27
28     Point & Point::operator*(double i)
29     {
30         x = x * i;
31         y = y * i;
32         return *this;
33     }
34
35     std::ostream & operator<<(std::ostream & os, const Point& p)
36     {
37         os << "(" << p.x << "," << p.y << ")";
38         return os;
39     }
40
41     std::istream & operator>> (std::istream & is, Point& p)
42     {
43         is >> p.x >> p.y;
44         return is;
45     }
46
47     Point &Point::operator+=(Point p) {
48         x = x + p.getX();
49         y = y + p.getY();
50         return *this;
51     }
52
53     Point &Point::operator-=(Point p) {
54         x = x - p.getX();
55         y = y - p.getY();
56         return *this;
```

```

57     }
58
59     double Point::getR() const {
60         return std::sqrt(x*x + y*y);
61     }
62
63     double Point::getPhi() const {
64         // if ((x == 0) && (y > 0)) return M_PI/2;
65         // if ((x == 0) && (y < 0)) return 3*M_PI/2;
66         // if ((x > 0) && (y >= 0)) return std::atan(y/x);
67         // if ((x > 0) && (y < 0)) return std::atan(y/x) + 2*M_PI;
68         // if (x < 0) return std::atan(y/x) + M_PI;
69         // if (x > 0) return std::atan2(y, x);
70         // if ((x < 0) && (y >= 0)) return std::atan2(y, x) + M_PI;
71         // if ((x < 0) && (y < 0)) return std::atan2(y, x) - M_PI;
72         // if ((x == 0) && (y > 0)) return M_PI / 2;
73         // if ((x == 0) && (y < 0)) return -M_PI / 2;
74         return std::atan2(y, x);
75     }
76
77     void Point::setR(double newR) {
78         double phi = getPhi();
79         x = newR * std::cos(phi);
80         y = newR * std::sin(phi);
81     }
82
83     void Point::setPhi(double newPhi) {
84         double r = getR();
85         x = r * std::cos(newPhi);
86         y = r * std::sin(newPhi);
87     }
88
89     Point &Point::operator~() {
90         x = -x;
91         y = -y;
92     }
93
94     bool operator==(const Point & a, const Point & b){
95         return ((a.getX() == b.getX()) && (a.getY() == b.getY()));
96     }
97
98     Point operator+(const Point& p1, const Point& p2) {
99         return Point(p1.getX() + p2.getX(), p1.getY() + p2.getY());
100     }
101
102     Point operator-(const Point& p1, const Point& p2) {
103         return Point(p1.getX() - p2.getX(), p1.getY() - p2.getY());
104     }
105
106     Point operator+(const Point& p1, double a) {
107         return Point{p1.getX() + a, p1.getY() + a};
108     }
109     Point operator-(const Point& p1, double a) {
110         return Point {p1.getX() - a, p1.getY() - a};
111     }
112 }

```

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Код pentagram.h

```
1  #pragma once
2
3  #include <ostream>
4  #include "point.h"
5  #include "shape.h"
6
7  namespace pavel {
8      class Pentagon: virtual public Shape {
9      public:
10         explicit Pentagon(Point center = Point {0, 0}, double size = 1);
11
12         std::pair<Point, Point> getBorders() override;
13
14         std::vector<Point> getPath() override;
15
16         [[nodiscard]] double getSize() const;
17
18     protected:
19         double size;
20
21     private:
22         void print(std::ostream &o) const override;
23         [[nodiscard]] std::vector<Point> getPoints();
24     };
25 }
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Код pentagram.cpp

```
1  #include <cmath>
2  #include <tuple>
3
4  #include "pentagram.h"
5
6  namespace pavel {
7      Pentagon::Pentagon(Point center, double size): Shape(center), size(size) {}
8
9      std::vector<Point> Pentagon::getPoints() {
10         auto points = std::vector<Point>();
11         for (int i = 0; i < 5; i++) {
12             auto p = Point {size, 0};
13             p.setPhi(i * M_PI * 2 / 5);
14             p += center;
15             p = getScaled(p);
16             points.push_back(p);
17         }
18         return points;
19     }
20
21     std::pair<Point, Point> Pentagon::getBorders() {
22         auto coef = size * zoomCoef;
23         return std::make_pair(
24             center - Point {coef, coef},
25             center + Point {coef, coef}
26         );
27     }
28
29     std::vector<Point> Pentagon::getPath() {
30         auto points = getPoints();
31         return std::vector<Point> {
32             points[0],
33             points[2],
34             points[4],
35             points[1],
36             points[3],
37             points[0]
38         };
39     }
40
41     double Pentagon::getSize() const {
42         return size * zoomCoef;
43     }
44
45     void Pentagon::print(std::ostream &o) const {
46         o << "Pentagram: {center: " << getCenter() << "; size: " << getSize() << "}";
47     }
48
49 }
50 }
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Код atanSegment.h

```
1  #pragma once
2
3  #include "shape.h"
4
5  namespace pavel {
6      class AtanSegment : virtual public Shape {
7      public:
8          explicit AtanSegment(Point bottomLeft, Point topRight, unsigned int precision =
9              20);
10
11          std::pair<Point, Point> getBorders() override;
12
13          std::vector<Point> getPath() override;
14
15          [[nodiscard]] unsigned int getPrecision() const;
16          void setPrecision(unsigned int newPrecision);
17
18          void move(Point delta) override;
19
20      protected:
21          void print(std::ostream &o) const override;
22
23      private:
24          unsigned int precision;
25          std::pair<Point, Point> borders;
26          double atanStart = -1;
27          double atanStop = 1;
28      };
29 }
```


ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Код atanSegment.cpp

```
1  #include <cmath>
2  #include "atanSegment.h"
3
4  namespace pavel {
5      AtanSegment::AtanSegment(Point bottomLeft, Point topRight, unsigned int precision)
6          : precision(precision), borders(std::make_pair(topRight, bottomLeft)) {
7          center = (topRight + bottomLeft) / 2;
8      }
9
10     std::pair<Point, Point> AtanSegment::getBorders() {
11         return alignRect(getScaled(borders.first), getScaled(borders.second));
12     }
13
14     void AtanSegment::move(Point delta) {
15         Shape::move(delta);
16         borders.first += delta;
17         borders.second += delta;
18     }
19
20     std::vector<Point> AtanSegment::getPath() {
21         double x = atanStart;
22         auto path = std::vector<Point>();
23         auto boxDelta = borders.first - center;
24         auto delta = (atanStop - atanStart) / precision;
25         double xSize = boxDelta.getX();
26         double ySize = boxDelta.getY();
27
28         for (unsigned int i = 0; i <= precision; i++) {
29             auto y = std::atan(x) * 2 / M_PI;
30             auto p = Point {x * xSize, y * ySize} + center;
31             p = getScaled(p);
32             path.push_back(p);
33             x += delta;
34         }
35         return path;
36     }
37
38     void AtanSegment::print(std::ostream &o) const {
39         o << "AtanSegment_{precision:}" << precision
40         << ";_box:" << borders.second << "_" << borders.first << "}";
41     }
42
43     unsigned int AtanSegment::getPrecision() const {
44         return precision;
45     }
46
47     void AtanSegment::setPrecision(unsigned int newPrecision) {
48         AtanSegment::precision = newPrecision;
49     }
50
51 }
```

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Код text.h

```
1  #pragma once
2
3  #include "shape.h"
4
5  namespace pavel {
6      class Text : virtual public Shape {
7      public:
8          explicit Text(std::string string, Point bottomLeft, Point topRight);
9
10         std::pair<Point, Point> getBorders() override;
11
12         std::vector<Point> getPath() override;
13
14         [[nodiscard]] const std::string &getString() const;
15         void setString(const std::string &newString);
16
17         void move(Point delta) override;
18
19     protected:
20         void print(std::ostream &o) const override;
21
22     private:
23         std::string string;
24         std::pair<Point, Point> borders;
25
26         std::vector<Point> getRect();
27     };
28 }
```

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Код text.cpp

```
1  #include <tuple>
2  #include <utility>
3  #include <algorithm>
4  #include "text.h"
5
6  namespace pavel {
7
8      const std::string &Text::getString() const {
9          return string;
10     }
11
12     void Text::setString(const std::string &newString) {
13         string = newString;
14     }
15
16     std::vector<Point> Text::getRect() {
17         auto [p1, p3] = borders;
18         auto points = std::vector(
19             {getScaled(p1),
20              (getScaled(Point{p1.getX(), p3.getY()})),
21              getScaled(p3),
22              getScaled(Point{p1.getX(), p3.getY()})
23             });
24         return points;
25     }
26
27     std::pair<Point, Point> Text::getBorders() {
28         auto points = getRect();
29         auto xS = std::vector<double>();
30         auto yS = std::vector<double>();
31         for (auto & point: points) {
32             xS.push_back(point.getX());
33             yS.push_back(point.getY());
34         }
35         const auto [minX, maxX] = std::minmax_element(xS.begin(), xS.end());
36         const auto [minY, maxY] = std::minmax_element(yS.begin(), yS.end());
37         return std::make_pair(
38             Point {*minX, *minY},
39             Point {*maxX, *maxY}
40         );
41     }
42
43     std::vector<Point> Text::getPath() {
44         return getRect();
45     }
46
47     void Text::move(Point delta) {
48         Shape::move(delta);
49         borders.first += delta;
50         borders.second += delta;
51     }
52
53     void Text::print(std::ostream &o) const {
54
55         o << "└─Text:└─{string:└─" << string<< "└─box:"
56         << borders.second << "└─" << borders.first << "└─";
```

```
57     }
58
59     Text::Text(std::string string, Point bottomLeft, Point topRight)
60         :string(std::move(string)), borders(std::make_pair(topRight, bottomLeft)) {
61         center = (topRight + bottomLeft) / 2;
62     }
63 }
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Код pentagramText.h

```
1  #include "text.h"
2  #include "pentagram.h"
3
4  namespace pavel {
5      class PentagonText : virtual public Text, virtual public Pentagon {
6      public:
7          explicit PentagonText(std::string string, Point center = Point {0, 0}, double
              size = 1);
8
9          std::pair<Point, Point> getBorders() override;
10
11         std::vector<Point> getPath() override;
12
13         void move(Point delta) override;
14
15     protected:
16         void print(std::ostream &o) const override;
17     };
18 }
```

ПРИЛОЖЕНИЕ М

Код pentagramText.cpp

```
1  #include "pentagramText.h"
2
3  #include <utility>
4
5  namespace pavel {
6      void PentagramText::print(std::ostream &o) const {
7          o << "PentagramText{center:_ " << Pentagram::center << ";_size:_ " << size << ";_
8              string:_ " << getString() << "}";
9      }
10
11     std::pair<Point, Point> PentagramText::getBorders() {
12         return Pentagram::getBorders();
13     }
14
15     std::vector<Point> PentagramText::getPath() {
16         auto pentagramPath = Pentagram::getPath();
17         auto textPath = Text::getPath();
18         pentagramPath.insert(pentagramPath.end(), textPath.begin(), textPath.end());
19         return pentagramPath;
20     }
21
22     void PentagramText::move(Point delta) {
23         Text::move(delta);
24     }
25
26     PentagramText::PentagramText(std::string string, Point center, double size)
27         : Pentagram(center, size), Text(std::move(string), center + (size / 2), center -
28             (size / 2))
29     {}
30 }
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

Код test.cpp

```
1  #pragma clang diagnostic push
2  #pragma ide diagnostic ignored "cert-msc32-c"
3  #pragma ide diagnostic ignored "cert-err58-cpp"
4
5  #include <ctime>
6  #include <iostream>
7  #include <random>
8  #include "gtest/gtest.h"
9
10 #include "point.h"
11 #include "pentagram.h"
12 #include "text.h"
13 #include "atanSegment.h"
14 #include "pentagramText.h"
15 #include "hashMap.h"
16
17
18 TEST(PointTest, BasicPointTest) {
19     std::mt19937 gen(time(nullptr));
20     std::uniform_real_distribution<> urd(-10, 10);
21     auto x = urd(gen);
22     auto y = urd(gen);
23
24     pavel::Point p1 {x, y};
25     ASSERT_EQ(p1.getX(), x);
26     ASSERT_EQ(p1.getY(), y);
27     ASSERT_GE(p1.getR(), 0);
28     ASSERT_NEAR(p1.getPhi(), 0, M_PI);
29
30     p1.setX(y);
31     p1.setY(x);
32     ASSERT_EQ(p1.getX(), y);
33     ASSERT_EQ(p1.getY(), x);
34 }
35
36 TEST(PointTest, CopyPaste) {
37     pavel::Point p1 {2, 3};
38     auto p2 = p1;
39     auto p3(p2);
40
41     ASSERT_EQ(p1.getX(), p2.getX());
42     ASSERT_EQ(p2.getX(), p3.getX());
43     ASSERT_EQ(p1.getPhi(), p2.getPhi());
44     ASSERT_EQ(p1.getR(), p3.getR());
45
46     ASSERT_TRUE(p1 == p2);
47     auto p4 = p2 + p3;
48     auto p5 = p3 * 2;
49     ASSERT_TRUE(p4 == p5);
50     ASSERT_GT(p4.getR(), p1.getR());
51     ASSERT_GT(p5.getR(), p1.getR());
52     ASSERT_EQ(p3.getPhi(), p5.getPhi());
53 }
54
55 void checkBorders(pavel::Shape& figure) {
56     auto [p2, p1] = figure.getBorders();
```

```

57     for (pavel::Point& point : figure.getPath()) {
58         ASSERT_LE(point.getX(), p1.getX());
59         ASSERT_LE(point.getY(), p1.getY());
60
61         ASSERT_GE(point.getX(), p2.getX());
62         ASSERT_GE(point.getY(), p2.getY());
63     }
64 }
65
66 void standartMoveSequence(pavel::Shape& figure) {
67     ASSERT_NO_FATAL_FAILURE(checkBorders(figure));
68
69     figure.move(pavel::Point(99, -200));
70     ASSERT_NO_FATAL_FAILURE(checkBorders(figure));
71
72     figure.rotate(M_PI / 3);
73     figure.scale(14);
74     ASSERT_NO_FATAL_FAILURE(checkBorders(figure));
75
76     figure.scale(0.0001);
77     ASSERT_NO_FATAL_FAILURE(checkBorders(figure));
78 }
79
80 TEST(ShapeTest, PentagonTest) {
81     auto center = pavel::Point{2, 3};
82     auto fig = pavel::Pentagram(center, 10);
83     ASSERT_NO_FATAL_FAILURE(checkBorders(fig));
84
85     auto [ap1, ap2] = fig.getBorders();
86     fig.move(pavel::Point {2, 5});
87     auto [bp1, bp2] = fig.getBorders();
88
89     ASSERT_LT(ap1.getX(), bp1.getX());
90     ASSERT_LT(ap2.getY(), bp2.getY());
91
92     fig.rotate(M_PI * 0.42);
93     fig.scale(13.4);
94     auto [cp2, cp1] = fig.getBorders();
95     ASSERT_NO_FATAL_FAILURE(checkBorders(fig));
96     ASSERT_EQ(fig.getAngle(), M_PI*0.42);
97
98     ASSERT_LT(cp2.getX(), bp2.getX());
99     ASSERT_GT(cp1.getY(), bp1.getY());
100
101     ASSERT_EQ(fig.getCenter(), center + pavel::Point(2, 5));
102 }
103
104 TEST(ShapeTest, TextTest){
105     auto text = pavel::Text("Hello",
106                             pavel::Point(0, 0),
107                             pavel::Point(10, 10));
108     ASSERT_EQ(text.getString(), "Hello");
109     ASSERT_NO_FATAL_FAILURE(checkBorders(text));
110
111     text.setString("Goodbye");
112     ASSERT_EQ(text.getString(), "Goodbye");
113
114     ASSERT_NO_FATAL_FAILURE(standartMoveSequence(text));
115 }
116
117

```



```

118 TEST(ShapeTest, AtanSegmentTest) {
119     auto seg = Pavel::AtanSegment(Pavel::Point{0, 0}, Pavel::Point{10, 10}, 0);
120     ASSERT_NO_FATAL_FAILURE(checkBorders(seg));
121     ASSERT_NO_FATAL_FAILURE(standartMoveSequence(seg));
122
123     seg.setPrecision(20000);
124     ASSERT_NO_FATAL_FAILURE(checkBorders(seg));
125     ASSERT_EQ(seg.getPrecision(), 20000);
126     seg.setPrecision(2);
127     ASSERT_NO_FATAL_FAILURE(checkBorders(seg));
128 }
129
130
131
132 TEST(ContainerTest, InitTest) {
133     auto m = Pavel::HashMap<int, int>();
134     m.create(15, 20);
135     m.create(20, 30);
136     m.create(30, 40);
137     ASSERT_EQ(m.at(15), 20);
138     ASSERT_EQ(m.at(20), 30);
139     ASSERT_EQ(m.at(30), 40);
140     int val;
141     ASSERT_FALSE(m.get(16, val));
142     ASSERT_TRUE(m.get(15, val));
143     m.update(15, 25);
144     ASSERT_EQ(m.at(15), 25);
145     m.remove(15);
146     ASSERT_FALSE(m.get(15, val));
147 }
148
149 TEST(ContainerTest, IteratorTest1) {
150     auto m = Pavel::HashMap<int, double>();
151     m.create(1, 2);
152     m.create(2, 3);
153
154     auto iter = Pavel::HashMapIterator<int, double>(m);
155     while (!iter.end()) {
156         ASSERT_NE(iter.value(), 0);
157         ASSERT_NE(iter.key(), 0);
158         ++iter;
159     }
160 }
161
162 TEST(ContainerTest, IteratorTest2) {
163     auto m = Pavel::HashMap<int, double>();
164     m.create(1, 2);
165     m.create(2, 3);
166     m.create(10, 4);
167     m.create(20, 40);
168     m.create(25, 45);
169
170     auto it1 = m.begin();
171     auto it2 = m.end();
172     bool cmp = it1 == it2;
173     ASSERT_FALSE(cmp);
174
175     for (auto it = m.begin(); it != m.end(); it++) {
176         ASSERT_NE(it.value(), 0);
177         ASSERT_NE(it.key(), 0);
178     }

```

```
179 }
180
181 int main(int argc, char *argv[])
182 {
183     ::testing::InitGoogleTest(&argc, argv);
184     return RUN_ALL_TESTS();
185 }
186 #pragma clang diagnostic pop
```

ПРИЛОЖЕНИЕ О

Код demo.cpp

```
1  #include <cmath>
2  #include <memory>
3  #include <iostream>
4  #include <iomanip>
5
6  #include "atanSegment.h"
7  #include "text.h"
8  #include "myCli.h"
9
10 #include "shape.h"
11 #include "point.h"
12 #include "pentagram.h"
13 #include "colors.h"
14 #include "pentagramText.h"
15
16
17 std::string outPath(pavel::Shape& shape) {
18     std::ostringstream os;
19     os.precision(3);
20     os << "[";
21     for (auto &p : shape.getPath()) {
22         os << p << " ";
23     }
24     os << "]";
25     return os.str();
26 }
27
28 void doStuffWithShape(pavel::Shape & shape, std::ostream& os) {
29     os << BLUE << "Starting_transformation_sequence" << RESET << std::endl;
30     os << offset(1) << "Path" << outPath(shape) << std::endl;
31     auto move = pavel::Point {10, 20};
32     os << offset(1) << GREEN << "Moving_to_" << move << RESET << std::endl;
33     shape.move(move);
34     os << offset(1) << "Path" << outPath(shape) << std::endl;
35
36     double angle = 45.0 / 180.0 * M_PI;
37     os << offset(2) << GREEN << "Rotating_at_45_degrees" << RESET << std::endl;
38     shape.rotate(angle);
39     os << offset(2) << "Path" << outPath(shape) << std::endl;
40
41     double scale = 12.5;
42     os << offset(3) << GREEN << "Scaling_" << scale << "_times" << RESET << std::endl;
43     shape.scale(scale);
44     os << offset(3) << "Path" << outPath(shape) << std::endl;
45
46     os << offset(3) << GREEN << "Scaling_back" << RESET << std::endl;
47     shape.scale(1 / scale);
48     os << offset(3) << "Path" << outPath(shape) << std::endl;
49
50     os << offset(2) << GREEN << "Rotating_back" << RESET << std::endl;
51     shape.rotate(-angle);
52     os << offset(2) << "Path" << outPath(shape) << std::endl;
53
54     os << offset(1) << GREEN << "Moving_back" << RESET << std::endl;
55     shape.move(-move);
56     os << offset(1) << "Path" << outPath(shape) << std::endl;
```

```

57     os << BLUE << "Transformation_sequence_complete" << std::endl;
58 }
59
60 int main(int argc, char *argv[])
61 {
62     std::cout.precision(3);
63     box("Korytov_Pavel_6304_LR1_Part1", std::cout, RED);
64     std::vector<std::shared_ptr<pavel::Shape>> arr {
65         std::make_shared<pavel::Pentagram>(pavel::Pentagram(pavel::Point {0, 0},
66             10)),
67         std::make_shared<pavel::AtanSegment>(pavel::AtanSegment(pavel::Point{1, 1},
68             pavel::Point{10, 10}, 5)),
69         std::make_shared<pavel::Text>(pavel::Text("Hello_world", pavel::Point {-5,
70             -5}, pavel::Point {5, 5})),
71         std::make_shared<pavel::PentagramText>(pavel::PentagramText("Text_with_
72             pentagram", pavel::Point{1, 2}, 10))
73     };
74     for (auto &ptr: arr) {
75         std::ostringstream s;
76         s << *ptr.get();
77         box(s.str(), std::cout, YELLOW);
78         doStuffWithShape(*ptr.get(), std::cout);
79     }
80 }

```

ПРИЛОЖЕНИЕ П

Код colors.h

```
1  #pragma once
2
3  #define RESET    "\033[0m"
4  #define BLACK    "\033[30m"      /* Black */
5  #define RED      "\033[31m"      /* Red */
6  #define GREEN    "\033[32m"      /* Green */
7  #define YELLOW   "\033[33m"      /* Yellow */
8  #define BLUE     "\033[34m"      /* Blue */
9  #define MAGENTA  "\033[35m"      /* Magenta */
10 #define CYAN     "\033[36m"      /* Cyan */
11 #define WHITE    "\033[37m"      /* White */
12 #define BOLDBLACK "\033[1m\033[30m" /* Bold Black */
13 #define BOLDRED   "\033[1m\033[31m" /* Bold Red */
14 #define BOLDGREEN "\033[1m\033[32m" /* Bold Green */
15 #define BOLDYELLOW "\033[1m\033[33m" /* Bold Yellow */
16 #define BOLDBLUE  "\033[1m\033[34m" /* Bold Blue */
17 #define BOLDMAGENTA "\033[1m\033[35m" /* Bold Magenta */
18 #define BOLD CYAN "\033[1m\033[36m" /* Bold Cyan */
19 #define BOLDWHITE "\033[1m\033[37m" /* Bold White */
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Р

Код myCli.h

```
1  #pragma once
2  #include <string>
3
4  void box(const std::string& string, std::ostream& os,
5          const std::string& boxColor = "\033[0m",
6          const std::string& textColor = "\033[0m");
7
8  std::string offset(int offset);
```

ПРИЛОЖЕНИЕ С

Код myCli.cpp

```
1  #include "myCli.h"
2  #include "colors.h"
3  #include <iostream>
4  #include <sstream>
5
6  #define OFFSET "    "
7
8  void box(const std::string& string, std::ostream& os,
9          const std::string& boxColor,
10         const std::string& textColor) {
11     os << boxColor << "┌";
12     for (int i = 0; i < string.length(); i++) {
13         os << "-";
14     }
15     os << "┐" << std::endl;
16     os << "| " << textColor << string << boxColor << "| " << std::endl;
17     os << "└";
18     for (int i = 0; i < string.length(); i++) {
19         os << "-";
20     }
21     os << "┘" << std::endl << RESET;
22 }
23
24 std::string offset(int offset) {
25     std::string str;
26     for (int i = 0; i < offset; i++) {
27         str += OFFSET;
28     }
29     return str;
30 }
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Т

Код demo2.cpp

```
1  #include <iostream>
2  #include <string>
3  #include <vector>
4  #include <list>
5  #include <deque>
6  #include <map>
7
8  #include "myCli.h"
9  #include "colors.h"
10
11 using std::cout, std::endl;
12
13 int main(int argc, char *argv[])
14 {
15     box("Korytov_Pavel, 6304_LR1_Part2", std::cout, RED);
16     std::initializer_list<int> init = {
17         1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
18     };
19     box("vector, list, deque", std::cout, YELLOW);
20     auto vector = std::vector<int>(init);
21     auto list = std::list<int>(init);
22     auto deque = std::deque<int>(init);
23
24     cout << GREEN << "Vector и deque поддерживают random access, list — нет:" << RESET
25         << endl;
26     cout << "vector[15] = " << vector[4] << endl;
27     cout << "deque[15] = " << deque[4] << endl;
28
29     cout << GREEN << "Все три контейнера позволяют эффективно получить доступ к первому,
30         или последнему элементу:" << RESET << endl;
31     cout << "vector.front(): " << vector.front() << "; vector.back(): " <<
32         vector.back() << endl;
33     cout << "list.front(): " << list.front() << "; list.back(): " << list.back() <<
34         endl;
35     cout << "deque.front(): " << deque.front() << "; deque.back(): " << deque.back() <<
36         endl;
37
38     cout << GREEN << "Модификация содержимого. Все три контейнера обладают идентичными
39         операциями..." << RESET << endl;
40     deque.push_back(15);
41     deque.push_front(25);
42     list.push_back(15);
43     list.push_front(25);
44     cout << GREEN << "Но vector не позволяет добавлять элементы в начало" << RESET <<
45         endl;
46     vector.push_back(15);
47
48     cout << GREEN << "Итерация" << RESET << endl;
49     for (auto & it : deque) {
50         cout << it << " ";
51     }
52     cout << endl;
53
54     for (auto & it : list) {
55         cout << it << " ";
56     }
57 }
```



```

50     cout << endl;
51
52     for (auto & it : vector) {
53         cout << it << " ";
54     }
55     cout << endl;
56
57     box("map", std::cout, YELLOW);
58     cout << GREEN << "Создание_map" << RESET << endl;
59     auto map = std::map<int, int> {{1, 2}, {3, 4}, {5, 6}};
60     for (auto & it : map) {
61         std::cout << it.first << " " << it.second << std::endl;
62     }
63
64     cout << GREEN << "Изменение_map" << RESET << endl;
65     map[1] = 20;
66     map[0] = 25;
67
68     for (auto & it : map) {
69         std::cout << it.first << " " << it.second << std::endl;
70     }
71 }

```

ПРИЛОЖЕНИЕ У

Код hashMap.h

```
1  #pragma once
2
3  #include "exception.h"
4  #include <algorithm>
5  #include <iostream>
6  #include <functional>
7  #include <string>
8
9  #define SIZE 2000000
10
11 namespace pavel {
12     template<typename Key>
13     unsigned int defaultHash(Key key) {
14         return static_cast<unsigned int>(key) % SIZE;
15     }
16
17     template<typename Key>
18     bool defaultCompare(const Key& v1, const Key& v2) {
19         return v1 == v2;
20     }
21
22     template <typename Key, typename Value>
23     class HashMap;
24
25     template <typename Key, typename Value>
26     class HashNode {
27     public:
28         explicit HashNode(const Key& key, const Value& value): key(key), value(value) {}
29
30         HashNode (HashNode& node): key(node.key), value(node.value) {}
31
32         friend void swap(HashNode& a, HashNode& b){
33             std::swap(a.key, b.key);
34             std::swap(a.value, b.value);
35         }
36
37         HashNode& operator=(const HashNode& other) {
38             swap(*this, other);
39             return *this;
40         }
41
42         HashNode& operator=(HashNode&& other) noexcept {
43             swap(*this, other);
44         }
45
46         [[nodiscard]] const Value& getValue() {
47             return value;
48         }
49
50         void setValue(Value newValue) {
51             value = newValue;
52         }
53
54         [[nodiscard]] const Key& getKey() {
55             return key;
56         }
57     }
```

```

57
58     [[nodiscard]] HashNode *getNext() const {
59         return next;
60     }
61
62     void setNext(HashNode *newNext) {
63         next = newNext;
64     }
65
66 private:
67     Key key;
68     Value value;
69     HashNode* next = nullptr;
70 };
71
72 template <typename Key, typename Value>
73 class HashMapIterator {
74 public:
75     explicit HashMapIterator(const HashMap<Key, Value>& hashMap,
76                             HashNode<Key, Value>* node = nullptr)
77         :hashMap(hashMap), currentNode(node), compareFunc(hashMap.compareFunc) {
78         if (node == nullptr) {
79             getNext();
80         } else {
81             currentValue = hashMap.hashFunc(node->getKey());
82         }
83     }
84
85     HashMapIterator(HashMapIterator& it)
86     : HashMapIterator(it.hashMap, it.currentNode)
87     {
88         compareFunc = it.compareFunc;
89     }
90
91     HashMapIterator&operator++() {
92         getNext();
93         return *this;
94     }
95
96     HashMapIterator operator++(int) {
97         auto ret = HashMapIterator(*this);
98         getNext();
99         return ret;
100    }
101
102    const Key& key() {
103        return currentNode->getKey();
104    }
105
106    const Value& value() {
107        return currentNode->getValue();
108    }
109
110    bool end(){
111        return currentValue >= SIZE - 1;
112    }
113
114    friend bool operator==(const HashMapIterator<Key, Value>& it1,
115                           const HashMapIterator<Key, Value>& it2) {
116        return it1.compareFunc(it1.currentNode->getKey(),

```

```

        it2.currentNode->getKey());
117     }
118
119     friend bool operator!=(const HashMapIterator<Key, Value>& it1,
120                           const HashMapIterator<Key, Value>& it2) {
121         return !it1.compareFunc(it1.currentNode->getKey(),
122                                it2.currentNode->getKey());
123     }
124 private:
125     void getNext() {
126         if (currentNode != nullptr) {
127             currentNode = currentNode->getNext();
128         }
129         while (currentNode == nullptr && (currentValue < SIZE - 1)) {
130             currentValue++;
131             currentNode = hashMap.table[currentValue];
132         }
133     }
134
135     std::function<int(Key, Key)> compareFunc;
136     const HashMap<Key, Value>& hashMap;
137     HashNode<Key, Value>* currentNode = nullptr;
138     unsigned int currentValue = 0;
139 };
140
141 template<typename Key, typename Value>
142 class HashMap {
143     template <typename K, typename V>
144     friend class HashMapIterator;
145 public:
146     explicit HashMap(
147         const std::function<unsigned int(Key)>& hash = defaultHash<Key>,
148         const std::function<int(Key, Key)>& compare = defaultCompare<Key>)
149         : hashFunc(hash), compareFunc(compare) {
150         table = new HashNode<Key, Value>* [SIZE]();
151     }
152
153     ~HashMap() {
154         for (unsigned int i = 0; i < SIZE; i++) {
155             HashNode<Key, Value> *entry = table[i];
156             while (entry != nullptr) {
157                 HashNode<Key, Value> *prev = entry;
158                 entry = entry->getNext();
159                 delete prev;
160             }
161         }
162         delete[] table;
163     }
164
165     const Value& at(const Key& key) {
166         unsigned int hashValue = hashFunc(key);
167         HashNode<Key, Value>* node = table[hashValue];
168
169         while (node != nullptr) {
170             if (compareFunc(node->getKey(), key)) {
171                 return node->getValue();
172             }
173             node = node->getNext();
174         }

```

```

175         throw ElementNotFoundException<Key>(key);
176     }
177
178     bool get(const Key& key, Value& value) {
179         try {
180             value = at(key);
181             return true;
182         } catch (ElementNotFoundException<Key>& ex) {
183             return false;
184         }
185     }
186
187     void create(const Key& key, const Value& value) {
188         auto [prev, entry, hashValue] = getEntry(key);
189
190         if (entry == nullptr) {
191             entry = new HashNode<Key, Value>(key, value);
192             if (prev == nullptr) {
193                 table[hashValue] = entry;
194             } else {
195                 prev->setNext(entry);
196             }
197         } else {
198             throw ElementAlreadyExistsException<Key, Value>(key,
199                 entry->getValue());
200         }
201
202     void update(const Key& key, const Value& value) {
203         auto [prev, entry, hashValue] = getEntry(key);
204
205         if (entry == nullptr) {
206             entry = new HashNode<Key, Value>(key, value);
207             if (prev == nullptr) {
208                 table[hashValue] = entry;
209             } else {
210                 prev->setNext(entry);
211             }
212         } else {
213             entry->setValue(value);
214         }
215     }
216
217     void remove(const Key& key) {
218         auto [prev, entry, hashValue] = getEntry(key);
219
220         if (entry == nullptr) {
221             throw ElementNotFoundException<Key>(key);
222         } else {
223             if (prev == nullptr) {
224                 table[hashValue] = entry->getNext();
225             } else {
226                 prev->setNext(entry->getNext());
227             }
228             delete entry;
229         }
230     }
231
232     HashMapIterator<Key, Value> begin(){
233         return HashMapIterator<Key, Value>(*this);

```

```

234         }
235
236     HashMapIterator<Key, Value> end(){
237         unsigned int lastHash;
238         for (lastHash = SIZE - 1; table[lastHash] == nullptr && lastHash > 0;
              lastHash--);
239
240         if (lastHash > 0) {
241             HashNode<Key, Value>* node = table[lastHash];
242             while (node->getNext() != nullptr) {
243                 node = node->getNext();
244             }
245             return HashMapIterator<Key, Value>(*this, node);
246         }
247     }
248
249 private:
250     std::tuple<HashNode<Key, Value>*, HashNode<Key, Value>*,
251               unsigned int>getEntry(const Key& key) {
252         unsigned int hashValue = hashFunc(key);
253
254         HashNode<Key, Value> *entry = table[hashValue];
255         HashNode<Key, Value>* prev = nullptr;
256         while (entry != nullptr && !compareFunc(entry->getKey(), key)) {
257             prev = entry;
258             entry = entry->getNext();
259         }
260         return std::make_tuple(prev, entry, hashValue);
261     }
262
263     HashNode<Key, Value> **table;
264     std::function<unsigned int(Key)> hashFunc;
265     std::function<int(Key, Key)> compareFunc;
266 };
267
268 }
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Ф

Код demo3.cpp

```
1  #include "shape.h"
2  #include "hashMap.h"
3  #include "pentagram.h"
4  #include "atanSegment.h"
5  #include "text.h"
6  #include "pentagramText.h"
7  #include "point.h"
8  #include "colors.h"
9  #include "myCli.h"
10 #include "exception.h"
11
12 #include <iostream>
13 #include <memory>
14
15 int main(int argc, char *argv[]) {
16     box("Korytov_Pavel, 6304.LR_1, Part_3", std::cout, RED);
17     std::cout.precision(3);
18     auto map = pavel::HashMap<int, std::shared_ptr<pavel::Shape>>();
19     std::cout << GREEN << "Создание_элементов" << RESET << std::endl;
20     map.create(1, std::make_shared<pavel::Pentagram>(pavel::Pentagram()));
21     map.create(2, std::make_shared<pavel::Text>(pavel::Text("Hello", pavel::Point {0,
22         0}, pavel::Point{10, 10})));
23     map.create(3,
24         std::make_shared<pavel::PentagramText>(pavel::PentagramText("Goodbye")));
25
26     std::cout << GREEN << "Получение_элементов" << RESET << std::endl;
27     for (auto it = map.begin(); !it.end(); ++it) {
28         std::cout << it.key() << ":_ " << *it.value() << std::endl;
29     }
30
31     std::cout << GREEN << "Обновление_элементов" << RESET << std::endl;
32     map.update(3,
33         std::make_shared<pavel::AtanSegment>(pavel::AtanSegment(pavel::Point{1, 1},
34             pavel::Point{10, 10}, 5)));
35     for (auto it = map.begin(); !it.end(); ++it) {
36         std::cout << it.key() << ":_ " << *it.value() << std::endl;
37     }
38
39     std::cout << GREEN << "Удаление_элементов" << RESET << std::endl;
40     map.remove(2);
41
42     for (auto it = map.begin(); !it.end(); ++it) {
43         std::cout << it.key() << ":_ " << *it.value() << std::endl;
44     }
45
46     std::cout << GREEN << "Исключения" << RESET << std::endl;
47     try{
48         map.remove(2);
49     } catch (pavel::Exception& ex) {
50         std::cout << "Поймано_исключение:_ " << ex << std::endl;
51     }
52     try{
53         auto a = map.at(2);
54     } catch (pavel::Exception& ex) {
55         std::cout << "Поймано_исключение:_ " << ex << std::endl;
56     }
57 }
```

```
53     try{
54         map.create(3, std::make_shared<pavel::Pentagram>(pavel::Pentagram()));
55     } catch (pavel::Exception& ex) {
56         std::cout << "Поймано_исключение:_" << ex << std::endl;
57     }
58
59 }
```


ПРИЛОЖЕНИЕ X

Код exception.h

```
1  # pragma once
2
3  namespace pavel {
4      class Exception {
5      public:
6          friend std::ostream &operator<<(std::ostream &os, const Exception &ex);
7          virtual ~Exception() = default;
8
9      protected:
10         virtual void print(std::ostream &o) const = 0;
11     };
12
13     inline std::ostream &operator<<(std::ostream &os, const Exception &ex) {
14         ex.print(os);
15         return os;
16     }
17
18     template <typename Key>
19     class ElementNotFoundException: public Exception {
20     public:
21         explicit ElementNotFoundException(Key key) : key(key) {}
22
23     protected:
24         void print(std::ostream &o) const override {
25             o << "ElementNotFoundException_{Key:_" << key << "}";
26         }
27
28     private:
29         Key key;
30     };
31
32     template <typename Key, typename Value>
33     class ElementAlreadyExistsException: public Exception {
34     public:
35         ElementAlreadyExistsException(Key key, const Value &element) : key(key),
36             value(element) {}
37
38     protected:
39         void print(std::ostream &o) const override {
40             o << "ElementAlreadyExistsException_{Key:_" << key << ",_Value:" << value
41                 << "}";
42         }
43
44     private:
45         Key key;
46         Value value;
47     };
48 }
```