1. Тема и цель лабораторной работы

- **Тема**: «Шаблоны классов. Работа с исключениями. Разработка однонаправленного списка» (Вариант № 7).
- **Цель**:

    1. Освоить создание собственных **шаблонных** классов (templates) в C++.
    2. Научиться корректно обрабатывать **исключения** при работе с динамическими структурами данных.
    3. Реализовать **однонаправленный список** (linked list) без использования стандартных контейнеров (STL).
    4. Продемонстрировать работу списка с пользовательским типом данных — рациональные числа из ЛР № 1 (при этом класс **Rational** также сделать шаблонным).

Таким образом, лабораторная работа направлена на закрепление навыков:

- использования механизма **шаблонов** (templates),
- организации кода **по модулям** (файлы .h + .inl),
- управления **динамической памятью**,
- и обработки **исключительных ситуаций**.

2. Задание

1. **Создать** шаблонный класс SinglyLinkedList<T> без использования контейнеров STL.
2. **Реализовать** методы:
    - append(const T&) — добавление элемента в конец списка,
    - prepend(const T&) — добавление элемента в начало списка,
    - insertAt(size_t index, const T&) — вставка по индексу,
    - removeAt(size_t index) — удаление по индексу с возвратом удалённого значения,
    - getAt(size_t index) const — доступ к элементу по индексу,
    - getSize() const и isEmpty() const.

3. **Обработать** исключения: выбрасывать std::out_of_range, std::underflow_error и т.д. в граничных ситуациях (удаление из пустого списка, индекс вне диапазона).

4. **Разделить код** на модули: заголовочные файлы (и .inl при желании), где объявляются классы и их реализации.

5. **Продемонстрировать** использование второго модуля — шаблонного класса Rational<T> (из ЛР № 1, где реализованы операции +, -, *, /, сравнения, редукция дробей). Показать корректную работу списка с этим типом.

3. Теоретическая часть

3.1 Что такое шаблоны (Templates) в C++

- **Шаблоны** позволяют писать обобщённый код, не зависящий от конкретного типа, который будет подставлен при использовании.
- **Компилятор** на этапе трансляции генерирует «конкретные» версии кода для тех типов, которые реально использует программа (например, SinglyLinkedList<int>, SinglyLinkedList<Rational<int>>).
- **Преимущества**:
    1. Нет необходимости писать разные классы для int, double, Rational<int> и т.д.
    2. Снижается вероятность дублирования кода и связанных с этим ошибок.
    3. Обеспечивается безопасность типов (компилятор всё проверяет на этапе компиляции).

3.2 Однонаправленный связный список

- **Суть**: Набор узлов (Node), каждый хранит данные (data) и указатель на следующий узел (next).
- **Операции**:
    - Добавление элемента в начало (prepend) и конец (append),
    - Вставка/удаление по индексу,
    - Доступ к элементу (линейный обход),
    - Проверка пустоты, получение размера (количества узлов).

- **Плюсы**: эффективное добавление/удаление на произвольных позициях — не нужно «сдвигать» все последующие элементы, как в массиве.
- **Минусы**: нет быстрых случайных обращений (нужно итерироваться по списку от начала до позиции index).

3.3 Исключения (Exceptions) в C++

- Позволяют «выбрасывать» (throw) ошибку и «ловить» (catch) её в другом месте, не теряя контекст.
- **Стандартные исключения**:
    - std::out_of_range — используют при выходе за пределы списка (если index >= size).
    - std::underflow_error — когда операция невозможна при данных условиях (удаление из пустого списка).
    - std::invalid_argument — некорректный аргумент функции (например, нулевой знаменатель в Rational).

4. Структура программы (модули)

1. rational.h / rational.inl
    - rational.h: объявление шаблонного класса Rational<T> (рациональные числа).
        - Определяем поля numerator, denominator типа T, конструкторы, прототипы арифметических операций и сравнений.
        - В самом конце делаем #include "rational.inl", чтобы подключить реализации.
    - rational.inl: реализация (определения) методов Rational<T>:
        - Используем template<typename T> перед каждой функцией.
        - Приведение к редуцированной форме (через НОД), операции +, -, *, /, сравнения <, >, == и т.д.
2. singlylinkedlist.h / singlylinkedlist.inl

- singlylinkedlist.h: объявление шаблонного класса SinglyLinkedList<T> и вложенного Node<T>.
    - Содержит поля head, tail (указатели на Node<T>), size_t size — текущее число элементов.
    - Описываем методы append, prepend, insertAt, removeAt, getAt, getSize, isEmpty.
    - В конце файла #include "singlylinkedlist.inl" — чтобы подключить реализации методов.
- singlylinkedlist.inl: реализация всех методов класса SinglyLinkedList<T>.
    - Каждая функция с template<typename T>.
    - В методах при добавлении узла создаём Node<T>* newNode = new Node<T>(value, ...).
    - Проверяем граничные условия, выбрасываем исключения std::out_of_range или std::underflow_error там, где нужно.

3. main.cpp

- Подключаем заголовки:

```
#include "singlylinkedlist.h"
#include "rational.h"
```

- Создаём объекты:
    - SinglyLinkedList<int> intList;
        - Применяем методы append, removeAt и т.д.
    - SinglyLinkedList<Rational<int>> ratList;
        - Добавляем рациональные числа, проверяем корректность работы.
- Ловим исключения std::exception (или более конкретные) и выводим сообщения об ошибках.

Таким образом, шаблонный код **автоматически** инстанцируется компилятором для нужных типов (int, Rational<int>, и т.д.), без ручной прописки template class ... в .cpp.

5. Листинг кода

rational.h

```
#ifndef RATIONAL_H
#define RATIONAL_H

#include <iostream>
#include <stdexcept>
#include <cmath> // std::abs

/**
 * @brief Шаблонный класс для рациональных чисел
 * @tparam T Целочисленный тип (int, long long и т.д.)
 */
template<typename T>
class Rational {
private:
    T numerator;   ///< Числитель
    T denominator; ///< Знаменатель

    void reduce(); ///< Приведение к редуцированной форме (деление на НОД)

public:
    // Конструкторы
    Rational();                  // 0/1 по умолчанию
    Rational(T n, T d);          // с параметрами

    // Вывод на экран
    void print() const;

    // Арифметические операции
    Rational operator+(const Rational& other) const;
    Rational operator-(const Rational& other) const;
    Rational operator*(const Rational& other) const;
    Rational operator/(const Rational& other) const;

    // Операции сравнения
    bool operator==(const Rational& other) const;
    bool operator!=(const Rational& other) const;
    bool operator<(const Rational& other)  const;
    bool operator>(const Rational& other)  const;
    bool operator<=(const Rational& other) const;
    bool operator>=(const Rational& other) const;
};

// ===== Подключаем реализацию из файла .inl =====
#include "rational.inl"

#endif // RATIONAL_H
```

rational.inl

```
#pragma once

// Вспомогательная функция для вычисления НОД:
template<typename T>
inline T gcd_template(T a, T b) {
    while (b != 0) {
        T temp = b;
        b = a % b;
        a = temp;
    }
    return a;
}

// ==== Определения всех методов шаблонного класса Rational<T> ====

template<typename T>
Rational<T>::Rational() : numerator(0), denominator(1) {}

template<typename T>
Rational<T>::Rational(T n, T d) : numerator(n), denominator(d) {
    if (d == 0) {
        throw std::invalid_argument("Denominator cannot be zero");
    }
    reduce();
}

template<typename T>
void Rational<T>::reduce() {
    T divisor = gcd_template(std::abs(numerator), std::abs(denominator));
    numerator   /= divisor;
    denominator /= divisor;

    // Если знаменатель < 0, «переносим» знак к числителю
    if (denominator < 0) {
        numerator   = -numerator;
        denominator = -denominator;
    }
}

template<typename T>
void Rational<T>::print() const {
    std::cout << numerator << "/" << denominator << "\n";
}

// +
template<typename T>
Rational<T> Rational<T>::operator+(const Rational& other) const {
    T newNum = numerator   * other.denominator + other.numerator   *
denominator;
    T newDen = denominator * other.denominator;
    return Rational<T>(newNum, newDen);
}

// -
```

```
template<typename T>
Rational<T> Rational<T>::operator-(const Rational& other) const {
    T newNum = numerator   * other.denominator - other.numerator   *
denominator;
    T newDen = denominator * other.denominator;
    return Rational<T>(newNum, newDen);
}

// *
template<typename T>
Rational<T> Rational<T>::operator*(const Rational& other) const {
    T newNum = numerator   * other.numerator;
    T newDen = denominator * other.denominator;
    return Rational<T>(newNum, newDen);
}

// /
template<typename T>
Rational<T> Rational<T>::operator/(const Rational& other) const {
    if (other.numerator == 0) {
        throw std::invalid_argument("Division by zero");
    }
    T newNum = numerator   * other.denominator;
    T newDen = denominator * other.numerator;
    return Rational<T>(newNum, newDen);
}

// ==
template<typename T>
bool Rational<T>::operator==(const Rational& other) const {
    return (numerator == other.numerator && denominator == other.denominator);
}

// !=
template<typename T>
bool Rational<T>::operator!=(const Rational& other) const {
    return !(*this == other);
}

// <
template<typename T>
bool Rational<T>::operator<(const Rational& other) const {
    return (numerator * other.denominator < other.numerator * denominator);
}

// >
template<typename T>
bool Rational<T>::operator>(const Rational& other) const {
    return (numerator * other.denominator > other.numerator * denominator);
}

// <=
template<typename T>
bool Rational<T>::operator<=(const Rational& other) const {
    return !(*this > other);
}
```

```
// >=
template<typename T>
bool Rational<T>::operator>=(const Rational& other) const {
    return !(*this < other);
}
```

singlylinkedlist.h

```
#ifndef SINGLYLINKEDLIST_H
#define SINGLYLINKEDLIST_H

#include <cstddef>      // size_t
#include <stdexcept>    // для исключений std::out_of_range,
std::underflow_error

/**
 * @brief Узел однонаправленного списка
 * @tparam U Тип данных, хранящихся в узле
 */
template<typename U>
class Node {
public:
    U data;
    Node* next;

    Node(const U& value, Node* nextNode = nullptr)
        : data(value), next(nextNode)
    {}
};

/**
 * @brief Шаблонный класс однонаправленного списка
 * @tparam T Тип элементов списка
 */
template<typename T>
class SinglyLinkedList {
private:
    Node<T>* head;  ///< Указатель на первый узел
    Node<T>* tail;  ///< Указатель на последний узел
    size_t size;    ///< Текущее число элементов

public:
    // Конструктор и деструктор
    SinglyLinkedList();
    ~SinglyLinkedList();

    // Методы добавления
    void append(const T& value);
    void prepend(const T& value);

    // Вставка и удаление по индексу
    void insertAt(size_t index, const T& value);
    T removeAt(size_t index);

    // Доступ к элементу
```

```
    T getAt(size_t index) const;

    // Служебные методы
    bool isEmpty() const { return size == 0; }
    size_t getSize() const { return size; }
};

// ===== Подключаем реализацию (inl) =====
#include "singlylinkedlist.inl"

#endif // SINGLYLINKEDLIST_H
```

singlylinkedlist.inl

```
#pragma once

// ==== Реализация методов шаблонного класса SinglyLinkedList<T> ====

template<typename T>
SinglyLinkedList<T>::SinglyLinkedList()
    : head(nullptr), tail(nullptr), size(0)
{ }

template<typename T>
SinglyLinkedList<T>::~SinglyLinkedList() {
    Node<T>* current = head;
    while (current) {
        Node<T>* temp = current;
        current = current->next;
        delete temp;
    }
}

template<typename T>
void SinglyLinkedList<T>::append(const T& value) {
    Node<T>* newNode = new Node<T>(value);
    if (!head) {
        head = tail = newNode;
    } else {
        tail->next = newNode;
        tail = newNode;
    }
    ++size;
}

template<typename T>
void SinglyLinkedList<T>::prepend(const T& value) {
    Node<T>* newNode = new Node<T>(value, head);
    head = newNode;
    if (!tail) {
        tail = head;
    }
    ++size;
}

template<typename T>
```

```
void SinglyLinkedList<T>::insertAt(size_t index, const T& value) {
    if (index > size) {
        throw std::out_of_range("Index out of range");
    }
    if (index == 0) {
        prepend(value);
        return;
    }
    if (index == size) {
        append(value);
        return;
    }

    Node<T>* current = head;
    for (size_t i = 0; i < index - 1; ++i) {
        current = current->next;
    }
    Node<T>* newNode = new Node<T>(value, current->next);
    current->next = newNode;
    ++size;
}

template<typename T>
T SinglyLinkedList<T>::removeAt(size_t index) {
    if (isEmpty()) {
        throw std::underflow_error("Cannot remove from an empty list");
    }
    if (index >= size) {
        throw std::out_of_range("Index out of range");
    }

    Node<T>* current = head;
    T value;

    if (index == 0) {
        value = current->data;
        head = head->next;
        delete current;
        if (!head) {
            tail = nullptr;
        }
    } else {
        for (size_t i = 0; i < index - 1; ++i) {
            current = current->next;
        }
        Node<T>* temp = current->next;
        value = temp->data;
        current->next = temp->next;
        if (!current->next) {
            tail = current;
        }
        delete temp;
    }
    --size;
    return value;
}
```

```
template<typename T>
T SinglyLinkedList<T>::getAt(size_t index) const {
    if (index >= size) {
        throw std::out_of_range("Index out of range");
    }
    Node<T>* current = head;
    for (size_t i = 0; i < index; ++i) {
        current = current->next;
    }
    return current->data;
}
```

singlylinkedlist.inl

```
#pragma once

// ==== Реализация методов шаблонного класса SinglyLinkedList<T> ====

template<typename T>
SinglyLinkedList<T>::SinglyLinkedList()
    : head(nullptr), tail(nullptr), size(0)
{ }

template<typename T>
SinglyLinkedList<T>::~SinglyLinkedList() {
    Node<T>* current = head;
    while (current) {
        Node<T>* temp = current;
        current = current->next;
        delete temp;
    }
}

template<typename T>
void SinglyLinkedList<T>::append(const T& value) {
    Node<T>* newNode = new Node<T>(value);
    if (!head) {
        head = tail = newNode;
    } else {
        tail->next = newNode;
        tail = newNode;
    }
    ++size;
}

template<typename T>
void SinglyLinkedList<T>::prepend(const T& value) {
    Node<T>* newNode = new Node<T>(value, head);
    head = newNode;
    if (!tail) {
        tail = head;
    }
    ++size;
}
```

```
template<typename T>
void SinglyLinkedList<T>::insertAt(size_t index, const T& value) {
    if (index > size) {
        throw std::out_of_range("Index out of range");
    }
    if (index == 0) {
        prepend(value);
        return;
    }
    if (index == size) {
        append(value);
        return;
    }

    Node<T>* current = head;
    for (size_t i = 0; i < index - 1; ++i) {
        current = current->next;
    }
    Node<T>* newNode = new Node<T>(value, current->next);
    current->next = newNode;
    ++size;
}

template<typename T>
T SinglyLinkedList<T>::removeAt(size_t index) {
    if (isEmpty()) {
        throw std::underflow_error("Cannot remove from an empty list");
    }
    if (index >= size) {
        throw std::out_of_range("Index out of range");
    }

    Node<T>* current = head;
    T value;

    if (index == 0) {
        value = current->data;
        head = head->next;
        delete current;
        if (!head) {
            tail = nullptr;
        }
    } else {
        for (size_t i = 0; i < index - 1; ++i) {
            current = current->next;
        }
        Node<T>* temp = current->next;
        value = temp->data;
        current->next = temp->next;
        if (!current->next) {
            tail = current;
        }
        delete temp;
    }
    --size;
    return value;
```

```
}

template<typename T>
T SinglyLinkedList<T>::getAt(size_t index) const {
    if (index >= size) {
        throw std::out_of_range("Index out of range");
    }
    Node<T>* current = head;
    for (size_t i = 0; i < index; ++i) {
        current = current->next;
    }
    return current->data;
}
```

main.cpp

```
#include <iostream>
#include "singlylinkedlist.h"
#include "rational.h"

int main() {
    try {
        // Пример: список целых чисел
        SinglyLinkedList<int> intList;
        intList.append(10);
        intList.append(20);
        intList.prepend(5);       // [5, 10, 20]
        intList.insertAt(1, 15);  // [5, 15, 10, 20]

        std::cout << "intList elements:\n";
        for (size_t i = 0; i < intList.getSize(); ++i) {
            std::cout << intList.getAt(i) << " ";
        }
        std::cout << "\n";

        int removedInt = intList.removeAt(1); // удаляем элемент с индексом 1
(15)
        std::cout << "Removed element: " << removedInt << "\n\n";

        // Пример: список Rational<int>
        SinglyLinkedList<Rational<int>> ratList;
        ratList.append(Rational<int>(1, 2));  // 1/2
        ratList.append(Rational<int>(3, 4));  // 3/4
        ratList.prepend(Rational<int>(5, 6)); // [5/6, 1/2, 3/4]

        // Вставим 7/8 на позицию 1 => [5/6, 7/8, 1/2, 3/4]
        ratList.insertAt(1, Rational<int>(7, 8));

        std::cout << "ratList elements:\n";
        for (size_t i = 0; i < ratList.getSize(); ++i) {
            ratList.getAt(i).print();
        }

        // Удалим элемент с индексом 2 (где сейчас 1/2)
        Rational<int> removedRat = ratList.removeAt(2);
        std::cout << "Removed (Rational<int>): ";
```

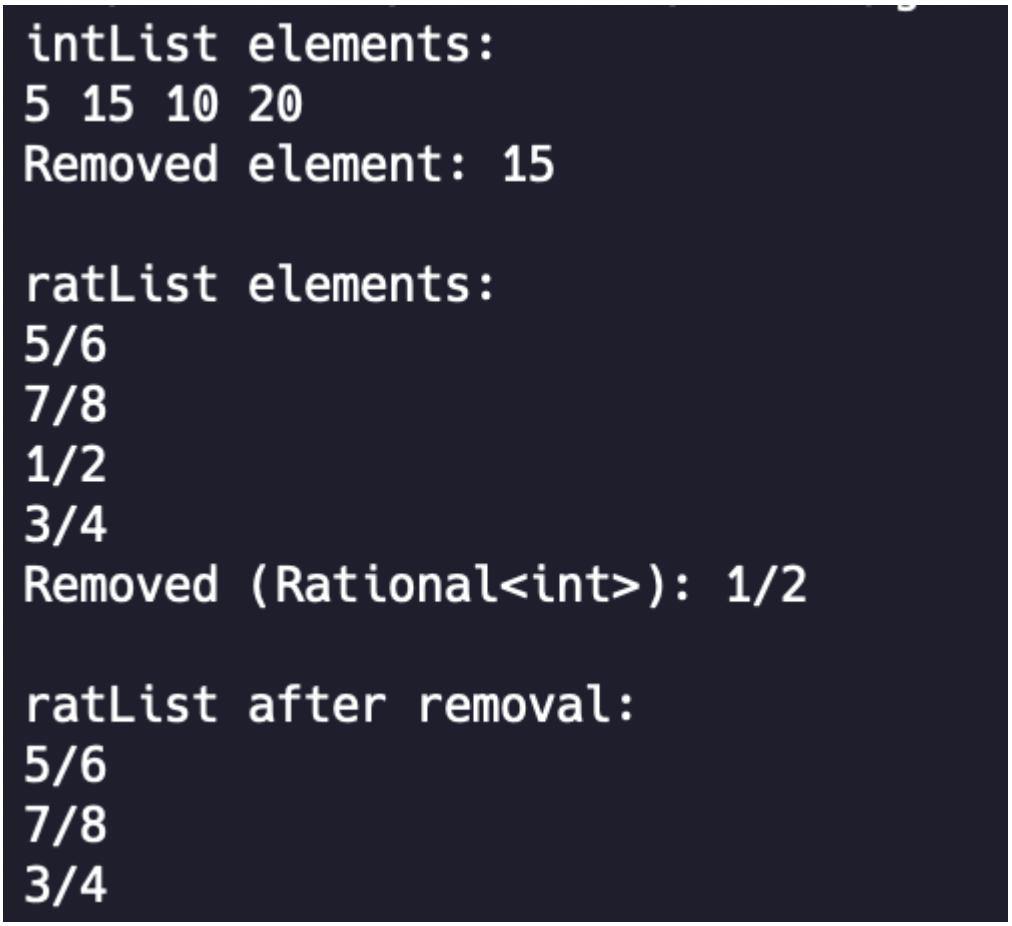
```
        removedRat.print();
        std::cout << "\n";

        // Выведем элементы после удаления
        std::cout << "ratList after removal:\n";
        for (size_t i = 0; i < ratList.getSize(); ++i) {
            ratList.getAt(i).print();
        }

    } catch (const std::exception& e) {
        std::cerr << "Error: " << e.what() << "\n";
    }

    return 0;
}
```

6. Тестирование и результаты



6.1 Список int

1. append(10), append(20) даёт список [10, 20].
2. prepend(5) → [5, 10, 20].
3. insertAt(1, 15) → [5, 15, 10, 20].

4. removeAt(1) удаляет 15, остаётся [5, 10, 20].

5. Если вызвать removeAt(10), программа выбросит std::out_of_range, так как 10 >= size.

6.2 Список Rational<int>

1. append(Rational<int>(1,2)), append(Rational<int>(3,4)) → [1/2, 3/4].

2. prepend(Rational<int>(5,6)) → [5/6, 1/2, 3/4].

3. insertAt(1, Rational<int>(7,8)) → [5/6, 7/8, 1/2, 3/4].

4. removeAt(2) → удаляем 1/2, остаётся [5/6, 7/8, 3/4].

5. Аналогично при removeAt(10) или удалении из пустого выбрасываются соответствующие исключения.

6.3 Итог

- Все базовые операции списка работают корректно.
- Исключения обрабатываются в блоках try-catch и не вызывают краха программы.
- Утечек памяти нет (при желании можно проверить Valgrind или аналогичные утилиты).

7. Выводы

1. **Шаблонный класс** однонаправленного списка (SinglyLinkedList<T>) успешно реализован без контейнеров STL.

2. Методы **добавления**, **удаления**, **вставки** и **доступа** к элементам функционируют корректно, протестированы на int и Rational<int>.

3. Код **разделён** на несколько модулей (заголовочные + .inl) — что повышает удобство сопровождения.

4. **Исключения** (std::out_of_range, std::underflow_error, std::invalid_argument) обеспечивают устойчивость программы в ошибочных сценариях.

5. Rational<int> интегрирован в список без каких-либо дополнительных сложностей, подтверждая универсальность шаблонного решения.

Таким образом, **цель** лабораторной работы — освоение шаблонов, исключений и динамических структур данных — **достигнута**.

8. Приложения

1. **Исходный код**:
   - rational.h / rational.inl (объявление и реализация Rational<T>).
   - singlylinkedlist.h / singlylinkedlist.inl (объявление и реализация SinglyLinkedList<T>).
   - main.cpp (демонстрация работы).
2. **Скриншоты** вывода программы при запуске