

# Программная инженерия

Московский Физико-Технический Институт

Автор курса: к.т.н. Иван Сергеевич Макаров

Контакты: [Telegram](#) или [i.s.m.mipt@yandex.ru](mailto:i.s.m.mipt@yandex.ru)

# Оглавление

01	Общее введение и обзор технологий . . . . .	3
02	Структурное программирование . . . . .	4
03	Объектно-ориентированное программирование . . . . .	5
04	Обобщенное программирование . . . . .	6
05	Паттерны и технологии проектирования . . . . .	7
06	Организация проектов и библиотек . . . . .	8
07	Обработка ошибок и исключений . . . . .	9
08	Особенности математических вычислений . . . . .	10
09	Низкоуровневое управление памятью . . . . .	11
10	Коллекции объектов и контейнеры . . . . .	12
11	Итераторы и алгоритмы на диапазонах . . . . .	13
12	Кодирование символов и парсинг текстов . . . . .	14
13	Потоки ввода-вывода и сериализация . . . . .	15
14	Параллельное программирование . . . . .	16
15	Компьютерные сети и сетевые технологии . . . . .	17
16	Встраивание технологий других языков . . . . .	18

# 01 Общее введение и обзор технологий

2 или 3 лекции общей продолжительностью до 8 академических часов; 1 задача для самостоятельной работы.

## Программа

---

C++. Определение. Эволюция. Стандарты. Применения. Парадигмы программирования. Декларативное, функциональное, императивное, процедурное, структурное, объектно-ориентированное, обобщенное, параллельное и событийно-ориентированное программирование. Ядро языка. Стандартная библиотека шаблонов. STL. [Boost](#). Дополнительные библиотеки. Инструменты разработчика. Интегрированные среды разработки. Редакторы кода. Компиляторы. Отладчики. Профилировщики. Системы автоматизации сборки. Системы контроля версий. Системы управления проектами. Важные персоны. Внешние ресурсы. Операционные системы. [Windows](#). [Visual Studio](#). [MSVC](#). Решения и проекты. Файлы исходного кода. Конфигурации. Debug и release. x86 и x64. Сборка. Ошибки и предупреждения. Linux. [Ubuntu](#). Терминал. [GCC](#). [Visual Studio Code](#). Расширения. Свойства. Стили кодирования. Форматирование. Именованное. [snake\\_case](#), [camelCase](#). Венгерская нотация. Стили кодирования STL, Boost и Google. Комментарии. Документирование. [Doxygen](#). Hello, world! Функция main. Консоль. [Git](#). [GitHub](#). [SmartGit](#). Репозитории. Команды. clone, commit, push, pull. Откаты изменений. discard, revert, reset. Ветки. Мастер. merge, rebase. Логи. Конфликты. Индекс. Continuous integration. CI. Continuous deployment. CD.

## Материалы

---

- [01.01.introduction](#)
- [01.02.introduction.function.main](#)
- [01.03.introduction.standard](#)
- [01.04.project.tool.git](#)

## Литература

---

- S. Dewhurst, C++ Gotchas, разделы 1, 11, 12
- P. Gottschling, Discovering Modern C++, разделы 1.1, 4.1
- R. Grimm, C++20 Get the Details, разделы 1, 2
- N. Josuttis, The C++ Standard Library, 2-ое издание, раздел 2.1
- S. Meyers, Effective C++, 3-е издание, разделы 1, 53-55
- S. Meyers, Effective STL, разделы 48-50, B
- S. Meyers, More Effective C++, раздел 35
- B. Stroustrup, A Tour of C++, 2-ое издание, разделы 1.2, 8, 16
- B. Stroustrup, The C++ Programming Language, 4-ое издание, разделы 1.2, 1.4, 44
- B. Stroustrup, The Design and Evolution of C++, разделы 1-9
- H. Sutter, C++ Coding Standards, разделы 0-4
- H. Sutter, Exceptional C++, 2 книги, раздел 3.6

# 02 Структурное программирование

2 или 3 лекции общей продолжительностью до 8 академических часов; 14 задач для самостоятельной работы.

## Программа

Объявления и определения. Правило одного определения. ODR. Объекты. Переменные. Типы. Фундаментальные типы. Арифметические типы. Интегральные типы. `bool`, `char`, `short`, `int`, `long`, `float`, `double`. `long long`, `long double`. Размеры в байтах. `sizeof`. Двоичные форматы представления чисел. Проблемы переполнения. Одинарная и двойная точность. Дополнительный код. `signed`, `unsigned`. Проблемы переносимости. Литералы. Логические, символьные, целочисленные литералы и литералы с плавающей точкой. `true`, `false`. Суффиксы литералов. Значения. Инициализация. Неопределенное поведение. Инициализация по умолчанию, значением, копированием, списком. Унифицированная инициализация. Вывод типов. `auto`. Преобразования. Временные объекты. Явные и неявные преобразования. Сужающие и расширяющие преобразования. Целочисленные преобразования. Преобразования в старом стиле. `static_cast`. Магические числа. Константы. `const`. Особая память. `volatile`. Псевдонимы типов. `using`, `typedef`. `std::size_t`. Атрибуты. `[[maybe_unused]]`.

Операторы. Арность. Нульарные, унарные, бинарные и тернарные операторы. Приоритеты операторов. Круглые скобки. Логические операторы. Альтернативные представления. `or`, `and`, `not`. Вычисления по короткой схеме. Арифметические операторы. Операторы сравнения. Префиксные и постфиксные операторы инкремента и декремента. Порядок вычисления операндов. Побочные эффекты. Неспецифицированное поведение. Цепочки операторов. Ассоциативность. Оператор присваивания. Оператор запятая. Выражения. Поток управления. Условия. Ветвления. `if`, `else`. Тернарный оператор. `switch`, `case`, `default`. `[[fallthrough]]`. Оптимизации. `[[likely]]`, `[[unlikely]]`. Повторения. `for`, `while`, `do`. Прыжки. `continue`, `break`, `goto`. Метки. Инструкции.

Адресация памяти. Указатели. Операторы взятия адреса объектов и разыменования указателей. Нулевые указатели. `nullptr`. `std::nullptr_t`. Константные указатели. Указатели на константы. Массивы. Статические массивы. Агрегатная инициализация. Индексация. Размеры массивов. `std::size`. Арифметика указателей. Связь указателей и массивов. `std::swap`. Динамические массивы. `new`, `new[]`, `delete`, `delete[]`. Контейнеры. `std::vector`. Цикл `for` на основе диапазонов. Lvalue ссылки. Константные ссылки. `std::reference_wrapper`.

Функции. Области видимости функций. Объявления и определения. Forward объявления. Тела функций. Пред- и постусловия. Параметры и аргументы. Порядок вычисления аргументов. Аргументы по умолчанию. Передача аргументов по значению, указателю и ссылке. Последовательности и представления. `std::span`. Статические и динамические размеры. Возврат результатов. `return`. `[[nodiscard]]`. `void`. Завершающие типы возврата. `auto`. Встраивание функций. `inline`. Подходящие моменты для встраивания кода. Встраивание на этапе разработки, компиляции, компоновки, установки и выполнения программ. Оптимизация, управляемая профилированием. Защищенное встраивание. Рекурсия. Возврат висячих указателей и ссылок. Локальные переменные. Статические переменные. `static`. Перегрузка функций. Сигнатуры функций. Разрешение перегрузки. Бинарный поиск. `std::midpoint`. Лексикографический порядок. Комбинированная сортировка слиянием и вставками.

## Материалы

- `02.01.statement.expression.variable.type`
- `02.02.statement.expression.operator`
- `02.03.statement.selection`
- `02.04.statement.iteration.jump`
- `02.05.pointer`
- `02.06.pointer.array`
- `02.07.pointer.array.new.delete`
- `02.08.container.vector`
- `02.09.reference.lvalue`
- `02.10.function`
- `02.11.algorithm.binary.search`
- `02.12.algorithm.lexicographic.order`
- `02.13.algorithm.insertion.merge.sorting`

## Литература

- M. Bancila, Modern C++ Programming Cookbook, страницы 1-17, 212-219, 316-319, 496-502, 510-516
- M. Bancila, The Modern C++ Challenge, раздел 1
- S. Dewhurst, C++ Gotchas, разделы 2, 4-7, 9, 13-18, 20, 21, 31, 32, 40, 41, 44, 48, 60, 66
- J. Galowicz, C++17 STL Cookbook, страницы 15-21
- P. Gottschling, Discovering Modern C++, разделы 1.2-1.5, 1.8, C.2, C.3
- R. Grimm, C++20 Get the Details, разделы 4.8, 5.2, 5.4
- N. Josuttis, The C++ Standard Library, 2-ое издание, разделы 2.2, 5.5
- S. Meyers, Effective C++, 3-е издание, разделы 16, 20, 21, 26, 27, 30
- S. Meyers, Effective Modern C++, разделы 2.1, 3.1-3.3, 8.1
- S. Meyers, More Effective C++, разделы 1, 2, 16, 23
- B. Stroustrup, A Tour of C++, 2-ое издание, разделы 1, 3.6, 13.3
- B. Stroustrup, The C++ Programming Language, 4-ое издание, разделы 6, 7, 9, 10.3-10.5, 11.1, 11.2, 11.5, 12.1-12.4
- H. Sutter, C++ Coding Standards, разделы 5-9, 15, 17-20, 25, 31, 77, 91, 95, 99
- H. Sutter, Exceptional C++, 2 книги, разделы 1.6, 1.16, 7.1, 10.1, 10.5, 10.9
- H. Sutter, Exceptional C++ Style, разделы 24, 25, 28

# 03 Объектно-ориентированное программирование

4 или 5 лекций общей продолжительностью до 16 академических часов; 8 задач для самостоятельной работы.

## Программа

Объектно-ориентированное программирование. Пользовательские типы данных. Структуры. `struct`. Данные-члены. Обычные старые данные. POD. Экземпляры. Инициализация по умолчанию. Агрегатные типы данных. Агрегатная инициализация. Назначенная инициализация. Массивы структур. Доступ к данным-членам. Операторы доступа точка и стрелочка. Константные структуры. Передача структур по ссылке. Возврат структур.

Классы. `class`. Области видимости классов. Инкапсуляция. Спецификаторы доступа. `public`, `private`. Интерфейсы и реализации. Функции-члены. Инварианты. Внутренние и внешние определения функций-членов. Константные и неконстантные функции-члены. `const`. Побитовая и логическая константность. `mutable`. Кэширование данных. Геттеры и сеттеры. Конструкторы. Конструкторы по умолчанию. Неявные конструкторы по умолчанию. Пользовательские конструкторы. Делегирующие конструкторы. Списки инициализации. Порядок инициализации данных-членов. Деструкторы. Вложенные псевдонимы и типы. Статические члены. `static`. Друзья классов. `friend`. Ограничение доступа к приватным членам. Паттерн Attorney-Client. Идиома PassKey.

Типы отношений. Композиция, агрегация, ассоциация и зависимость. Наследование. Иерархии классов. Базовые и производные классы. Порядок работы конструкторов и деструкторов. Защищенные члены. `protected`. Открытое, защищенное и закрытое наследование. Наследование интерфейсов. Является разновидностью. Наследование реализаций. Реализован посредством. Вызов унаследованных функций. Соккрытие. Изменение спецификаторов доступа. Множественное наследование. Проблемы бриллианта. Виртуальное наследование. Полиморфизм. Луковица. Срезка объектов. Повышение. Виртуальные функции. `virtual`. Замещение. Дополнительные спецификаторы. Проверка сигнатур. `override`. Запрет наследования или переопределения. `final`. Виртуальные деструкторы. Раннее и позднее связывание. Виртуальные указатели. Виртуальные таблицы. Ковариантные типы возврата. Абстракция. Чисто виртуальные функции. Абстрактные базовые классы. Интерфейсные классы. Пустые классы. Использование общих адресов. `[[no_unique_address]]`. Особенности компилятора MSVC. Сжатые пары. Оптимизации пустых базовых классов. EBO. Определение типов на этапе выполнения. RTTI. Понижение. `dynamic_cast`. Проверки на этапе выполнения. Анализ типов. `decltype`, `decltype(auto)`. Строковые названия. `typeid`. Проблемы ссылок. `Boost.TypeIndex`. `std::any`, `std::make_any`, `std::any_cast`.

Копирование и семантика перемещения. Эквивалентность и независимость копий и оригиналов. Категории выражений. История. Lvalue. Rvalue. Возможность взятия адреса. Идентифицируемость. Перемещаемость. Rvalue и временные объекты. Pvalue. Glvalue. Xvalue. Rvalue ссылки. Разрешение перегрузки. Ссылочные квалификаторы. Специальные функции-члены. Копирующие и перемещающие конструкторы и операторы присваивания. Глубокое и поверхностное копирование. Самоприсваивание. Скрытые указатели на экземпляры. `this`. Цепочки вызова функций-членов. Функции обмена. Копирование с обменом. Идиома CaS. Обеспечение свойства перемещаемости. `std::move`. Состояния объектов после перемещения. Правила генерации компиляторами специальных функций-членов. Правила нуля, трех, четырех и пяти. Реализации по умолчанию. Оптимизации кода компиляторами. Устранение избыточного копирования. Оптимизации возвращаемых значений. RVO и NRVO.

Перегрузка операторов. Явные и неявные преобразования. Явные и неявные конструкторы и операторы преобразования типов. `explicit`. Перегрузка операторов в качестве функций-членов, свободных функций и друзей класса. Перегрузка операторов ввода и вывода. Перегрузка префиксных и постфиксных операторов инкремента и декремента. Перегрузка операторов сравнения. Инфиксные и функциональные форматы вызова операторов. Дробная арифметика. `Boost.Rational`. Виртуальные операторы вывода в иерархиях классов. Трехстороннее сравнение. Оператор космический корабль. Переписывание выражений. Сильное, слабое и частичное упорядочение. `std::strong_ordering`, `std::weak_ordering`, `std::partial_ordering`. Лексикографические сравнения. Оптимизации операторов. Дублирование парных операторов. Устранение константности. `const_cast`.

## Материалы

- `03.01.class.struct`
- `03.02.class`
- `03.03.class.friend`
- `03.04.pattern.attorney.client.passkey`
- `03.05.class.association`
- `03.06.class.inheritance`
- `03.07.class.inheritance.multiple`
- `03.08.class.inheritance.multiple.diamond`
- `03.09.class.polymorphism`
- `03.10.class.polymorphism.vptr.vtbl`
- `03.11.class.polymorphism.type.covariant`
- `03.12.class.polymorphism.type.identification`
- `03.13.class.optimization`
- `03.14.expression.classification`
- `03.15.reference.lvalue.rvalue`
- `03.16.reference.lvalue.rvalue.function.overload`
- `03.17.implementation.container.vector`
- `03.18.class.operator.overload`
- `03.19.class.operator.overload.output`
- `03.20.class.operator.overload.spaceship`
- `03.21.class.operator.overload.optimization`

## Литература

- A. Alexandrescu, Modern C++ Design, разделы 2.3, 2.8
- M. Bancila, Modern C++ Programming Cookbook, страницы 17-22, 32-36, 44-49, 299-303, 529-545, 567-571
- M. Bancila, The Modern C++ Challenge, разделы 2.15, 2.16
- S. Dewhurst, C++ Gotchas, разделы 10, 19, 22, 23, 30, 33, 35-39, 42, 45-47, 49-54, 56-59, 69-71, 73-87, 89-99
- J. Galowicz, C++17 STL Cookbook, страницы 349-352
- P. Gottschling, Discovering Modern C++, разделы 2, 6.1-6.5? C.1
- R. Grimm, C++20 Get the Details, разделы 4.4, 4.8
- S. Meyers, Effective C++, 3-е издание, разделы 3-5, 7, 9-12, 18, 19, 21-25, 28, 32-40
- S. Meyers, Effective Modern C++, разделы 1.3, 1.4, 3.6, 3.11, 5
- S. Meyers, More Effective C++, разделы 2-7, 17-22, 24, 31, 33
- F. Píkus, Hands-On Design Patterns with C++, разделы 1, 5
- B. Schaeling, The Boost C++ Libraries, 2-ое издание, раздел 28
- B. Stroustrup, A Tour of C++, 2-ое издание, разделы 2.2, 2.3, 4, 5
- B. Stroustrup, The C++ Programming Language, 4-ое издание, разделы 6.4, 7.7, 8.2, 13.6, 16-22
- H. Sutter, C++ Coding Standards, разделы 11, 26-30, 32-38, 40-42, 44, 47-50, 52, 54-56, 90, 93, 94, 100
- H. Sutter, Exceptional C++, 2 книги, разделы 2.19, 3.1-3.3, 3.5, 3.8-3.11, 6.5, 9.1, 9.2, 10.2-10.4, 10.7, 10.8
- H. Sutter, Exceptional C++ Style, разделы 14-17, 19, 33
- D. Vandevoorde, C++ Templates, 2-ое издание, разделы 21.1, B, C



# 04 Обобщенное программирование

4 или 5 лекций общей продолжительностью до 16 академических часов; 16 задач для самостоятельной работы.

## Программа

Обоценное программирование. Шаблоны. `template`. Двухэтапная трансляция шаблонов. Модель включения. Параметры и аргументы шаблонов. Шаблоны функций. Типовые параметры шаблонов. `typename`. Аргументы шаблонов по умолчанию. Сокращенные шаблоны функций. Специализации шаблонов функций. Полные специализации. Перегрузка шаблонов функций. Нетиповые параметры шаблонов. Шаблоны для встроенных статических массивов. Вариативные шаблоны. Пакеты параметров вариативных шаблонов. Многоточие. Рекурсивное инстанцирование шаблонов. Распаковка пакетов аргументов вариативных шаблонов. Выражения свертки. Вариативный обход дерева на выражении свертки. Указатели на члены классов. Оператор двоеточие-звездочка. Оператор стрелочка-звездочка. Вариативные выражения. Шаблоны классов. Правила инстанцирования функций-членов шаблонов классов. Шаблонизированные сущности. Шаблонные параметры шаблонов. Вложенные шаблоны. Вывод аргументов шаблонов классов. Специализации шаблонов классов. Полные и частичные специализации. Друзья шаблонов классов. Шаблоны поддержки. Шаблоны псевдонимов и переменных.

Метапрограммирование шаблонов. Полнота по Тьюрингу. Генеративное программирование. Оптимизации исходного кода. Правило как есть. Вычисления на этапе компиляции. Константные выражения. Моментальные функции. `constexpr`, `constexpr`, `constexpr`. Ветвления на этапе компиляции. `if constexpr`. Гибридное метапрограммирование. Дробная арифметика на этапе компиляции. Определение единиц измерения результата.

Фундаментальные свойства. Модифицируемость, константность и перемещаемость. Lvalue и rvalue ссылки. Семантика перемещения в шаблонах. Идеальная передача. Пробрасывающие ссылки. `std::forward`. Обобщенные вызовы. `std::invoke`. Шаблоны специальных функций-членов классов. Ошибки подстановки, не являющиеся ошибками компиляции. Идиома SFINAE. `std::enable_if`. Передача аргументов по значению, lvalue, rvalue и пробрасывающим ссылкам. Вывод типов. Низводящие преобразования. Правила свертывания ссылок.

Шаблоны свойств. Детали реализаций. Шаблоны классов. Полные и частичные специализации. Стандартные базовые классы для констант. `std::integral_constant`, `std::false_type`, `std::true_type`. Статические константы и псевдонимы. Шаблоны псевдонимов и переменных. Свойства типов. Отношения типов. Преобразования типов. Условные шаблоны свойств. Невычисляемые контексты. `std::declval`, `decltype`. Проверка утверждений на этапе компиляции. `static_assert`. Политики. Концепты. `concept`. Ограничения. Ограничения типов аргументов шаблонов. Ограничения типов заполнителей. Предикаты на этапе компиляции. Требования. `requires`. Использование требований в объявлениях. Именованные требования. Стандартные концепты.

Вариативные гетерогенные списки типов. Вариативные гетерогенные коллекции. Пары. `std::pair`. Обобщение пар. Кортежи. `std::tuple`. Создание экземпляров кортежей. `std::make_tuple`. Классы-помощники для кортежей. `std::tuple_size`, `std::tuple_element`. Получение доступа к элементам кортежей на основе индексов и типов. `std::get`. Распаковка кортежей. `std::tie`. Заполнители. `std::ignore`. Игнорирование возвращаемых результатов `nodiscard` функций. Конкатенация кортежей. `std::tuple_cat`. Структурированные привязки.

## Материалы

- `04.01.template.function`
- `04.02.template.function.variadic`
- `04.03.template.function.variadic.tree.traversal`
- `04.04.template.class`
- `04.05.template.class.friend`
- `04.06.template.alias.variable`
- `04.07.template.metaprogramming`
- `04.08.template.metaprogramming constexpr`
- `04.09.template.metaprogramming constexpr.hybrid`
- `04.10.reference.lvalue.rvalue.forwarding`
- `04.11.pattern.sfinae`
- `04.12.template.type.inference`
- `04.13.implementation.template.type.trait`
- `04.14.implementation.template.type.concept`
- `04.15.implementation.utility.tlist`
- `04.16.implementation.utility.tuple`
- `04.17.utility.tuple`

## Литература

- A. Alexandrescu, Modern C++ Design, разделы 2.2, 2.4-2.7, 2.10, 2.11, 3
- M. Bancila, Modern C++ Programming Cookbook, страницы 57-67, 163-174, 199-212, 323-335, 502-510, 657-668
- M. Bancila, The Modern C++ Challenge, разделы 2.18, 2.19
- S. Dewhurst, C++ Gotchas, раздел 88
- J. Galowicz, C++17 STL Cookbook, страницы 11-15, 21-28, 31-39, 338-349
- P. Gottschling, Discovering Modern C++, разделы 3.1-3.7, 3.10, 4.3, 4.4
- R. Grimm, C++20 Get the Details, раздел 4.1, 4.5, 4.6
- N. Josuttis, The C++ Standard Library, 2-ое издание, разделы 5.1, 5.4, 5.6
- S. Meyers, Effective C++, 3-е издание, разделы 41-46, 48
- S. Meyers, Effective Modern C++, разделы 1.1, 1.2, 3.3, 3.9, 5
- F. Pikus, Hands-On Design Patterns with C++, разделы 7, 12, страницы 23-45
- B. Stroustrup, A Tour of C++, 2-ое издание, разделы 6, 7.2-7.5, 13.4, 13.9
- B. Stroustrup, The C++ Programming Language, 4-ое издание, разделы 10.4, 24.2-24.4, 25, 26, 28.2-28.7, 35.3-35.5
- H. Sutter, C++ Coding Standards, разделы 65-67
- H. Sutter, Exceptional C++, 2 книги, разделы 1.11, 1.12, 1.17, 10.6
- H. Sutter, Exceptional C++ Style, разделы 7-11, 35
- D. Vandevoorde, C++ Templates, 2-ое издание, разделы 1-17, 19, 20, 23-25, 27, 28, D, E

# 05 Паттерны и технологии проектирования

2 или 3 лекции общей продолжительностью до 8 академических часов; 24 задачи для самостоятельной работы.

## Программа

---

Объектно-ориентированное программирование. Принципы SOLID. Принцип единственности ответственности. Принцип открытости-закрытости. Принцип подстановки Барбары Лисков. Принцип разделения интерфейсов. Принцип инверсии зависимостей. Паттерны проектирования банды четырех. Порождающие паттерны. Builder. Factory. Factory method. Abstract factory. Prototype. Концепция виртуальных конструкторов для клонирования. Антипаттерны. Singleton. Умолчательные и удаленные реализации специальных функций-членов классов. `default`, `delete`. Monostate. Noncopyable. `Boost.Noncopyable`. Структурные паттерны. Adapter. Bridge. Composite. Decorator. Поведенческие паттерны. Программирование на основе интерфейсов. Memento. Observer. State. Конечные автоматы. Циклические зависимости. Forward объявления классов. Strategy. Template method. Невиртуальные интерфейсы. Идиома NVI. Проблемы хрупкости базовых классов. Дополнительные паттерны.

Обобщенное программирование. Стандартная библиотека шаблонов. STL. Динамический полиморфизм. Виртуальные функции. Статический полиморфизм. Шаблоны функций. Преимущества и недостатки. Странно рекурсивный шаблон проектирования. CRTP. Перевернутое наследование. Устранение виртуальности. Расширение функциональности классов. Подсчет экземпляров классов. Закрытое наследование и друзья классов. Трюк Бартон-Нэкмана. `Boost.Operators`. Миксины. Вариативные базовые классы. Шаблонные параметры шаблонов.

## Материалы

---

- `05.01.pattern.builder`
- `05.02.pattern.factory`
- `05.03.pattern.prototype`
- `05.04.pattern.singleton.monostate.noncopyable`
- `05.05.pattern.adapter`
- `05.06.pattern.bridge`
- `05.07.pattern.composite`
- `05.08.pattern.decorator`
- `05.09.pattern.memento`
- `05.10.pattern.observer`
- `05.11.pattern.state`
- `05.12.pattern.strategy`
- `05.13.pattern.template.method`
- `05.14.template.polymorphism`
- `05.15.pattern.crtp`
- `05.16.pattern.crtp.observer`
- `05.17.pattern.crtp.operator.overload`
- `05.18.pattern.crtp.mixin`
- `05.19.pattern.crtp.mixin.constructor`
- `05.20.pattern.crtp.mixin.inheritance.variadic`

## Литература

---

- A. Alexandrescu, Modern C++ Design, разделы 1, 6, 8, 9
- M. Bancila, Modern C++ Programming Cookbook, страницы 143-149, 545-550, 557-567, 571-581
- M. Bancila, The Modern C++ Challenge, раздел 8
- S. Dewhurst, C++ Gotchas, разделы 72, 76, 90, 92
- E. Gamma, Design Patterns, разделы 1, 3-6
- P. Gottschling, Discovering Modern C++, раздел 6.6
- R. Grimm, C++20 Get the Details, раздел 4.3
- S. Meyers, Effective C++, 3-е издание, разделы 6, 35
- S. Meyers, Effective Modern C++, разделы 3.5, 4.5
- S. Meyers, Effective STL, раздел 7
- S. Meyers, More Effective C++, разделы 25, 26,
- F. Pikus, Hands-On Design Patterns with C++, разделы 8, 9, 13-15, 17
- B. Schaeling, The Boost C++ Libraries, 2-ое издание, раздел 72
- B. Stroustrup, The C++ Programming Language, 4-ое издание, раздел 27
- H. Sutter, C++ Coding Standards, разделы 39, 50, 53, 64
- H. Sutter, Exceptional C++, 2 книги, раздел 3.4
- H. Sutter, Exceptional C++ Style, разделы 5, 18
- D. Vandevoorde, C++ Templates, 2-ое издание, разделы 18, 21, 5.8

# 06 Организация проектов и библиотек

2 или 3 лекции общей продолжительностью до 8 академических часов; 3 задачи для самостоятельной работы.

## Программа

---

Многофайловые программы. Файлы исходного кода. Заголовочные файлы. Объявления и определения. ODR. Видимость идентификаторов. Этапы сборки. 9 фаз трансляции. Препроцессинг. Препроцессоры. Генерация кода. Директивы препроцессоров. `include`. Директории поиска. Транзитивные включения. Макроопределения. Объектные и функциональные макросы. `define`, `undef`. Многострочные макросы. Проблемы макросов. Побочные эффекты. Предопределенные макросы. `DEBUG`, `NDEBUG`. Стандартные предопределенные макросы и идентификаторы. `FILE`, `LINE`, `DATE`, `TIME`. `func. std::source_location`. Условная компиляция. `if`, `defined`, `else`, `endif`. Защиты от повторного включения. `pragma once`. Отключение предупреждений. `pragma warning`. Триграфы. Юниты трансляции. Компиляция. Компиляторы. Частичная перекомпиляция. Уменьшение зависимостей на этапе компиляции. Указатели на реализации. Идиома PImpl. Накладные расходы. Предкомпилированные заголовки. Объектные файлы. Файлы библиотек. Компоновка. Компоновщики. Внешнее и внутреннее связывание. Ошибки компоновщиков. Многократно определенные внешние символы. Неразрешенные внешние символы. Глобальные переменные и константы. `extern`. Анонимные пространства имен. Определения классов и шаблонов в заголовочных файлах. Исключения из ODR. Пространства имен. `namespace`. Конфликты имен. Области видимости пространств имен. Глобальное пространство имен. Оператор разрешения области видимости. Квалифицированные имена. Поиск, зависящий от аргументов. Поиск Кёнига. Аддитивность пространств имен. Вложенные пространства имен. Псевдонимы пространств имен. Встроенные пространства имен. Поддержка версий. Встроенные переменные. `inline`. Стандартное пространство имен. Using объявления. `using`. Системы автоматизации сборки. `CMake`. `CMakeLists`. Проекты. Требования к стандартам языков. Переменные. Списки. Циклы. Пакеты. Директории включаемых файлов и библиотек. Целевые объекты. Исполняемые файлы. Библиотеки. Свойства. Флаги компиляторов и компоновщиков. Определения препроцессоров. Подготовка сборки. Shell скрипты. `Bash`. Пакетные менеджеры. Модули. Объявления модулей. `module`. Фрагменты модулей. Глобальные фрагменты модулей. Приватные фрагменты модулей. Интерфейсы и реализации модулей. Экспорт объявлений и определений. Одиночный и групповой экспорт. `export`. Импортирование модулей. `import`. Классы и шаблоны в модулях. Подмодули и разделы. Модули стандартной библиотеки шаблонов. `STD`. `Boost`. Сборка и использование. Статические библиотеки. Интерфейсы в заголовочных файлах. Реализации в библиотечных файлах. Динамические библиотеки. Явное и неявное связывание библиотек. Экспорт и импорт символов и псевдонимов. `extern "C"`. `Boost.DLL`. Обновление динамических библиотек на этапе выполнения.

## Материалы

---

- `06.01.project.translation`
- `06.02.project.header`
- `06.03.project.source`
- `06.04.project.source.main`
- `06.05.pattern.pimpl`
- `06.06.project.header.precompiled`
- `06.07.project.source.precompiled`
- `06.08.project.tool.cmake`
- `06.09.project.module`
- `06.10.project.module.source`
- `06.11.project.module.submodule`
- `06.12.project.library`
- `06.13.project.library.static`
- `06.14.project.library.shared`

## Литература

---

- M. Bancila, Modern C++ Programming Cookbook, страницы 49-57, 191-199, 550-557, 644-657
- S. Dewhurst, C++ Gotchas, разделы 3, 8, 25-28, 55
- J. Galowicz, C++17 STL Cookbook, страницы 28-31
- P. Gottschling, Discovering Modern C++, разделы 1.9, 7.2, 7.3
- R. Grimm, C++20 Get the Details, раздел 4.2
- N. Josuttis, The C++ Standard Library, 2-ое издание, разделы 4.1, 4.2
- S. Meyers, Effective C++, 3-е издание, разделы 2, 4, 31
- B. Stroustrup, A Tour of C++, 2-ое издание, разделы 3.2-3.4
- B. Stroustrup, The C++ Programming Language, 4-ое издание, разделы 12.6, 14, 15
- H. Sutter, C++ Coding Standards, разделы 10, 16, 21-24, 43, 57-59, 61, 63
- H. Sutter, Exceptional C++, 2 книги, разделы 4, 5, 8.3, 8.4, 10.10, 10.11
- H. Sutter, Exceptional C++ Style, разделы 31, 32
- D. Vandevoorde, C++ Templates, 2-ое издание, разделы 9.3, 13.2, A



# 07 Обработка ошибок и исключений

2 или 3 лекции общей продолжительностью до 8 академических часов; 11 задач для самостоятельной работы.

## Программа

Обработка ошибок. Инварианты. Пред- и постусловия. Ошибки на этапе выполнения. Повторения. Проверки утверждений на этапе выполнения. `assert`. Проверки утверждений на этапе компиляции. `static_assert`. Нормальные завершения работы. `std::exit`, `std::atexit`. Ненормальные завершения работы. `std::abort`. Коды возврата. Глобальные переменные. Дополнительные аргументы. Несовместимость кодов возврата. Объединения. `union`. Анонимные объединения. Варианты. `std::variant`. Опционалы. `std::optional`. `Boost.Tribool`.

Исключения. Стандартная иерархия исключений. `std::exception`. `std::system_error`. Совместимость с кодами возврата. `std::error_code`. Пользовательские исключения. Наследование и виртуальные функции. Выброс исключений. `throw`. Повторный выброс исключений. `[[noreturn]]`. Ловушки для исключений. `try`. Ловушки на уровне функций. Обработчики исключений. `catch`. Обработчики всех исключений. Указатели для исключений. `std::exception_ptr`. Текущее исключение. `std::exception_ptr`, `std::current_exception`, `std::rethrow_exception`, `std::make_exception_ptr`. Порядок расположения обработчиков исключений. Небуферизованный поток символьного вывода для сообщений об ошибках. `std::cerr`. Особенности обработчики исключений в конструкторах и деструкторах. Отсутствие исключений. `noexcept`. Невычисляемые контексты. `std::declval`. Пробрасывание исключений. Эффективность исключений. Преобразование исключений. Сворачивание стека. Принцип нулевых накладных расходов. Необработанные исключения. `std::terminate`. Гарантии безопасности исключений. Отсутствие гарантий. Базовая гарантия. Строгая гарантия. Гарантия отсутствия исключений. Проектирование безопасного относительно исключений интерфейса для класса стека.

Отладка. Обнаружение и воспроизведение проблем. Стратегии отладки. Комментирование. Вывод. Логгирование. Трассировка. `Boost.Log`. Модульное тестирование. Разработка модульных тестов. `Boost.Test`. Деревья тестов. Наборы тестов. Отдельные тесты. Тесты на основе данных. Шаблонизированные тесты. Параметризованные тесты. Адаптеры тестов. Интегрированный отладчик Microsoft Visual Studio. Режим debug. Пошаговое выполнение. Точки останова. Отслеживание значений переменных. Стек вызовов функций. `GDB`. Подготовка debug-символов. Команды. `run`, `break`, `explore`, `next`, `continue`, `backtrace`. Средства очистки. Санитайзеры. Профилирование. Интегрированный профилировщик Microsoft Visual Studio. Режим release. Загрузка процессора. Рефакторинг и оптимизации кода. Использование памяти. Утечки памяти. `Valgrind`. `Memcheck`. Инструменты Google. Замеры времени. `Google.Benchmark`. Форматы вывода. Статистическая стабильность результатов. Передача аргументов. Аппроксимация алгоритмической сложности. Предотвращение оптимизаций компиляторов. Обработка ошибок. Полезные макросы. Разработка модульных тестов. `Google.Test`. Отдельные тесты. Утверждения. Ожидания. Адаптеры тестов. Параметризованные тесты. Интеграционное тестирование системы.

## Материалы

- `07.01.error.assertion.termination`
- `07.02.class.union`
- `07.03.utility.variant.optional`
- `07.04.error.exception`
- `07.05.error.exception.stack.interface`
- `07.06.project.tool.boost.logging`
- `07.07.project.tool.boost.testing`
- `07.08.project.tool.debugger`
- `07.09.project.tool.profiler.cpu`
- `07.10.project.tool.profiler.memory`
- `07.11.project.tool.google.benchmark`
- `07.12.project.tool.google.testing`

## Литература

- A. Alexandrescu, Modern C++ Design, раздел 2.1
- M. Bancila, Modern C++ Programming Cookbook, раздел 11, страницы 303-311, 483-496
- S. Dewhurst, C++ Gotchas, разделы 64, 65
- J. Galowicz, C++17 STL Cookbook, страницы 333-338, 352-358
- P. Gottschling, Discovering Modern C++, разделы 1.6, B
- N. Josuttis, The C++ Standard Library, 2-ое издание, раздел 4.3
- S. Meyers, Effective C++, 3-е издание, разделы 8, 29
- S. Meyers, Effective Modern C++, раздел 3.8
- S. Meyers, More Effective C++, разделы 9-15
- B. Schaeling, The Boost C++ Libraries, 2-ое издание, разделы 27, 62
- B. Stroustrup, A Tour of C++, 2-ое издание, разделы 2.4, 3.5, 13.5
- B. Stroustrup, The C++ Programming Language, 4-ое издание, разделы 8.3, 13.1, 13.2, 13.4, 13.5, 30.4
- H. Sutter, C++ Coding Standards, разделы 14, 51, 62, 68-75, 97
- H. Sutter, Exceptional C++, 2 книги, разделы 2.1-2.5, 2.9, 2.11-2.15, 2.18
- H. Sutter, Exceptional C++ Style, разделы 6, 11-13, 36
- D. Vandevoorde, C++ Templates, 2-ое издание, раздел 26

# 08 Особенности математических вычислений

2 или 3 лекции общей продолжительностью до 8 академических часов; 8 задач для самостоятельной работы.

## Программа

Манипуляторы. `std::showbase`. `std::oct`, `std::dec`, `std::hex`, `std::boolalpha`. Двоичные, восьмеричные, десятичные и шестнадцатеричные литералы. Побитовые операторы. Арифметика битового сдвига. Целочисленные типы фиксированного размера. `std::int#_t`, `std::uint#_t`. Оперирование битами и байтами. Хранение битов и байтов. `std::bitset`. `std::byte`. `std::to_integer`. `std::as_bytes`. Endianess. Little и big endian. `std::endian`. Каламбуры типов. Реинтерпретирование битов. `std::bit_cast`. `reinterpret_cast`. Вопросы безопасности. Дополнительные функции. `std::bit_ceil`, `std::bit_floor`. Битовые поля. Двоичный код Грея. Кодирование и декодирование. Индийский алгоритм возведения в степень. Отслеживание переполнений. Перечисления. `enum`. Перечисления с областью видимости. Явные преобразования. Нижележащие типы. Перечисления без области видимости. Флаги состояний. Числа с плавающей точкой. Научная нотация. Точность. `std::scientific`, `std::defaultfloat`, `std::fixed`. `std::setprecision`. Форматирование вывода. `std::setw`, `std::right`, `std::left`, `std::setfill`. Максимумы, минимумы, бесконечность, NaN и отрицательный ноль. Стандарт IEEE-754. `std::numeric_limits`, `errno`. Сравнение числе с плавающей точкой. Константы эpsilon. Реализации и оптимизации Дональда Кнута. Расширенная точность чисел с плавающей точкой. `Boost.Multiprecision`. Сложные математические функции. `Boost.Math`. Комплексные числа. `std::complex`. Функции и операторы для комплексных чисел. Дискретное преобразование Фурье. DFT. Разложение сигналов. Генерация псевдослучайных чисел. Последовательности псевдослучайных чисел. Начальные значения. Источники энтропии. Недетерминированные генераторы. `std::random_device`. Генераторы случайных значений. Период, вероятность и производительность. 32-битные и 64-битные вихри Мерсенна Мацумото и Нишимуры. `std::mt19937`. Распределения случайных чисел. Равномерное, Бернулли, Пуассона, нормальное и выборочное распределение. `std::normal_distribution`. Генерация случайных чисел C. `std::srand`, `std::rand`. Методы Монте-Карло. Вычисление значения числа Пи. `std::uniform_real_distribution`. Управление временем. Библиотека chrono. `std::chrono`. Часы. Эпохи. Эпоха Unix. Такты. Системные часы. Монотонные часы. Другие часы. Моменты времени. Интервалы времени. Замеры времени. Хронометр. `Boost.Timer`. Полное время. Время процессора. Время в сегменте ядра. Время в пользовательском сегменте. Библиотека `datetime`. Календарные даты. Преобразования в моменты и интервалы времени. Арифметика календаря. Дни недели. Часовые пояса. Стандартные литералы. `std::literals`. Пользовательские литералы. Реализация операторов для литералов.

## Материалы

- `08.01.number.integer`
- `08.02.algorithm.binary.gray.code`
- `08.03.algorithm.indian.exponentiation`
- `08.04.class.enumeration`
- `08.05.number.floating.point`
- `08.06.number.floating.point.multiprecision`
- `08.07.number.complex`
- `08.08.number.random.generation`
- `08.09.algorithm.monte.carlo`
- `08.10.algorithm.monte.carlo.simplex`
- `08.11.time.chrono`
- `08.12.time.chrono.calendar`
- `08.13.implementation.operator.literal`

## Литература

- M. Bancila, Modern C++ Programming Cookbook, страницы 28-32, 74-88, 225-232, 237-240, 277-295, 357-365
- M. Bancila, The Modern C++ Challenge, разделы 1.10, 1.13, 2.17, 2.22, 5
- J. Galowicz, C++17 STL Cookbook, страницы 223-232, 279-286, 322-333, 382-398
- P. Gottschling, Discovering Modern C++, разделы 4.2, 4.5, 4.7, 7.1
- R. Grimm, C++20 Get the Details, разделы 5.4, 5.5
- N. Josuttis, The C++ Standard Library, 2-ое издание, разделы 5.3, 5.5, 5.7, 12.5, 17, S.1, S.2
- S. Meyers, Effective Modern C++, раздел 3.4
- S. Meyers, More Effective C++, раздел 2
- B. Schaeling, The Boost C++ Libraries, 2-ое издание, разделы 26, 38
- B. Stroustrup, A Tour of C++, 2-ое издание, разделы 2.5, 13.4, 13.7, 14
- B. Stroustrup, The C++ Programming Language, 4-ое издание, разделы 6.2, 8.4, 35.2, 40.2-40.5, 40.7
- H. Sutter, C++ Coding Standards, раздел 92
- H. Sutter, Exceptional C++ Style, раздел 30

# 09 Низкоуровневое управление памятью

3 или 4 лекции общей продолжительностью до 12 академических часов; 20 задач для самостоятельной работы.

## Программа

Управление памятью. Сборщики мусора. Захват ресурса есть инициализация. Идиома RAII. Интеллектуальные указатели. Совместное владение. `std::shared_ptr`. Подсчет ссылок. Контрольные блоки. `std::make_shared`. Работа со встроенными статическими массивами. Политики освобождения. `std::default_delete`. Циклические зависимости. `std::weak_ptr`. Сильные и слабые ссылки. Эксклюзивное владение. `std::unique_ptr`. `std::make_unique`. Производители и потребители данных. `std::enable_shared_from_this`. Итераторы. Категории итераторов. Однонаправленные и двунаправленные итераторы. Итераторы произвольного доступа. Свойства и тэги итераторов. Обобщенные функции. `std::advance`, `std::next`, `std::prev`, `std::distance`, `std::iter_swap`. Адаптеры итераторов. Обратные итераторы. Facade. Фасады для итераторов. `Boost.Iterator`.

Процессы. Память. Виртуальное адресное пространство. Физическое адресное пространство. Трансляция адресов. Таблицы страниц. Блоки управления памятью. Буферы трансляции адресов. Ошибки трансляции адресов. Ядро операционной системы. Пространство ядра. Ошибка page fault. Свободное пространство. Стек. Ошибка stack overflow. Сегмент отображения в память. Куча. Диспетчер памяти. Сегмент данных. Инициализированные и неинициализированные статические объекты. Сегмент кода. Ошибка segmentation fault. Продолжительность хранения объектов. Время жизни автоматических, динамических, статических, временных и локальных для потоков объектов. Гранулярность доступа к памяти. Выравнивание данных. `alignof`, `alignas`. Обработка ошибок выделения памяти. `std::set_new_handler`. Запрет на выброс исключений. `std::nothrow`. Выделение неинициализированной памяти. `operator new`, `operator delete`. Размещающая версия оператора new. Явный вызов деструкторов. Перегрузка операторов new и delete. Аллокаторы. Стандартные аллокаторы. `std::allocator`. Свойства аллокаторов. `std::allocator_traits`. Фрагментация памяти. Пользовательские аллокаторы. Линейные аллокаторы. `std::align`, `std::max_align_t`, `std::align_val_t`. Arena, Stack, Chain и Block аллокаторы. Аллокации на стеке. Источники памяти. Полиморфные аллокаторы. `std::pmr`. `Boost.Pool`.

## Материалы

- `09.01.pointer.smart`
- `09.02.pointer.smart.shared.this`
- `09.03.implementation.pointer.smart.unique`
- `09.04.implementation.pointer.smart.shared`
- `09.05.iterator.classification`
- `09.06.implementation.iterator.forward.list`
- `09.07.implementation.iterator.forward.list.facade`
- `09.08.pattern.facade`
- `09.09.memory.address.space`
- `09.10.memory.address.translation`
- `09.11.memory.alignment`
- `09.12.memory.operator.new.handler`
- `09.13.memory.operator.new.placement`
- `09.14.implementation.utility.optional`
- `09.15.memory.allocator.standard`
- `09.16.memory.allocator`
- `09.17.memory.allocator.block`
- `09.18.implementation.allocator.arena`
- `09.19.implementation.allocator.stack`
- `09.20.implementation.allocator.chain`
- `09.21.implementation.allocator.block`
- `09.22.implementation.allocator.fixed`
- `09.23.implementation.allocator.arena.adaptor`
- `09.24.memory.allocator.polymorphism`

## Литература

- A. Alexandrescu, Modern C++ Design, разделы 4, 7
- M. Bancila, Modern C++ Programming Cookbook, страницы 22-28, 39-44, 261-270, 319-232, 516-529
- M. Bancila, The Modern C++ Challenge, раздел 2.21
- S. Dewhurst, C++ Gotchas, разделы 24, 29, 43, 61-63, 67, 68
- J. Galowicz, C++17 STL Cookbook, страницы 94-106, 109-116, 119-131, 358-382
- N. Josuttis, The C++ Standard Library, 2-ое издание, разделы 4.6, 5.2, 9, 19, S.3
- S. Meyers, Effective C++, 3-е издание, разделы 13-15, 17, 47, 49-52
- S. Meyers, Effective Modern C++, разделы 4.1-4.4
- S. Meyers, Effective STL, разделы 8, 10, 11, 26-28
- S. Meyers, More Effective C++, разделы 4, 8, 27-29
- F. Pikus, Hands-On Design Patterns with C++, разделы 3, 5, 6, 11, 16
- B. Schaeling, The Boost C++ Libraries, 2-ое издание, раздел 4
- B. Stroustrup, A Tour of C++, 2-ое издание, разделы 12.2, 12.3, 13.2, 13.6
- B. Stroustrup, The C++ Programming Language, 4-ое издание, разделы 33.2-33.4, 34.3-34.6
- H. Sutter, C++ Coding Standards, разделы 13, 45, 46, 60
- H. Sutter, Exceptional C++, 2 книги, разделы 2.6-2.8, 2.16, 2.17, 6, 9.3, 9.4
- H. Sutter, Exceptional C++ Style, разделы 20-23

# 10 Коллекции объектов и контейнеры

2 или 3 лекции общей продолжительностью до 8 академических часов; 8 задач для самостоятельной работы.

## Программа

Контейнеры. Семантика значений, указателей и ссылок. Безопасность относительно исключений. Порядок элементов. Последовательные контейнеры. Векторы. `std::vector`. Размер и емкость. Доступ к элементам. Свободные функции. `std::size`, `std::ssize`. Неконстантные итераторы. `std::begin`, `std::end`. Константные итераторы. `std::cbegin`, `std::cend`. Фиктивный элемент в конце. Копирование и перемещение коллекций. Итераторы для перемещения. `std::make_move_iterator`. Вставка и удаление элементов. Конструкторы. Конструирование на месте. Инициализаторы в фигурных скобках. `std::initializer_list`. Проблемы вывода типов. Сложность основных операций. Двусторонние очереди. `std::deque`. Статические массивы. `std::array`. Размещение на стеке. `std::to_array`. Двусвязные списки. `std::list`. Односвязные списки. `std::forward_list`. Определение среднего узла списков за один проход. Инвалидация итераторов. Proxy. Специализация вектора для логических значений. Разновидности прокси объектов. Интеллектуальные указатели. Отложенная загрузка. Многомерные массивы. Приоритет строк или столбцов. Размещение многомерных массивов в памяти. Линераризация многомерных массивов. `Boost.MultiArray`. Векторы, матрицы и тензоры. `Boost.uBLAS`. Численные массивы. `std::valarray`. Адаптеры контейнеров. Последним пришел - первым ушел. LIFO. Стек. `std::stack`. Первым пришел - первым ушел. FIFO. Очереди. `std::queue`. Очереди с приоритетами. `std::priority_queue`. Циклический буфер. `Boost.CircularBuffer`. Линеаризация циклического буфера. Сбалансированные бинарные деревья поиска. Красно-черные деревья. Черная высота. Множества. `std::set`, `std::multiset`. Строгое слабое упорядочение. Антисимметричность, транзитивность, иррефлексивность и транзитивность эквивалентности. Вставка, удаление и поиск элементов. Подсказки. Бинарный поиск. Сложность основных операций. Извлечение узлов. Ассоциативные массивы. Словари. `std::map`, `std::multimap`. Замена ключей. `std::pair`, `std::make_pair`. Неупорядоченные контейнеры. Хеш функции. `std::hash`. Комбинированные хеши. `Boost.ContainerHash`. Хеш таблицы. `std::unordered_#`. Объекты и слоты. Коэффициенты загруженности. Способы разрешения коллизий. Метод цепочек. Итераторы хеш таблиц. Метод открытой адресации. Рехеширование. Сложность основных операций в лучшем и худшем случаях. Контейнеры с множественными интерфейсами. `Boost.MultiIndex`. Биассоциативные массивы. `Boost.Bimap`. Flyweight. `Boost.Flyweight`.

## Материалы

- `10.01.container.vector.deque.array.list.memory`
- `10.02.container.vector.deque.array.list`
- `10.03.container.vector.deque.array.list.sorting`
- `10.04.pattern.proxy.vector`
- `10.05.container.multidimensional`
- `10.06.container.multidimensional.multiarray`
- `10.07.container.multidimensional.ublas`
- `10.08.container.multidimensional.valarray`
- `10.09.algorithm.longest.common.subsequence`
- `10.10.container.adaptor`
- `10.11.container.adaptor.stack`
- `10.12.container.circular.buffer.memory`
- `10.13.container.circular.buffer`
- `10.14.container.red.black.tree.memory`
- `10.15.container.red.black.tree`
- `10.16.implementation.function.hash`
- `10.17.container.hash.table.memory`
- `10.18.container.hash.table`
- `10.19.implementation.class.functor.hash.equal`
- `10.20.container.multiindex.bimap`
- `10.21.pattern.flyweight`

## Литература

- M. Bancila, Modern C++ Programming Cookbook, страницы 219-225, 232-237, 270-277, 295-299
- S. Dewhurst, C++ Gotchas, раздел 34
- J. Galowicz, C++17 STL Cookbook, страницы 19-21, 39-42, 47-70, 81-94, 210-223
- R. Grimm, C++20 Get the Details, раздел 5.3
- N. Josuttis, The C++ Standard Library, 2-ое издание, разделы 5.1, 7, 8, 12
- S. Meyers, Effective Modern C++, разделы 2.2, 3.1, 3.7, 8.2
- S. Meyers, Effective STL, разделы 1-5, 9, 13, 14, 16-25
- S. Meyers, More Effective C++, раздел 30
- B. Schaeling, The Boost C++ Libraries, 2-ое издание, разделы 12, 13, 16, 19, 66
- B. Stroustrup, A Tour of C++, 2-ое издание, разделы 11, 13.4
- B. Stroustrup, The C++ Programming Language, 4-ое издание, разделы 11.3, 13.4, 29, 31, 34.2
- H. Sutter, C++ Coding Standards, разделы 76, 78-83
- H. Sutter, Exceptional C++, 2 книги, разделы 1.4, 1.5, 1.13-1.15, 2.10
- H. Sutter, Exceptional C++ Style, разделы 1, 26, 27, 34



# 11 Итераторы и алгоритмы на диапазонах

2 или 3 лекции общей продолжительностью до 8 академических часов; 18 задач для самостоятельной работы.

## Программа

Типы функций. Указатели на функции. Использование функций в качестве аргументов. Шаблоны с идеальной передачей. Обобщенные вызовы. `std::invoke`. Вызываемые объекты. Внутренние состояния. Функции. Статические переменные. Глобальные переменные. Дополнительные аргументы. Функторы. Функциональные объекты. Данные-члены классов. Перегрузка оператора вызова. Предикаты. `std::less`, `std::greater`, `std::negate`, `std::plus`. Лямбда выражения. Замыкания. Списки захватов. Захваты с перемещением. Обобщенные захваты лямбда выражений. `mutable`. Стирание типов. `std::function`. Привязки. `std::bind`. Шаблонизированные лямбда-выражения. Захват указателей на экземпляры классов. Command. Visitor. Двойная диспетчеризация. Посетители на вариативных базовых классах и вариантах. `std::variant`, `std::visit`. Гетерогенные посетители. `std::any`. Вариативные последовательности. `std::integer_sequence`, `std::make_integer_sequence`.

Адаптеры итераторов. Итераторы вставки. `std::front_inserter`, `std::back_inserter`, `std::inserter`. Библиотека `algorithm`. Алгоритмы для пакетов. Алгоритмы поиска. Алгоритмы копирования, перемещения и обмена. Алгоритмы преобразования. Алгоритмы генерации. Алгоритмы удаления. Алгоритмы перемешивания. Алгоритмы для выборок. Алгоритмы упорядочения. Алгоритмы сортировки. Алгоритмы бинарного поиска. Алгоритмы слияния. Алгоритмы для множеств. Алгоритмы для кучи. Алгоритмы определения максимумов и минимумов. Алгоритмы лексикографических сравнений. Алгоритмы перестановки. Алгоритмы для неинициализированной памяти. Библиотека `numeric`. Численные алгоритмы. Цикл `for` на основе диапазонов. Структурированные привязки. Алгоритмы на диапазонах. Диапазоны. `std::ranges`. Представления. `std::views`. Проекции. Адаптеры и алгоритмы. Обслуживание графов. `Boost.Graph`. Списки смежности. Матрицы инцидентности. Вершины. Ребра. Направления. Свойства. Посетители. Обход в ширину. BFS. Обход в глубину. DFS. Веса ребер. Алгоритм Дийкстры поиска кратчайших путей. Утилита AT&T Graphviz для визуализации графов.

## Материалы

- `11.01.pointer.function`
- `11.02.class.functor`
- `11.03.class.functor.lambda.expression`
- `11.04.pattern.command`
- `11.05.pattern.visitor`
- `11.06.pattern.visitor.utility.variant`
- `11.07.pattern.visitor.utility.any`
- `11.08.implementation.utility.variant`
- `11.09.template.metaprogramming.cartesian.product`
- `11.10.algorithm.iterator.adaptor.inserter`
- `11.11.algorithm.standard`
- `11.12.algorithm.standard.range.view`
- `11.13.algorithm.graph`
- `11.14.algorithm.graph.example`
- `11.15.algorithm.graph.traversal.bfs`
- `11.16.algorithm.graph.traversal.dfs`
- `11.17.algorithm.graph.search.dijkstra`

## Литература

- A. Alexandrescu, Modern C++ Design, разделы 5, 10, 11
- M. Bancila, Modern C++ Programming Cookbook, страницы 36-39, 149-163, 174-191, 240-261, 311-316, 668-681
- M. Bancila, The Modern C++ Challenge, раздел 2.20
- J. Galowicz, C++17 STL Cookbook, раздел 4, страницы 19-21, 42-47, 106-109, 164-194, 199-210, 232-242, 246-251
- P. Gottschling, Discovering Modern C++, разделы 3.8, 3.9
- R. Grimm, C++20 Get the Details, разделы 4.7, 5.1, 5.3
- N. Josuttis, The C++ Standard Library, 2-ое издание, разделы 4.4, 9.4, 10, 11
- S. Meyers, Effective Modern C++, раздел 6
- S. Meyers, Effective STL, разделы 30-47
- F. Pikus, Hands-On Design Patterns with C++, раздел 18, страницы 45-51
- B. Schaeling, The Boost C++ Libraries, 2-ое издание, раздел 31
- J. Siek, The Boost Graph Library, разделы 1-16
- B. Stroustrup, A Tour of C++, 2-ое издание, разделы 6.3, 12.5-12.8, 13.8
- B. Stroustrup, The C++ Programming Language, 4-ое издание, разделы 11.4, 12.5, 20.6, 32, 33.5, 33.6, 40.6
- H. Sutter, C++ Coding Standards, разделы 84-89
- H. Sutter, Exceptional C++, 2 книги, разделы 1.7, 1.9, 1.10, 1.18
- H. Sutter, Exceptional C++ Style, раздел 4
- D. Vandevoorde, C++ Templates, 2-ое издание, разделы 11.1, 22



# 12 Кодирование символов и парсинг текстов

2 или 3 лекции общей продолжительностью до 8 академических часов; 20 задач для самостоятельной работы.

## Программа

---

Символы. `char`. Таблица ASCII. Знаковые и беззнаковые символьные типы. Специальные символы. Кодировки. Многобайтовые и широкие кодировки. 7-битная и 8-битная кодировки ASCII. ISO-Latin-1. Unicode. Универсальные наборы символов. UCS. Универсальные форматы преобразования. UTF. UTF-8, UTF-16, UTF-32. `char8_t`, `char16_t`, `char32_t`, `wchar_t`. Endianness. Big и little endian. `std::endian`. Знак порядка байтов. BOM. Проблемы кракозябр. Строки. `std::basic_string`, `std::char_traits`. Псевдонимы для строк. `std::string`, `std::u8string`, `std::u16string`, `std::u32string`, `std::wstring`. Ввод строк. `std::getline`. Пропуск пробельных символов. `std::ws`. Вывод строк в кавычках. `std::quoted`. Стандартные строковые литералы. Индексы и итераторы. `std::stoi`, `std::to_string`. С-строки. Массивы символов. Завершающий ноль-символ. Функции для С-строк. `std::strlen`. Нечувствительные к регистру строки. Оптимизация маленьких строк. SSO. Представления. `std::string_view`. Преимущества и опасности. Интернационализация. l18N. Локализация. L10N. Локали. `std::locale`, `setlocale`. Классическая локаль C. Подключение локалей к потокам ввода-вывода. Фацеты. `std::use_facet`. Фацеты для пунктуации и валют. `std::numpunct`, `std::moneypunct`. Фацеты для дат и времени. `std::time_put`, `std::time_get`. Преобразование кодировок между UTF. `Boost.Locale`.

Регулярные выражения. `std::regex`. Грамматика ECMA-script. Паттерны. Сырые строки. Совпадения с паттернами. `std::regex_match`. Поиск по паттернам. Контейнер совпадений. `std::regex_search`. Группы и подобразцы. `std::match_results`. Префиксы и суффиксы. Последовательный обход совпадений. Итераторы регулярных выражений. `std::regex_iterator`. Токены. `std::regex_token_iterator`. Замены по паттернам. `std::regex_replace`. Флаги регулярных выражений. `std::regex_constants`. Грамматики. Парсеры рекурсивного спуска. Калькулятор Бьерна Страуструпа. Инструкции, объявления переменных, выражения, термы и первичные элементы. Потоки и токены. Расширенная форма Бэкуса-Наура. EBNF. `Boost.Spirit`. Парсеры строк. Правила и последовательности. Атрибуты. Парсер для комплексных чисел. Парсер для римских чисел. Парсер для классов. Адаптеры для классов. `Boost.Fusion`. Калькулятор на абстрактных синтаксических деревьях. AST.

## Материалы

---

- `12.01.character.encoding`
- `12.02.character.encoding.unicode.utf`
- `12.03.character.string.view`
- `12.04.locale.facet`
- `12.05.locale.facet.utf.converter`
- `12.06.parser.regex.ecma.script`
- `12.07.parser.regex`
- `12.08.parser.grammar.arithmetic`
- `12.09.parser.grammar.arithmetic.calculator`
- `12.10.parser.spirit.number.integer`
- `12.11.parser.spirit.number.complex`
- `12.12.parser.spirit.number.romanus`
- `12.13.parser.spirit.fusion.class.structure`
- `12.14.parser.spirit.grammar.arithmetic.calculator`

## Литература

---

- M. Bancila, Modern C++ Programming Cookbook, страницы 67-74, 88-131, 351-357, 365-372
- M. Bancila, The Modern C++ Challenge, раздел 3
- J. Galowicz, C++17 STL Cookbook, страницы 74-81, 116-119, 194-199, 242-246, 251-273, 304-315
- R. Grimm, C++20 Get the Details, раздел 5.6
- N. Josuttis, The C++ Standard Library, 2-ое издание, разделы 13, 14, 16
- S. Meyers, Effective STL, разделы 15, A
- F. Pikus, Hands-On Design Patterns with C++, раздел 10
- B. Schaeling, The Boost C++ Libraries, 2-ое издание, разделы 5, 10, 11, 50
- B. Stroustrup, A Tour of C++, 2-ое издание, раздел 9
- B. Stroustrup, The C++ Programming Language, 4-ое издание, разделы 36, 37, 39
- H. Sutter, Exceptional C++, 2 книги, разделы 1.2, 1.3, 7.2-7.4, 8.1, 8.2
- H. Sutter, Exceptional C++ Style, разделы 37-40

# 13 Потоки ввода-вывода и сериализация

2 или 3 лекции общей продолжительностью до 8 академических часов; 13 задач для самостоятельной работы.

## Программа

---

Библиотека `iostream`. Иерархия классов потоков. `std::ios_base`. Состояния потоков. `good`, `eof`, `fail`, `bad`. Проверки ввода. Внедрение исключений. Флаги форматирования. Манипуляторы. `std::endl`. Пользовательские манипуляторы. Перегрузка операторов ввода и вывода. `std::basic_ios`. Специализации шаблонов классов потоков для двух символьных типов. Буферы потоков. `std::basic_streambuf`. Потоки ввода и вывода. `std::basic_istream`, `std::basic_ostream`, `std::basic_iostream`. Виртуальное наследование. Глобальные экземпляры классов потоков ввода и вывода. `std::cin`, `std::cout`, `std::cerr`, `std::clog`. Стандартные заголовочные файлы. Файловые потоки ввода и вывода. `std::fstream`. Режимы открытия файлов. `in`, `out`, `trunc`, `app`, `ate`, `binary`. Произвольный доступ в файлах. Строковые потоки ввода и вывода. `std::stringstream`. Итераторы буферов потоков ввода и вывода. `std::istreambuf_iterator`, `std::ostreambuf_iterator`. Окончание ввода. Символ конца ввода. EOF. Библиотека `cstdio`. `stdin`, `stdout`, `stderr`. `std::clearerr`. Синхронизация с `stdio`. Итераторы потоков ввода и вывода. `std::istream_iterator`, `std::ostream_iterator`. Библиотека `format`. `std::format`, `std::format_to`. Пользовательские формatters вывода. `std::formatter`.

Файловая система. Библиотека `filesystem`. `std::filesystem`. Пути. Компоненты путей. Абсолютные пути. Относительные пути. Косвенные пути. Канонические пути. Обработка путей. Директории. Атрибуты. Обход директорий. Команды `ls` и `dir`. Обработка директорий. Файлы. Символьные ссылки. Сериализация данных. Форматы данных. XML. JSON. Библиотека `nlohmann::json`. Генерация и парсинг JSON. Обработка конфигурационных файлов. Генерация отчетов в формате PDF. Библиотека `PDF-Writer`. Создание страниц. Вывод изображений. Масштабирование и позиционирование. PPI/DPI. Вывод текстов. Шрифты. Геометрические фигуры. Таблицы.

## Материалы

---

- [13.01.stream.class.inheritance](#)
- [13.02.stream.class](#)
- [13.03.stream.class.file](#)
- [13.04.stream.class.string](#)
- [13.05.stream.iterator.buffer.input.output](#)
- [13.06.algorithm.erase.comment](#)
- [13.07.algorithm.erase.comment.test](#)
- [13.08.stream.output.format](#)
- [13.09.filesystem.path](#)
- [13.10.filesystem.directory](#)
- [13.11.filesystem.directory.iterator](#)
- [13.12.serialization.json](#)
- [13.13.serialization.pdf](#)

## Литература

---

- M. Bancila, Modern C++ Programming Cookbook, страницы 131-143, 335-351, 372-399
- M. Bancila, The Modern C++ Challenge, разделы 3.23, 4, 9
- J. Galowicz, C++17 STL Cookbook, раздел 10, страницы 70-74, 273-279, 286-304, 315-322
- P. Gottschling, Discovering Modern C++, раздел 1.7
- N. Josuttis, The C++ Standard Library, 2-ое издание, раздел 15
- B. Kernigan, The C Programming Language, 3-е издание, задача 1.23
- S. Meyers, Effective STL, разделы 6, 29
- S. Meyers, More Effective C++, раздел 25
- B. Schaeling, The Boost C++ Libraries, 2-ое издание, раздел 25
- B. Stroustrup, A Tour of C++, 2-ое издание, разделы 10, 12.4
- B. Stroustrup, The C++ Programming Language, 4-ое издание, раздел 38
- H. Sutter, Exceptional C++, 2 книги, разделы 1.1, 1.8
- H. Sutter, Exceptional C++ Style, разделы 2, 3, 29

# 14 Параллельное программирование

4 или 5 лекций общей продолжительностью до 16 академических часов; 8 задач для самостоятельной работы.

## Программа

---

Параллелизм. Процессоры. Ядра. Исполнители. Истинный и мнимый параллелизм. Аппаратный параллелизм. Контекстное переключение задач. Разделение задач. Повышение производительности. Способы организации параллелизма. Процессы. Поток. Безопасность, сложность и скорость. Параллелизм на данных и на задачах. `std::thread`. Запуск потоков. Идентификация потоков. `std::this_thread`. Ожидание потоков. Освобождение ресурсов. Стеки потоков. Отсоединение потоков. Фоновые потоки-демоны. Передача аргументов функциям потоков. Передача владения потоками. `std::jthread`. Координированное прерывание потоков. Стоп-состояния потоков. `std::stop_source`. Потокбезопасные виды стоп-состояний. `std::stop_token`. Функции обратного вызова стоп-состояний. `std::stop_callback`. Ожидание одиночных событий. Будущие результаты. Разделяемые состояния. `std::future`, `std::shared_future`. Асинхронные задачи. `std::async`, `std::launch`. Режимы выполнения. Извлечение результатов. Перехват исключений. Упакованные задачи. `std::packaged_task`. Параллельные алгоритмы стандартной библиотеки шаблонов. Политики выполнения. `std::execution`. Последовательная политика. Параллельная политика. Неупорядоченная политика.

Совместное использование данных. Инварианты. Состояния гонки. Грязное чтение. Примитивы синхронизации. Мьютексы. Взаимные блокировки. `Boost.Process`.

## Материалы

---

- `14.01.concurrency.process.thread`
- `14.02.concurrency.thread`
- `14.03.concurrency.thread.reduce`
- `14.04.concurrency.thread.reduce.async`
- `14.05.concurrency.thread.reduce.packaged.task`
- `14.06.concurrency.algorithm.standard`

## Литература

---

- M. Bancila, Modern C++ Programming Cookbook, раздел 8, страницы 681-701
- J. Galowicz, C++17 STL Cookbook, раздел 9
- P. Gottschling, Discovering Modern C++, раздел 4.6
- R. Grimm, C++20 Get the Details, разделы 6, 7
- N. Josuttis, The C++ Standard Library, 2-ое издание, разделы 4.5, 18
- S. Meyers, Effective Modern C++, разделы 3.10, 7
- S. Meyers, Effective STL, раздел 12
- B. Schaeling, The Boost C++ Libraries, 2-ое издание, разделы 33, 46, 47
- B. Stroustrup, A Tour of C++, 2-ое издание, разделы 12.9, 15
- B. Stroustrup, The C++ Programming Language, 4-ое издание, разделы 41, 42
- H. Sutter, C++ Coding Standards, раздел 12
- H. Sutter, Exceptional C++, 2 книги, раздел 7.4
- A. Williams, C++ Concurrency in Action, 2-ое издание, разделы 1-11, A.8, B, C

# 15 Компьютерные сети и сетевые технологии

3 или 4 лекции общей продолжительностью до 12 академических часов; 0 задач для самостоятельной работы.

Программа \_\_\_\_\_

Материалы \_\_\_\_\_

•

Литература \_\_\_\_\_

- B. Schaeling, The Boost C++ Libraries, 2-ое издание, раздел 32

# 16 Встраивание технологий других языков

2 или 3 лекции общей продолжительностью до 8 академических часов; 1 задача для самостоятельной работы.

## Программа

---

Ассемблеры. Язык ассемблера Intel x86. Диалект Microsoft Macro Assembler. Память, регистры и дизассемблированный код. Стек. Соглашения о вызовах. `cdecl`, `pascal`, `stdcall`. Вызывающие и вызываемые. Порядок передачи аргументов функций. Возврат результатов. Очистка стека. Встраивание ассемблерного кода. `asm`. Регистры общего назначения. `eax`, `ebx`, `ecx`, `edx`. Регистры для индексов. `esi`, `edi`. Указатели для стека. `esp`. Указатели для фреймов. `ebp`. Инструкции по перемещению данных. `push`, `pop`, `mov`. Арифметические инструкции. `add`, `sub`, `inc`, `dec`. Инструкции потока управления. Прыжки. `jmp`. Метки. Сравнения. `cmp`. Вызовы. `call`. Адресация памяти. Процессорный модуль FPU, стек, регистры и инструкции для чисел с плавающей точкой.

Длинная арифметика. Способы хранения цифр. Перегрузка арифметических операторов. Быстрое произведение Карацубы. Прочие операции. Расширенные целые числа. `Boost.Multiprecision`. Встраивание Python. Подключение интерпретатора. Python C/C++ API. `Boost.Python`. Глобальный блокировщик интерпретатора. GIL. Потоки и процессы. Импорт функций. Вызов функций. Передача аргументов. Получение результатов. Обработка исключений. Инструменты Python. Пакет `math`. Вычисление факториалов. Пакет `matplotlib`. Визуализация.

## Материалы

---

- `16.01.embedding.assembler`
- `16.02.implementation.class.big.int`
- `16.03.number.integer.multiprecision`
- `16.04.embedding.python.caller`
- `16.05.embedding.python.script`

## Литература

---

- R. Hyde, The Art of Assembly Language, 2-ое издание, разделы 1-6