Е. В. Пышкин

ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ И МЕХАНИЗМЫ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

- *Объектная модель и ее развитие в современных языках программирования*
- *Иерархическое проектирование типов и программ*
- *Введение в обобщенное программирование*
- *Управляемые среды проектирования*
- *Основы компонентного программирования*
- *Демонстрационные программы, вопросы и упражнения для самостоятельной работы, примеры заданий практикума*

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

bhv

УДК 681.3.068(075.8)
ББК 32.973.26-018.1я73
П94

Пышкин Е. В.

П94 Основные концепции и механизмы объектно-ориентированного программирования. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 640 с.: ил.

ISBN 5-94157-554-8

Рассматривается понятие объектной модели и анализируются механизмы управления вычислительным процессом, лежащие в основе объектно-ориентированного подхода: классы и интерфейсы, динамическое связывание, обработка исключений, пространства имен. Подробно рассматривается конструирование обобщенных типов и библиотека ввода-вывода применительно к программированию на C++. Содержится информация об управляемом коде, свойствах, делегатах, событиях, специализированных атрибутах, отражении, основах компонентной архитектуры.

Размещенные на компакт-диске демонстрационные программы разработаны с использованием современных языков программирования: C++, Java, C#, Visual Basic.

Для студентов и преподавателей технических вузов

УДК 681.3.068(075.8)
ББК 32.973.26-018.1я73

Группа подготовки издания:

Главный редактор	*Екатерина Кондукова*
Зам. главного редактора	*Людмила Еремеевская*
Зав. редакцией	*Григорий Добин*
Редактор	*Леонид Мирошенков*
Компьютерная верстка	*Ольги Сергиенко*
Корректор	*Зинаида Дмитриева*
Дизайн обложки	*Игоря Цырульникова*
Зав. производством	*Николай Тверских*

РЕЦЕНЗЕНТЫ:
Жабко А. П., доктор физ.-мат. наук, проф., зав. каф. теории управления СПбГУ
Евдокимов В. Е., к. т. н., доцент каф. информационно-измерительных технологий СПбГПУ

Лицензия ИД № 02429 от 24.07.00. Подписано в печать 15.06.05.
Формат 70×100 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 51,6.
Тираж 3000 экз. Заказ №
"БХВ-Петербург", 194354, Санкт-Петербург, ул. Есенина, 5Б.

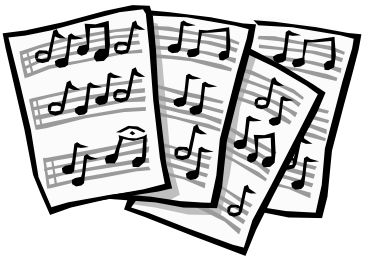
Санитарно-эпидемиологическое заключение на продукцию
№ 77.99.02.953.Д.006421.11.04 от 11.11.2004 г. выдано Федеральной службой
по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Отпечатано с готовых диапозитивов
в ГУП "Типография "Наука"
199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12

ISBN 5-94157-554-8

Оглавление

ГЛАВА 1



Развитие языков как развитие абстрактных моделей

> Язык и мышление теснейшим образом связаны. Если язык обеднеет, обеднеет и мышление. Колоссальное значение имеет терминология, грамматические системы, способствующие самовыражению человека.
>
> *Д. С. Лихачев*

Объектная модель представляет собой концептуальную основу объектно-ориентированного программирования, поэтому изучение основных элементов объектной модели и их взаимодействия позволяет лучше разобраться в принципах организации объектно-ориентированных программ, а также понять, в чем сходства и различия поддержки объектно-ориентированной парадигмы различными языками.

Прежде чем перейти к изучению элементов объектной модели как таковых, проанализируем вкратце процесс развития языков программирования. Это позволит нам выяснить концептуальные и методологические различия изобразительных средств, предоставляемых программисту языками программирования, и причины успешности и востребованности объектно-ориентированного подхода.

1.1. Концепции проектирования и языки программирования

Объектно-ориентированное программирование (ООП) является, вероятно, самой распространенной в современной проектной практике парадигмой программирования, которая поддерживается большинством современных языков программирования. При этом реализации концепций и механизмов, состав-

ляющих основание ООП, могут отличаться в разных языках. Поэтому изучение ООП предполагает не столько изучение какого-либо конкретного языка программирования, сколько лежащих в его основе концепций и механизмов как таковых. К самым важным вещам, которые должен знать профессиональный программный инженер, относится набор фундаментальных концепций, которые вновь и вновь используются в его работе и которые в первую очередь следует изучать [Meyer, 2001]. С одной стороны, такой подход к изучению программирования позволяет лучше разобраться в проблемах, возникающих перед разработчиками программного обеспечения (ПО), с другой стороны, позволяет лучше понять причины появления и успешного развития различных языков и технологий программирования.

Основная задача любой технологии заключается в том, чтобы предоставить разработчикам средства решения основных проблем проектирования. Широкое применение технологии (которая всегда является реализацией определенных концепций) доказывает ее успешность. В частности, это и означает, что данная технология (а значит, и лежащие в ее основе концепции, модели, методы проектирования) позволяет разработчикам успешно решать актуальные проблемы проектирования.

Вообще говоря, появление новых технологий программирования в большой степени обусловлено трансформацией проблем проектирования ПО с его растущей сложностью. В свою очередь, рост сложности программного обеспечения обусловлен развитием областей жизнедеятельности человека, где находят применение новейшие информационные и компьютерные технологии. Это становится возможным благодаря развитию средств проектирования и возможностей вычислительной техники, удешевлению аппаратных ресурсов и увеличению продуктивности разработчиков, использующих современные средства проектирования. С другой стороны, сейчас уже никто не удивляется тому, что новейшие технологии проектирования зачастую требуют более мощного аппаратного обеспечения для своей эффективной работы (хотя это иногда и связано с неэффективностью алгоритмов, используемых в ходе разработки программ), подталкивая пользователей к модернизации используемого оборудования и вычислительных средств. Таким образом, новое более мощное оборудование способствует более эффективному использованию программных средств, это порождает новые области применения и дает толчок к возникновению новых задач проектирования, требующих для своего решения новых технологий разработки программ [Пышкин, 2003-1]. Графически описанный процесс представлен на рис. 1.1.

Язык программирования — инструмент, вытекающий из концепций проектирования, инструмент, облекающий в синтаксическую форму основное содержание концепций, их суть. Поэтому изучение языка самого по себе вне связи с моделями проектирования, заложенными в основу языка, не влечет улуч-

шения качества проектирования и не обязательно способствует повышению квалификации разработчика.

Рис. 1.1. Прогресс информационных технологий и рост сложности задачи проектирования

Разумеется, нужно отдавать себе отчет в том, что *качество проектирования*, прежде всего, *определяется квалификацией и творческими способностями проектировщиков*, а не моделью программирования: выдающиеся проекты создают выдающиеся проектировщики [Brooks, 1995]. При этом технология проектирования помогает грамотному разработчику продемонстрировать свои умения и построить качественный программный продукт. Таким образом, *необходимо изучать не языки программирования сами по себе, а концепции, выражаемые этими языками* [Eckel, 2000-1].

1.2. Абстрактные модели, лежащие в основе языков программирования

Языки программирования — это всегда некоторые модели (виртуальные вычислительные машины), позволяющие наиболее эффективно использовать возможности вычислительных средств, существенные для конкретных областей применения. По сути дела, при написании программ ориентируются не на вычислительную машину как таковую, а на некоторую абстрактную модель вычислительного устройства [Minsky, 1967]. Качество абстрактной модели, ее соответствие содержанию решаемых задач во многом определяет качество и эффективность проектирования с использованием этой модели. По меткому замечанию Эккеля, компьютеры не столько машины, сколько средства усиления мысли [Eckel, 2000-1].

Сложность задач, которые возможно решить с применением тех или иных концепций проектирования (читай, выражающих их языков), непосредственно связана с уровнем абстракции как при постановке задачи, так и в ходе ее решения. Абстракция является, вероятно, самым мощным интеллектуальным средством познания из тех, что имеются в распоряжении человека [Dahl, Dijkstra, Hoare, 1972]. Со способностью к абстракции связана и способность человека к творчеству. Кроме того, обнаружение общих абстракций и механизмов значительно облегчает понимание сложных систем [Booch, 1994].

Так, языки ассемблера позволяют избежать необходимости программирования в машинном коде, и в этом смысле ассемблеры являются абстракцией вычислительной машины, для которой были спроектированы [Eckel, 2000-1]. Кстати, и сама вычислительная машина, являясь иерархической системой, может рассматриваться на разных уровнях абстракции [Booch, 1994]. В подобной интерпретации языки, основанные на методологии процедурного программирования, можно считать абстракциями ассемблеров.

Таким образом, язык программирования — не только выразитель концепций проектирования, но и уровня абстракции при представлении задач и технических средств, используемых для решения этих задач. *Развитие языков программирования — это, прежде всего, развитие абстрактных моделей, облегчающих и систематизирующих проектирование.*

Абстрагирование в языках структурного императивного программирования

Методология структурного императивного программирования воплощает подход, характеризующийся принципом последовательного изменения состояния вычислителя пошаговым образом с поддержкой концепции структурного программирования. Императивное программирование является первой методологией программирования, поддержанной на аппаратном уровне и ориентированной на класс архитектур фон Неймана [Одинцов, 2002].

Примерами языков-выразителей концепций структурного императивного программирования могут служить языки Fortran, Pascal, C, PL/1 (в последнем, впрочем, был реализован и ряд других важных концепций, например, обработка исключений). Все перечисленные языки основаны на парадигме процедурного программирования, основанной на представлении программы в виде иерархии процедур и функций. В принципе, понятия процедурного и структурного программирования не следует отождествлять, поскольку использование процедурной модели совместимо и с объектно-ориентированным программированием, и с функциональным программированием, и с параллельным программированием [Легалов, 2000]. Развитие структурного про-

граммирования позволило реализовать или развить ряд важных методов проектирования:

- функционально-иерархическая декомпозиция;
- структурная организация данных;
- повторное использование проектных решений;
- технология тестирования программного обеспечения.

Основная проблема процедурных языков заключается в том, что достигаемый ими уровень абстракции все еще требует от программиста мышления в большей мере в терминах вычислительной машины (пусть даже и виртуальной), чем в терминах задачи, которую ему приходится решать. Качество проектирования определяется в итоге тем, насколько удачно программисту удалось установить соответствие между пространством понятий, характерных для решаемой задачи, и набором изобразительных средств языка, не всегда позволяющих адекватно отобразить эти понятия в рамках машинной модели. Абстрагирование, достигаемое посредством использования процедур, хорошо подходит для описания абстрактных действий, но не предоставляет адекватных языковых средств для описания абстрактных объектов.

Кинг указывает также на проблемы реального проектирования, возникающие в ходе разработки программ на основе функционально-иерархической декомпозиции [King, 1997]:

- Функциональную модель трудно развивать: эволюция системы, учет новых требований может порождать плохо управляемую архитектуру приложения.
- Функционально-ориентированный код трудно обобщать для многократного использования.

Резюме: *языки императивного программирования, основанные на процедурной парадигме, реализуют систематический подход к разработке программного обеспечения, который во многих случаях основан на концепции структурного программирования. При этом задача программиста — перейти от представления о решаемой задаче в терминах, присущих этой задаче, к терминам, присущим модели вычислительной машины.*

Другие абстрактные модели

В историческом плане развитие абстрактных моделей не всегда означало переход на более высокие уровни абстракции представления вычислительной машины как исполнительного устройства. Специфические особенности некоторых классов задач способствовали появлению альтернативных моделей.

Примерами альтернатив моделированию вычислительной машины могут служить концепции, реализованные в языках функционального и логического программирования. Примером языка функционального программирования может служить язык LISP, основанный на модели, которая в компактной форме характеризуется постулатом "все задачи, в конечном счете, могут быть сведены к работе со списками". Классическим примером языка логического программирования является язык Prolog, основывающийся на принципе: "все задачи могут быть сведены к цепочке логических рассуждений" [Eckel, 2000-1]. В частности, эти языки нашли применение в задачах искусственного интеллекта и прикладной математики.

Каждый из подобных подходов оказывался приемлемым или даже лучшим для определенного класса задач, но не обладал достаточной универсальностью. Во многих случаях более успешными оказывались языки общего назначения. Даже в области искусственного интеллекта многие коммерческие образцы систем, основанных на знаниях, были разработаны на универсальных языках. В разных источниках приводятся примеры систем, спроектированных полностью или частично на языках Pascal, Fortran, C, PL/1 (см., например, [Forsyth, 1984], [Попов и др., 1990]).

Для решения задач логического управления в настоящее время активно развивается подход, основанный на использовании теории автоматов — автоматное программирование [Шалыто, 1998]. Модели представления данных и поведения системы, положенные в основу этого подхода, фокусируются на абстракциях *состояния* (определяющего статику объекта управления) и *события* (определяющего динамику процесса управления). Автоматное программирование находит применение не только при решении задач управления, но и в таких областях, как синтаксический анализ и трансляция, моделирование систем управления, проектирование программируемых логических контроллеров и др.

Приведенные примеры показывают, что *развитие абстрактных моделей связано не только с переходом на более высокие уровни абстракции при описании вычислительной машины, а также и с развитием других концепций абстрагирования, ориентированных на различные классы задач.*

1.3. Сущность объектно-ориентированного подхода

Сущность объектно-ориентированного подхода заключается, прежде всего, в двух моментах.

С одной стороны, он предоставляет разработчику инструмент, который позволяет описать задачу и существенную часть реализации проекта в терми-

нах, характеризующих предметную область, а не компьютерную модель. По замечанию Кинга, объектно-ориентированный анализ начинается с исследования предметов реального мира, являющихся частью решаемой задачи [King, 1997]. Хотя применение объектно-ориентированной парадигмы само по себе не обеспечивает качества проектирования, оно способствует ясному представлению данных и присущих им свойств и действий (поведения) на уровне программного кода. При этом программные структуры на формальном языке соответствуют ментальной модели описания задачи и способов ее решения на языке, естественном для данной предметной области. Эта особенность отличает объектно-ориентированные языки от языков императивного программирования, нацеленных на моделирование действий, выполняемых вычислительной машиной (рис. 1.2).

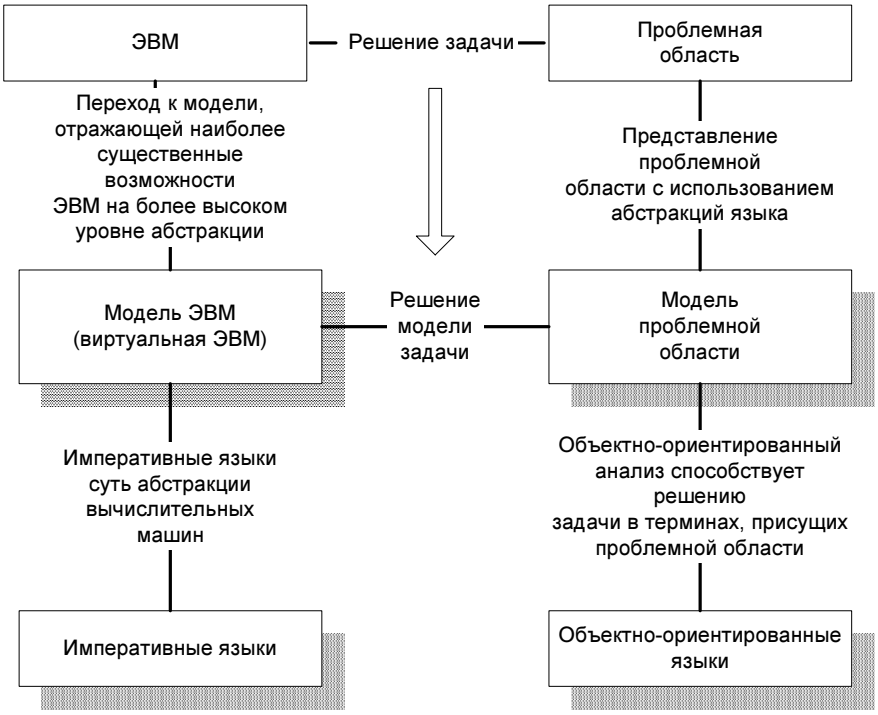


Рис. 1.2. Абстрагирование посредством императивных и объектно-ориентированных языков

С другой стороны, объектно-ориентированное проектирование предоставляет разработчикам гибкий мощный универсальный инструмент, не связанный с каким-то определенным классом задач. По замечанию Буча, "объектный подход зарекомендовал себя как унифицирующая идея всей компьютерной науки, применимая не только в программировании, но также в проектировании интерфейса пользователя, баз данных и даже архитектуры компьютеров"

[Booch, 1994]. При этом использование объектно-ориентированного подхода оправдывает себя не для всех классов задач. Например, для реализации основных вычислительных алгоритмов применение объектно-ориентированного программирования едва ли позволит получить более наглядный и более эффективный код, хотя, разумеется, эти задачи можно использовать в качестве примеров, иллюстрирующих отличия в управлении данными в процедурных и объектно-ориентированных языках [Давыдов, 2001].

Другим классическим примером области, в которой, как раньше считалось, объектная модель вряд ли обеспечивает какие-либо существенные преимущества при проектировании и использовании кода, является синтаксический анализ и трансляция. Однако в ряде случаев объектно-компонентная организация компилятора может быть разумным решением. Здесь можно выделить, по крайней мере, два момента.

Во-первых, разработка и использование элементов транслятора как независимых компонентов (классов) обусловлена развитием интегрированных сред проектирования. Это связано с тем, что реализация различных средств поддержки программирования требует возможности обращения к отдельным компонентам транслятора. Например, подсветка служебных слов и литеральных констант, быстрая навигация по тексту требует вызова лексического анализатора, частичная трансляция фрагментов исходного текста в процессе его набора и информирование программиста о совершаемых ошибках при записи синтаксических конструкций языка требует вызова синтаксического анализатора и т. д. Одной из известных реализаций подобной схемы построения транслятора является так называемая обобщенная инфраструктура компилятора (Common Compiler Infrastructure), проектируемая как часть Microsoft .NET Framework в подразделении Microsoft Research (рис. 1.3). Данная инфраструктура представляет собой библиотеку классов для создания собственных трансляторов языков .NET.

Во-вторых, структурирование компилятора позволяет облегчить его перенос на другую вычислительную архитектуру. Отделяя кодогенерирующие функции от остальной части компилятора, можно существенно упростить создание семейства компиляторов для различных целевых архитектур [Franz, 1998]. Справедливости ради, отметим, что структурирование и компонентная организация компилятора не обязательно предполагают использование объектно-ориентированных технологий.

Во многих случаях наилучшие результаты проектирования обеспечиваются совместным применением множества моделей программирования. Собственно, язык C++ и создавался как язык, поддерживающий множество парадигм проектирования, предоставляя программистам мощный и гибкий механизм для конструирования абстрактных типов, который подходил бы для большинства современных вычислительных машин [Stroustrup, 1998]. C++ под-

держивает много стилей программирования и сочетает эффективность и гибкость языка C для системного программирования с возможностями объектно-ориентированной организации кода и данных. Таким образом, многие специалисты соглашаются с тем, что преимущества объектно-ориентированной технологии можно реализовать быстрее и в более полном объеме, если использовать ее в сочетании с традиционными методами [Лекарев, 1997].

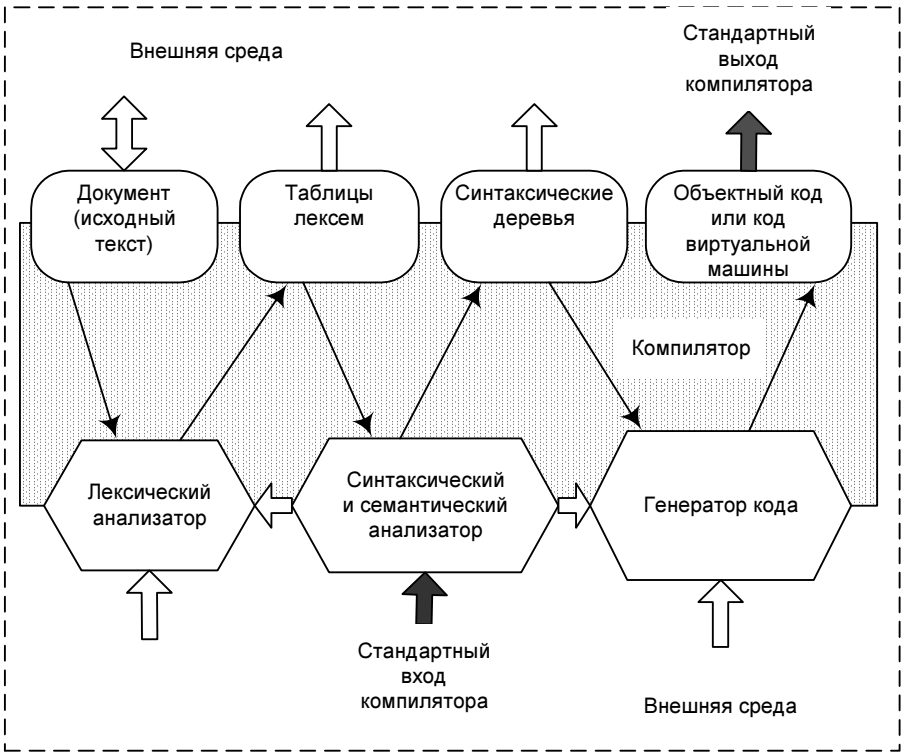


Рис. 1.3. Компонентная организация компилятора

Будучи составной частью множества технологий проектирования, объектно-ориентированная модель программирования поддерживается многими языками (Simula-67, Ada, Smalltalk, Object Pascal, C++, Eiffel, Java, C# и др.). На рис. 1.4 графически представлена генеалогия наиболее распространенных процедурных, объектных и объектно-ориентированных языков. Рисунок конспективно представляет развитие основополагающих концепций программирования в связи с развитием языков программирования.

Подведем итог. *Объектно-ориентированное программирование улучшает проектирование, фокусируясь на данных как более стабильном элементе вычислительной системы. Объектно-ориентированный подход концентриру-*

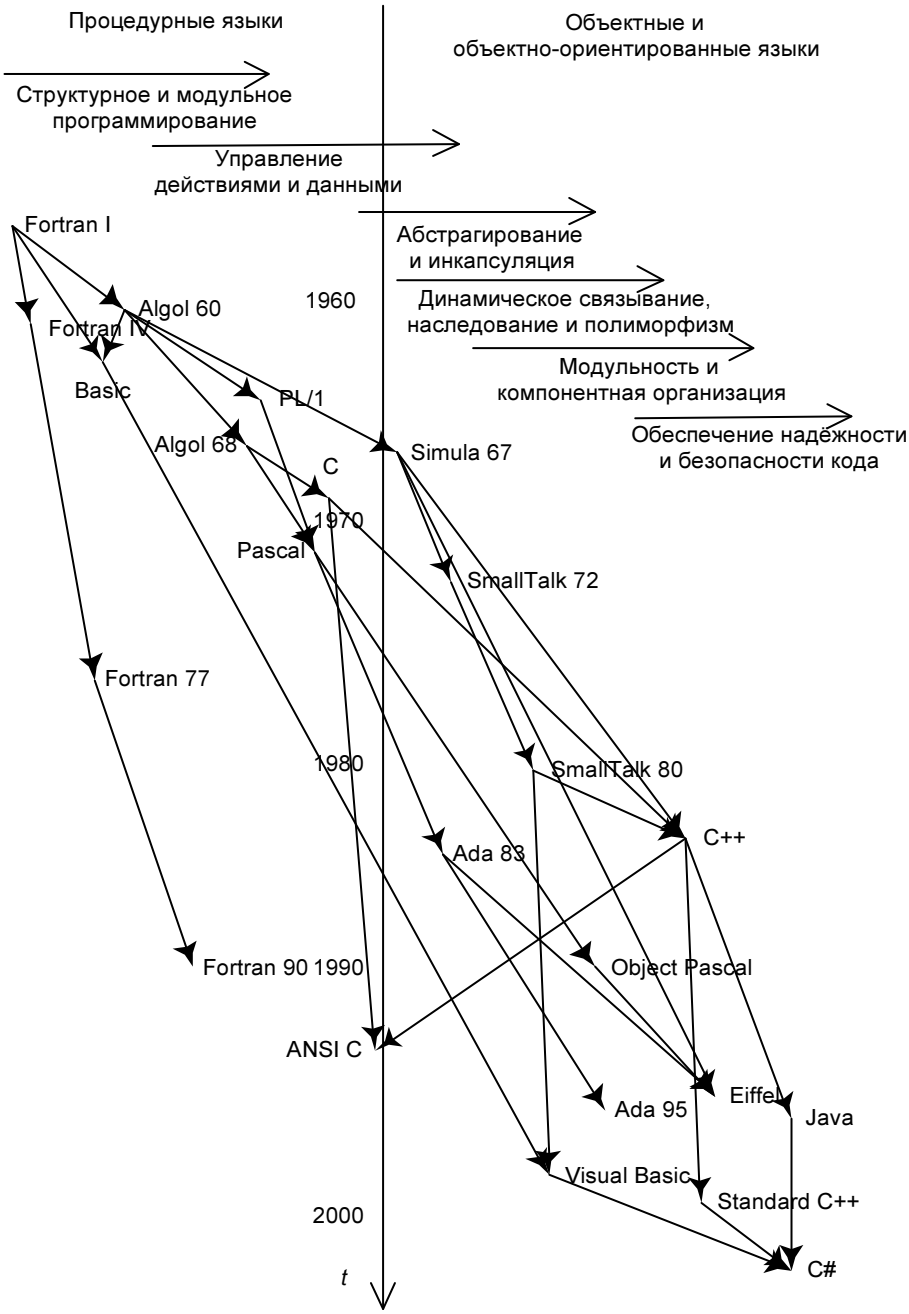


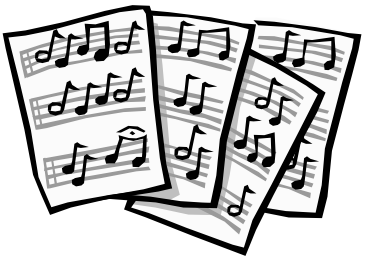
Рис. 1.4. Генеалогия распространенных языков программирования и развитие основных концепций

ется на разработке кода, нацеленного на повторное использование. Объектно-ориентированная модель обеспечивает лучшую масштабируемость проектов. Именно поэтому большинство успешных современных технологий проектирования программных систем предполагает преимущественное или исключительное использование объектно-ориентированной парадигмы.

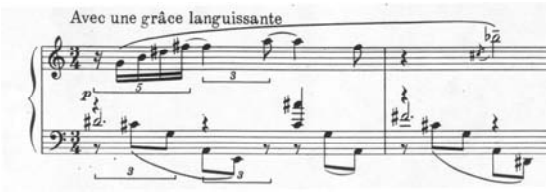
1.4. Вопросы и упражнения

1. Каким образом в рамках процедурного программирования решается вопрос о разграничении доступа к функциям и данным?
2. Какие средства структурного программирования обеспечивают построение моделей данных, присущих предметной области? Как связываются данные и функции для обработки этих данных?
3. Какие преимущества с точки зрения представления данных обеспечивает объектно-ориентированное программирование?
4. Напишите процедурную программу, обеспечивающую вычисление задаваемых в некотором исходном файле арифметических выражений, оперирующих комплексными данными. Выражения могут содержать операции сложения, вычитания, умножения и деления. Синтаксис представления комплексного числа продумайте самостоятельно.
5. Как Вы понимаете упомянутый в *разд. 1.3* термин "масштабируемость программных систем". Обсудите этот термин с коллегами или преподавателем.
6. Почему обеспечение возможности повторного использования является важной задачей проектирования? В связи с этим, как Вы могли бы пояснить смысл тезиса Мейерса *"Программируйте в будущем времени"* [Meyers, 1996]?

ГЛАВА 2



Элементы объектной модели



Александр Скрябин. "Гирлянды", op.73 No.1

По замечанию Буча, каждый стиль программирования имеет свою концептуальную базу. Для объектно-ориентированного стиля концептуальная база — это *объектная модель*.

Объектную модель составляют четыре главных элемента:

- абстрагирование (abstraction);
- инкапсуляция (encapsulation);
- модульность (modularity);
- иерархия (hierarchy).

Абстрагирование позволяет выделить существенные характеристики некоторого объекта, отличающие его от всех других видов объектов. Абстракция четко определяет концептуальные границы объекта с точки зрения наблюдателя.

Инкапсуляция — это процесс отделения друг от друга элементов объекта, определяющих его устройство и поведение; инкапсуляция также служит для того, чтобы изолировать внешнее поведение объекта от его внутреннего устройства.

Иерархия — это упорядочение абстракций, средство классификации объектов, систематизация связей между объектами.

Модульность — это представление системы в виде совокупности обособленных сегментов, связь между которыми обеспечивается посредством связей между классами, определяемыми в этих сегментах.

Теперь рассмотрим назначение и взаимодействие этих элементов более подробно.

2.1. Смысл абстрагирования как элемента объектной модели

Абстрагирование является одним из основных методов, используемых для решения сложных задач. Абстракция выделяет существенные характеристики некоторого объекта, отличающие его от всех других видов объектов и, таким образом, четко определяет его концептуальные границы с точки зрения наблюдателя [Booch, 1994]. В этом определении все элементы важны. Например, любой автомобиль имеет корпус и колеса, причем корпуса автомобилей могут весьма существенно отличаться друг от друга. Тем не менее мы вряд ли спутаем автомобиль с телегой, которая, вообще говоря, тоже имеет корпус и колеса, т. е. абстракции автомобиля и телеги отличаются друг от друга, несмотря на то, что они имеют некоторые общие свойства.

Аналогично понятиям теории абстрактных систем (см. [Mesarovic, Takahara, 1989]), под абстрактными моделями, используемыми в объектно-ориентированном проектировании, понимается не что-то воображаемое или не имеющее отношения к действительности, а модели, характеризуемые наиболее общими свойствами, актуальными для практических случаев.

Объектно-ориентированное программирование характеризуется наличием двух основных видов абстракций:

- Тип данных объектной природы (класс) — определяемое программистом расширение исходных типов языка.
- Экземпляр класса (объект) — переменная класса. Объектов в сложной системе обычно гораздо больше, чем классов. Объект обладает состоянием, поведением и идентичностью.

Состояние объекта характеризуется набором его свойств (атрибутов) и текущими значениями каждого из этих свойств (автомобиль заведен, фары включены).

Состояние объекта — результат его поведения, т. е. выполнения в определенной последовательности характерных для него действий (при включении переключателя указателя поворотов лампочка указателя начинает мигать).

Идентичность — это такое свойство (или набор свойств) объекта, которое позволяет отличить его от всех прочих объектов того же типа. Идентичность

не обязательно связана с именованием или состоянием объекта: два совершенно одинаковых автомобиля, стоящих в одном и том же гараже, все же являются разными объектами. Свойством, отвечающим за идентичность, в этом случае, может считаться VIN автомобиля (Vehicle Identification Number — идентификационный номер автотранспортного средства).

В качестве простейшего примера абстракции, интуитивно понятного всем, Эккель в своих книгах (см., например, [Eckel, 2000-1]) приводит электрическую лампочку, для которой определены, как минимум, два присущих ей состояния: включена (светит) и выключена (не светит) (рис. 2.1).

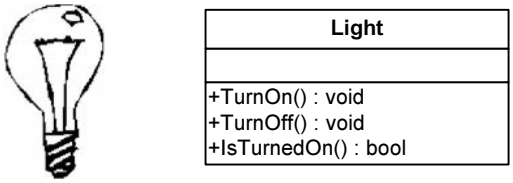


Рис. 2.1. Абстракция электрической лампы

Процесс включения и выключения лампочки описывает поведение объекта. Включению лампы на уровне абстрактной модели соответствует функция `TurnOn()`, выключению — функция `TurnOff()`. Для того чтобы узнать, светится лампа или нет, нам достаточно посмотреть на нее. На уровне абстрактной модели этот процесс представлен специальной функцией `IsTurnedOn()`, позволяющей установить текущее состояние модельного объекта. На диаграмме класса знак "плюс" рядом с именем каждой функции показывает, что эти функции составляют открытый интерфейс класса.

Все лампочки обладают примерно таким поведением, хотя их реализации могут отличаться. Принцип работы вольфрамовых, галогенных, газовых ламп различен, однако любая из них распознается нами как осветительное устройство, которое можно включить и выключить. Какие физические и химические процессы участвуют в ходе перехода лампы из выключенного состояния во включенное, конкретного потребителя может не интересовать. Ему может быть достаточно представления о том, где и как правильно использовать это устройство. Конструируя абстрактную модель, программист в первую очередь пытается выразить наиболее общие свойства моделируемых объектов.

Объявление на языке C++, которое соответствует данной модели, может выглядеть следующим образом:

```
class Light { // Класс Light
public:
    void TurnOn();
```