

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	11
Что на диске? .....	13
<b>Глава 1. Введение .....</b>	<b>15</b>
1.1. Курс практических лабораторных работ для изучения цифровой обработки сигналов .....	16
1.2. Структура книги .....	17
1.3. Установка программного обеспечения .....	18
1.4. Обновления .....	18
1.5. Библиография .....	18
<b>Глава 2. Среда программирования LabVIEW .....</b>	<b>19</b>
2.1. Виртуальные приборы .....	19
2.1.1. Лицевая панель и блок-диаграмма .....	19
2.1.2. Иконка и соединительная панель .....	20
2.2. Графическая среда .....	21
2.2.1. Палитра функций .....	21
2.2.2. Палитра элементов управления .....	22
2.2.3. Палитра инструментов .....	22
2.3. Создание лицевой панели .....	23
2.3.1. Элементы управления .....	23
2.3.2. Индикаторы .....	23
2.3.3. Выравнивание, распределение и изменение размера объектов .....	25
2.4. Создание блок-диаграммы .....	25
2.4.1. Экспресс ВП и функции .....	25
2.4.2. Терминальные иконки .....	26
2.4.3. Проводники данных .....	27
2.4.4. Структуры .....	27
2.5. Составные данные: массивы и кластеры .....	28
2.6. Отладка ВП и профили .....	29
2.6.1. Инструмент установки пробников .....	29
2.6.2. Инструмент Профиль .....	29
2.7. Библиография .....	29

<b>Лабораторная работа 1. Знакомство с LabVIEW. Часть I</b> .....	30
Л1.1. Создание простого ВП .....	31
Л1.1.1. Создание ВП .....	31
Л1.1.2. Создание ВПП .....	36
Л1.2. Использование структур и ВПП .....	38
Л1.3. Создание массива с индексацией .....	42
Л1.4. Отладка ВП: инструмент установки пробников .....	43
Л1.5. Библиография .....	44
<b>Лабораторная работа 2. Знакомство с LabVIEW. Часть II</b> .....	45
Л2.1. Построение системы ВП с помощью экспресс ВП .....	45
Л2.2. Создание системы с обычными ВП .....	52
Л2.3. ВП Профиль .....	55
Л2.4. Библиография .....	56
<b>Глава 3. Аналого-цифровое преобразование сигнала</b> .....	57
3.1. Дискретизация .....	57
3.1.1. Быстрое преобразование Фурье .....	60
3.2. Квантование .....	63
3.3. Восстановление сигнала .....	65
3.4. Библиография .....	66
<b>Лабораторная работа 3. Дискретизация, квантование и восстановление сигнала</b> .....	67
Л3.1. Эффект наложения спектров .....	67
Л3.2. Быстрое преобразование Фурье .....	71
Л3.3. Квантование .....	76
Л3.4. Восстановление сигнала .....	81
Л3.5. Библиография .....	83
<b>Глава 4. Цифровые фильтры</b> .....	84
4.1. Разностные уравнения .....	84
4.1.2. Устойчивость и структура .....	86
4.2. Набор инструментов LabVIEW для разработки цифровых фильтров .....	88
4.2.1. Разработка фильтров .....	88
4.2.2. Анализ проектирования фильтров .....	88
4.2.3. Проектирование фильтра с фиксированной точкой .....	88
4.2.4. Проектирование многоскоростных цифровых фильтров .....	89
4.3. Библиография .....	89
<b>Лабораторная работа 4. Разработка систем КИХ/БИХ-фильтрации</b> .....	90
Л4.1. Система КИХ-фильтрации .....	90
Л4.1.1. Разработка КИХ-фильтра с помощью инструментов из набора DFD .....	90
Л4.1.2. Создание системы фильтрации .....	93
Л4.2. Система БИХ-фильтрации .....	96
Л4.2.1. Разработка БИХ-фильтра .....	96
Л4.2.2. Система фильтрации .....	100
Л4.3. Построение системы фильтрации с использованием коэффициентов фильтра .....	101

Л4.4. Разработка фильтра без использования набора инструментов DFD .....	102
Л4.5. Библиография .....	104
<b>Глава 5. Сравнение способов представления чисел с фиксированной и плавающей точкой .....</b>	<b>105</b>
5.1. Представление чисел в Q-формате .....	105
5.2. Влияние конечной точности представления .....	109
5.3. Представление числа в формате с плавающей точкой .....	110
5.4. Переполнение и масштабирование .....	111
5.5. Типы данных в LabVIEW .....	112
5.6. Библиография .....	114
<b>Лабораторная работа 5. Типы данных и масштабирование .....</b>	<b>115</b>
Л5.1. Обработка типов данных в LabVIEW .....	115
Л5.2. Обработка переполнений .....	117
Л5.2.1. Преобразование в Q-формат .....	118
Л5.2.2. Создание полиморфного ВП .....	120
Л5.3. Масштабирование .....	121
Л5.4. Цифровая фильтрация в формате с фиксированной точкой .....	123
Л5.4.1. Проектирование и анализ системы цифровой фильтрации с фиксированной точкой .....	124
Л5.4.2. Система фильтрации .....	127
Л5.4.3. Пример БИХ-фильтра с фиксированной точкой .....	129
Л5.5. Библиография .....	132
<b>Глава 6. Адаптивная фильтрация .....</b>	<b>133</b>
6.1. Идентификация системы .....	133
6.2. Подавление шумов .....	134
6.3. Библиография .....	134
<b>Лабораторная работа 6. Системы адаптивной фильтрации .....</b>	<b>135</b>
Л6.1. Идентификация системы .....	135
Л6.1.1. Обработка по точкам .....	135
Л6.1.2. Алгоритм наименьшего среднеквадратического .....	138
Л6.1.3. Осциллограмма .....	139
Л6.1.4. Сдвиговый регистр и узел обратной связи .....	140
Л6.2. Подавление шумов .....	142
Л6.3. Библиография .....	145
<b>Глава 7. Обработка данных в частотной области .....</b>	<b>146</b>
7.1. Дискретное преобразование Фурье и быстрое преобразование Фурье .....	146
7.2. Оконное преобразование Фурье .....	147
7.3. Дискретное вейвлет-преобразование .....	149
7.4. Набор инструментов обработки сигналов .....	151
7.5. Библиография .....	151
<b>Лабораторная работа 7. БПФ, ОПФ и ДВП .....</b>	<b>152</b>
Л7.1. Быстрое преобразование Фурье и оконное преобразование Фурье .....	152

Л7.1.1. Узел Свойства .....	157
Л7.2. Дискретное вейвлет-преобразование .....	158
Л7.3. Библиография .....	161
<b>Глава 8. Платформа реализации ЦОС: процессор TMS320C6x .....</b>	<b>162</b>
8.1. ПЦОС TMS320C6x .....	162
8.1.1. ЦПУ с конвейерной обработкой .....	164
8.1.2. ПЦОС C64x .....	165
8.2. Стартовый набор разработчика C6x .....	166
8.2.1. Конфигурация платы и периферийные устройства .....	166
8.2.2. Организация памяти .....	167
8.3. Программирование ПЦОС .....	168
8.3.1. Программные инструменты: Code Composer Studio .....	169
8.3.2. Компоновка .....	170
8.3.3. Компиляция .....	170
8.4. Библиография .....	171
<b>Лабораторная работа 8. Знакомство с Code Composer Studio .....</b>	<b>172</b>
Л8.1. Code Composer Studio .....	172
Л8.2. Создание проекта .....	172
Л8.3. Инструменты отладки .....	178
Л8.4. Библиография .....	187
<b>Глава 9. Интеграция LabVIEW и ПЦОС .....</b>	<b>188</b>
9.1. Связь с LabVIEW: обмен данными в реальном времени .....	188
9.2. Набор инструментов Test Integration Toolkit for TI DSP .....	189
9.3. Совместная реализация: коэффициент усиления .....	189
9.3.1. Конфигурация LabVIEW .....	191
9.3.2. Конфигурация ПЦОС .....	192
9.4. Библиография .....	194
<b>Лабораторная работа 9. Примеры интеграции с ПЦОС .....</b>	<b>195</b>
Л9.1. Автоматизация CCS .....	195
Л9.2. Цифровая фильтрация .....	197
Л9.2.1. КИХ-фильтр .....	197
Л9.2.2. БИХ-фильтр .....	203
Л9.3. Система с фиксированной точкой .....	207
Л9.4. Системы адаптивной фильтрации .....	210
Л9.4.1. Идентификация системы .....	210
Л9.4.2. Подавление шумов .....	214
Л9.5. Обработка частоты: БПФ .....	215
Л9.6. Библиография .....	223
<b>Глава 10. Проектирование систем ЦОС:</b>	
<b>Двухтональные многочастотные сигналы .....</b>	<b>224</b>
10.1. Библиография .....	226

---

<b>Лабораторная работа 10. Двухтональные многочастотные сигналы</b> .....	227
Л10.1. Система генератора тона DTMF .....	227
Л10.2. Система декодирования DTMF .....	231
Л10.3. Библиография .....	233
<b>Глава 11. Проектирование систем ЦОС:</b>	
<b>Программная модель радио</b> .....	234
11.1. КАМ-передатчик .....	234
11.2. КАМ-приемник .....	236
11.2.1. Идеальная КАМ-демодуляция .....	236
11.2.2. Кадровая синхронизация .....	237
11.2.3. Отслеживание несущей частоты на основе оценивания .....	237
11.3. Библиография .....	240
<b>Лабораторная работа 11. Построение модема 4-КАМ</b> .....	241
Л11.1. КАМ-передатчик .....	241
Л11.2. КАМ-приемник .....	244
Л11.3. Библиография .....	255
<b>Глава 12. Проектирование систем ПЦОС:</b>	
<b>MP3-плеер</b> .....	256
12.1. Блок синхронизации .....	257
12.2. Блок декодирования масштабирующих коэффициентов .....	259
12.3. Декодер Хаффмана .....	259
12.3.1. Формат битов кода Хаффмана .....	260
12.3.2. Декодирование Хаффмана .....	260
12.4. Переквантование .....	262
12.5. Переупорядочение .....	263
12.6. Удаление ложных частот .....	264
12.7. Инверсное модифицированное дискретное косинусное преобразование и наложение окон .....	264
12.8. Банк полифазных фильтров .....	266
12.8.1. Модифицированное дискретное косинусное преобразование .....	267
12.8.2. Сдвиг FIFO .....	268
12.8.3. Наложение окон и сложение .....	268
12.9. Библиография .....	268
<b>Лабораторная работа 12. Реализация MP3-плеера в LabVIEW</b> .....	269
Л12.1. ВП системного уровня .....	269
Л12.2. Реализация системы в LabVIEW .....	270
Л12.2.1. Чтение MP3 .....	270
Л12.2.2. Информация о файле MP3 .....	271
Л12.2.3. Декодирование дополнительной информации .....	272
Л12.2.4. Кольцевой буфер .....	273
Л12.2.5. Декодирование масштабирующих коэффициентов .....	274
Л12.2.6. Декодирование Хаффмана .....	275
Л12.2.7. Переквантование .....	277

Л12.2.8. Переупорядочение .....	279
Л12.2.9. Удаление ложных частот .....	280
Л12.2.10. Инверсное модифицированное дискретное косинусное преобразование .....	281
Л12.2.11. Poly & PCM .....	282
Л12.2.12. Выходной сигнал PCM .....	283
Л12.2.13. MP3-плеер .....	284
Л12.3. Модификация для получения декодирования в реальном времени .....	285
Л12.3.1. Декодирование Хаффмана .....	285
Л12.3.2. IMDCTDLL .....	288
Л12.3.3. Poly & PCM .....	289
Л12.4. Библиография .....	290
<b>Приложение 1. Библиография по ЦОС</b> .....	<b>291</b>
<b>Приложение 2. Библиография по LabVIEW</b> .....	<b>292</b>
Предметный указатель .....	293

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Много лет я вел лабораторные работы по дисциплине «Цифровая обработка сигналов» на базе различных цифровых процессоров обработки сигналов фирмы Texas Instruments. Студенты постоянно задавали мне вопрос: «Должны ли мы знать язык С для выполнения лабораторных работ по цифровой обработке сигналов?» До прошлого года<sup>1)</sup> я отвечал: «Да, для этих лабораторных работ необходимо знать С». Однако в прошлом году впервые я стал отвечать по-другому: «Хотя и желательно, но совсем не обязательно знать язык С для выполнения лабораторных работ». Мой ответ изменился в связи с началом использования LabVIEW для обучения студентов разработке и анализу систем цифровой обработки сигналов в наших дисциплинах.

Широко распространенные графические среды программирования, такие как LabVIEW, сейчас достигли такого совершенства, что дают возможность студентам и инженерам с легкостью создавать и анализировать системы цифровой обработки гораздо быстрее, чем в С и MATLAB. Я видел, что многие студенты, выполняющие лабораторные работы по цифровой обработке сигналов, в частности аспиранты, часто тратили много сил и времени на отладку программ на С и MATLAB, вместо того чтобы уделять больше внимания собственно вопросам разработки систем цифровой обработки сигналов. Желание устранить эту проблему за счет использования графического программирования вместо традиционного текстового программирования в проведении таких лабораторных работ и подвигло меня на написание этой книги.

Но важно упомянуть, что для оптимизации алгоритмов обработки сигналов на цифровых процессорах все-таки необходимо знать и использовать программирование на С и/или ассемблере. Существующие оболочки графического программирования не предназначены для оптимизации при переносе алгоритмов обработки сигналов на цифровые процессоры или другие аппаратные платформы. Это относится к двум главам данной книги, которые посвящены исключительно реализации алгоритмов на цифровых процессорах семейства TMS320C6000 фирмы Texas Instruments.

---

<sup>1)</sup> До 2004 года. — *Примеч. пер.*

Предполагается, что выбор графического программирования для создания систем цифровой обработки сигналов даст возможность большему количеству студентов овладеть методами цифровой обработки сигналов. Кроме того, книга написана так, что может быть использована в качестве самоучителя по цифровой обработке сигналов для инженеров, которые хотят познакомиться с LabVIEW и использовать ее для разработки и анализа систем цифровой обработки сигналов.

Я хочу выразить благодарность фирме NI (National Instruments) за поддержку этой книги. В частности, я хочу поблагодарить Джима Кахоу (Jim Cahow), менеджера академических ресурсов фирмы NI, и Рави Маравару (Ravi Marawar), менеджера академической программы NI, за ценные замечания. Я с удовольствием благодарю Чака Гласера (Chuck Glaser), старшего рецензента Elsevier, и Кати Викс (Cathy Wicks), менеджера университетской программы TI, за продвижение данной книги. И наконец, я признателен моей семье, которая вытерпела мою чрезмерную занятость во время работы над этой книгой.

*Насер Кехтарнаваз*  
Декабрь 2004

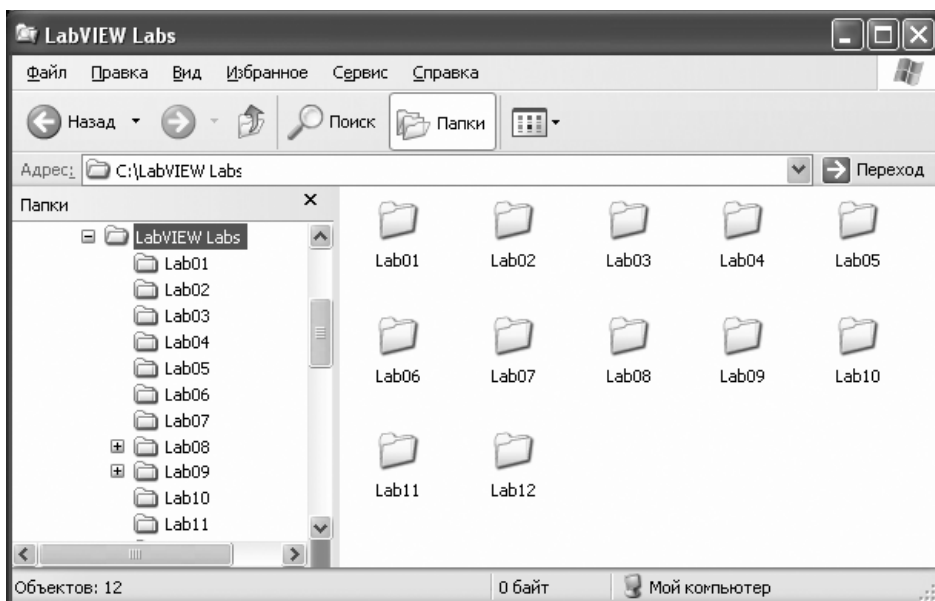


## ЧТО НА ДИСКЕ?

Прилагаемый компакт-диск содержит файлы всех лабораторных работ, рассматриваемых в книге.

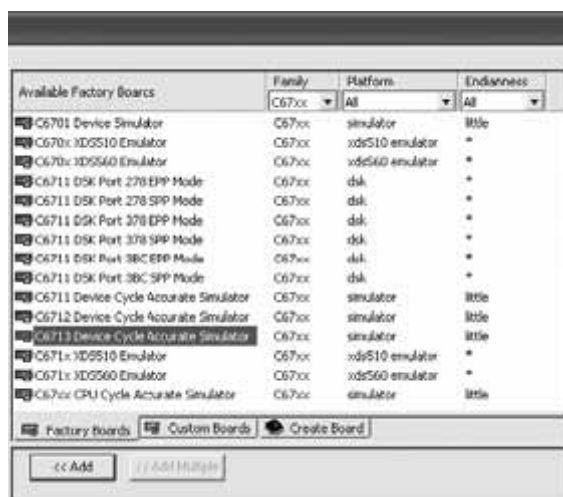
- Lab01: Знакомство с LabVIEW. Часть I
- Lab02: Знакомство с LabVIEW. Часть II
- Lab03: Дискретизация, квантование и восстановление сигнала
- Lab04: Разработка систем КИХ/БИХ-фильтрации
- Lab05: Типы данных и масштабирование
- Lab06: Системы адаптивной фильтрации
- Lab07: БПФ, ОПФ и ДВП
- Lab08: Знакомство с Code Composer Studio
- Lab09: Примеры интеграции с ПЦОС
- Lab10: Построение двухтональной многочастотной системы в LabVIEW
- Lab11: Построение модема 4-КАМ в LabVIEW
- Lab12: Построение MP3-плеера в LabVIEW

Для запуска файлов лабораторных работ следует установить LabVIEW National Instruments версии не ниже 7.1. На диске содержится демонстрационная версия LabVIEW 8.2. Файлы лабораторных работ нужно скопировать в папку «C:\LabVIEW Labs\».



Для лабораторных работ 8 и 9 требуется Code Composer Studio 2.2 (CCStudio), установленный в папку «C:\ti\». Для версии выше 3.0 установка производится в папку «C:\CCStudio\_v3.x». Вложенные папки соответствуют следующим платформам процессоров цифровой обработки сигналов:

- DSK6416
- DSK6713
- Симулятор (сконфигурированный для DSK6713, как показано ниже)



Область цифровой обработки сигналов (ЦОС) испытала значительный подъем в последние два десятилетия. Подъем этот в первую очередь обусловлен достижениями в развитии процессоров цифровой обработки сигнала (ПЦОС) и доступностью этих процессоров. Системы, основанные на ПЦОС, например сотовые телефоны и высокоскоростные модемы, стали неотъемлемой частью современной жизни.

Датчики генерируют аналоговые сигналы в ответ на происходящие в аналоговой форме (то есть непрерывные по времени и амплитуде) физические явления. Обработка сигналов возможна или в аналоговом, или в цифровом виде. При обработке аналоговых сигналов в цифровом виде требуется сформировать цифровые сигналы с помощью выборки в отдельные (дискретные) моменты времени и квантования (оцифровки) аналоговых сигналов. Таким образом, цифровой сигнал, в отличие от аналогового сигнала, является дискретным по времени и по амплитуде. Процесс оцифровки производится с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП). К области цифровой обработки сигналов относятся действия с цифровыми сигналами с целью извлечения из них полезной информации.

Обработка аналоговых сигналов в цифровой форме (или преобразование их в цифровые сигналы) предпочтительнее обработки в аналоговой форме по многим причинам. Основная причина — это возможность программирования, которую допускает цифровая обработка. Один и тот же процессор может использоваться во многих различных приложениях путем простого изменения записанного в памяти кода. Другая причина заключается в том, что цифровые схемы дают более надежный и устойчивый выходной сигнал по сравнению с аналоговыми (например, при изменении температуры). Вдобавок к этому обработка сигналов в цифровой форме имеет дополнительные преимущества, внутренне присущие именно цифровой обработке сигналов. К примеру, линейно-фазовый фильтр и заградительный фильтр с крутым срезом, а также многие адаптивные системы можно реализовать только при помощи методов цифровой обработки сигналов. В сущности цифровое представление (представление в виде нулей и единиц) позволяет одинаковым образом обрабатывать в цифровой форме голос, изображение, аудио- и видеоданные для передачи и хранения с минимальным количеством ошибок.

## 1.1. Курс практических лабораторных работ для изучения цифровой обработки сигналов

Почти все учебные планы по электронным инженерным специальностям включают курс, посвященный ЦОС. Многие университеты также предлагают лабораторные или практические занятия по ЦОС одновременно с теоретическим курсом или после него. Такие практические лабораторные занятия играют важную роль в понимании студентами принципов ЦОС. В качестве учебных материалов для лабораторных занятий по ЦОС было написано несколько книг, в частности [1—3]. В этих учебниках используются языки программирования C, MATLAB или ассемблер — все это текстовые языки программирования. В наше время для студентов важны не только навыки программирования на текстовых языках, но также и умение работать с графическими языками программирования (основанными на блок-диаграммах) или средами для быстрой разработки систем ЦОС. Итак, главная цель этой книги — показать основанный на блок-диаграммах подход к программированию, или программирование на системном уровне, в курсе лабораторных работ по ЦОС. В качестве графической среды программирования была выбрана среда LabVIEW.

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench, что примерно переводится как инженерная среда разработки виртуальных приборов) — это графическая среда программирования, разработанная фирмой National Instruments (NI), позволяющая вести проектирование на высоком (системном) уровне. В ней используется графический язык программирования, который создает так называемые виртуальные приборы в виде интуитивно понятных блок-схем. Проектирование в LabVIEW представляет собой объединение различных компонентов и подсистем в рамках графического шаблона. Особенности сбора, анализа и графического представления данных, обеспечиваемые LabVIEW, хорошо подходят к задачам проектирования цифровой обработки сигналов на системном уровне. Кроме того, LabVIEW — это открытая среда, в которой можно использовать коды на языках C и MATLAB, а также различные приложения, такие как ActiveX DLLs (Dynamic Link Libraries — динамически подключаемые библиотеки).

Эта книга написана в первую очередь для читателей, уже знакомых с основными принципами обработки сигналов<sup>1)</sup> и заинтересованных в том, чтобы разрабатывать системы обработки сигналов, не владея на профессиональном уровне языками C или MATLAB. После общего ознакомления с LabVIEW в книге описан подход к основным экспериментам, встречающимся в типичных лабораторных работах по ЦОС, с точки зрения LabVIEW. В настоящем издании собраны вместе сведения из различных справочников NI по LabVIEW, для того чтобы представить в курсе одного семестра все необходимые инструменты и технологии для проектирования систем обработки сигналов. Данная книга может использоваться как в качестве учебника, так и в качестве самоучителя.

---

<sup>1)</sup> Список книг по цифровой обработке сигналов, изданных в последнее время на русском языке, приведен в приложении 1. — *Примеч. пер.*

Для читателей, заинтересованных в получении конечного продукта в виде аппаратных средств, в книгу включены две дополнительные главы, посвященные реализации некоторых частей систем, спроектированных в LabVIEW, на реальном ПЦОС. Для этого был выбран процессор TMS320C6000. Данный процессор производит компания Texas Instruments (TI). Он используется для приложений, требующих интенсивных вычислений. Аппаратными средствами, обеспечивающими связь ПЦОС с LabVIEW, являются DSK (DSP Starter Kit) C6416 или C6713 фирмы TI. Следует заметить, что поскольку конечный результат лабораторной работы на ПЦОС (куда входят программы на C) не зависит от реализации приложений на LabVIEW, то те, кто не заинтересован в создании конечного ПЦОС продукта, могут пропустить эти две главы. Также подчеркнем, что в LabVIEW существуют служебные программы, генерирующие коды, поэтому любую часть проектируемой в LabVIEW системы можно выполнить на ПЦОС без программирования на C.

## 1.2. Структура книги

Книга состоит из 12 глав и 12 лабораторных работ. За этим введением следует глава 2, где в общем виде представлена среда программирования LabVIEW. Лабораторная работа 1 и лабораторная работа 2 во второй главе являются ознакомительным вводным курсом в LabVIEW. В главе 3 представлена тема преобразования сигналов из аналоговой в цифровую форму. Завершает главу 3 лабораторная работа 3, в которой показаны примеры дискретизации сигналов. Глава 4 посвящена цифровым фильтрам, и лабораторная работа 4 показывает, как с помощью LabVIEW проектируются цифровые КИХ- и БИХ-фильтры. В главе 5 сравниваются особенности процессоров с плавающей и фиксированной точкой. Лабораторная работа 5 посвящена типам данных и влиянию использования фиксированной точки. В главе 6 освещена тема адаптивной фильтрации. Лабораторная работа 6 посвящается двум системам адаптивных фильтров, состоящим из системы идентификации и системы подавления шумов. В главе 7 рассказывается об обработке сигналов в частотной области. За ней следует лабораторная работа 7, в которой рассмотрены три преобразования, наиболее часто используемые в обработке сигналов: быстрое преобразование Фурье (FFT), оконное преобразование Фурье (STFT) и дискретное вейвлет-преобразование (DWT). В главе 8 рассмотрена реализация спроектированной в LabVIEW системы на цифровом процессоре обработки сигналов TMS320C6000. Глава начинается с обзора архитектуры TMS320C6000. Далее, в лабораторной работе 8, представлено руководство по использованию Code Composer Studio (CCStudio) — среды разработки программного обеспечения для ПЦОС. Главу 8 продолжают глава 9 и лабораторная работа 9, в которых обсуждаются проблемы взаимодействия LabVIEW и ПЦОС. Главы с 10-й по 12-ю и соответствующие лабораторные работы посвящены трем примерам систем ЦОС, полностью разработанным в LabVIEW: двухтональным многочастотным сигналам (DTMF), программной модели радио и MP3-плееру.

## 1.3. Установка программного обеспечения

LabVIEW 7.1<sup>1)</sup> является последней версией LabVIEW, созданной на момент написания этой книги. Для ее установки необходимо запустить файл *setup.exe* с установочного диска LabVIEW 7.1. В некоторых разделах лабораторных работ используются такие наборы инструментов LabVIEW, как Digital Filter Design (Проектирование цифровых фильтров), Advanced Signal Processing (Улучшенная обработка сигналов) и DSP Test Integration for TI DSP (Проверка интеграции ПЦОС). Все эти наборы инструментов можно установить, запустив файл *setup.exe* с соответствующего диска с набором инструментов.

Если планируется запустить часть системы, спроектированной в LabVIEW, на ПЦОС, то необходимо установить программное приложение Code Composer Studio, запустив файл *setup.exe* с диска CCStudio. В лабораторных работах, имеющих отношение к DSK, используется CCStudio 2.2<sup>2)</sup>, последняя версия CCStudio на момент написания этой книги.

## 1.4. Обновления

Учитывая то, что программные средства постоянно совершенствуются и обновляются, можно ожидать выпуска обновленных версий LabVIEW и инструментов LabVIEW. Чтобы предусмотреть эти изменения и обеспечить возможность дальнейшего использования данного учебника в лабораторных занятиях по ЦОС, все новые версии лабораторных работ будут доступны на сайте [http://www.utdallas.edu/~kehtar/LabVIEW<sup>3\)</sup>](http://www.utdallas.edu/~kehtar/LabVIEW<sup>3)</sup>). Рекомендуется периодически проверять этот сайт и скачивать с него необходимые обновления.

## 1.5. Библиография

- [1] N. Kehtarnavaz, Real-Time Digital Signal Processing Based on the TMS320C6000, Elsevier, 2005.
- [2] S. Kuo, W-S Gan, Digital Signal Processors: Architectures, Implementations, and Applications, Prentice-Hall, 2005.
- [3] R. Chassaing, DSP Applications Using C and TMS320C6x DSK, Wiley Inter-Science, 2002.

---

<sup>1)</sup> На время перевода данной книги последней версией LabVIEW была 8.2, демонстрационная версия которой имеется на прилагаемом к книге компакт-диске. Тестирование всех лабораторных работ, приведенных в этой книге, производилось именно на этой версии, любезно предоставленной российским представительством фирмы NI при участии центра NI в Новосибирском государственном техническом университете. — *Примеч. пер.*

<sup>2)</sup> Для ПЦОС фирмы Texas Instruments на время перевода данной книги текущей версией была версия Code Composer Studio v. 3.1. При переводе глав 8, 9 и лабораторных работ к ним использовалось программное обеспечение и DSK6713, предоставленные кафедре электронных приборов Новосибирского государственного технического университета, где осуществлялся перевод книги, в рамках Европейской университетской программы фирмы Texas Instruments благодаря руководителю программы Роберту Оуэну. — *Примеч. пер.*

<sup>3)</sup> Переводчику не удалось получить доступ к этому сайту. Персональная страничка одного из авторов книги (Nasser Kehtarnavaz) имеет адрес <http://www.utdallas.edu/~nxk019000>. — *Примеч. пер.*

## СРЕДА ПРОГРАММИРОВАНИЯ LabVIEW

LabVIEW является графической средой программирования. В графической среде на разработку и анализ систем ЦОС затрачивается меньше времени, чем в среде текстового программирования. Графические программы LabVIEW называются виртуальными приборами (Virtual Instruments — VI). Работа виртуального прибора (ВП) основана на принципах потокового программирования. Это означает, что выполнение блока или графического компонента зависит от потока данных (говоря более точно, блок выполняется тогда, когда данные становятся доступны на всех его входах). После этого выходные данные блока посылаются на все остальные связанные с ним блоки. Потоковое программирование позволяет выполнять множество операций параллельно, так как их выполнение определяется потоком данных, а не последовательностью строчек кода.

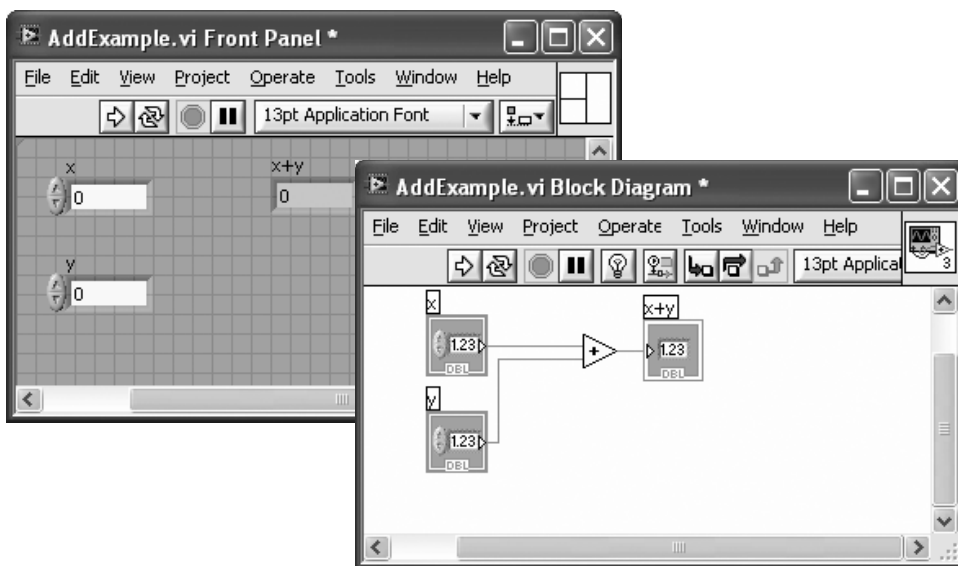
### 2.1. Виртуальные приборы

Виртуальный прибор (ВП) состоит из двух основных компонентов: лицевая панель и блок-диаграмма. Лицевая панель представляет собой интерфейс пользователя программы, а блок-диаграмма содержит ее графический код. ВП, расположенный внутри блок-диаграммы другого ВП, называется виртуальным подприбором (ВПП). Виртуальные приборы LabVIEW являются модульными, то есть любой ВП или ВПП может выполняться самостоятельно.

#### 2.1.1. Лицевая панель и блок-диаграмма

Лицевая панель содержит интерфейс пользователя виртуального прибора, находящегося на блок-диаграмме. Входы ВП представлены так называемыми элементами управления. Примерами элементов управления могут служить кнопки, регуляторы и круговые шкалы. Выходы представлены так называемыми индикаторами. Примеры индикаторов: диаграммы, светодиоды и стрелочные приборы. Во время работы ВП лицевая панель (интерфейс пользователя) выглядит как дисплей с элементами управления (входами) и индикаторами (выходами).

Блок-диаграмма содержит терминальные иконки, узлы, проводники данных и структуры. Терминальные иконки — это интерфейсы обмена данными между лицевой панелью и блок-диаграммой. Терминальные иконки соответствуют элементам управления или индикаторам, размещенным на лицевой панели. Всякий раз, когда вы помещаете на лицевой панели элемент управления или индикатор, к соответствующей блок-диаграмме добавляется терминальная иконка. Узел представляет собой объект, который имеет входные и/или выходные соединители и выполняет определенную функцию. Например, узлами являются ВПП и функции. Проводники данных передают поток данных на блок-диаграмме. Структуры, например циклы или условные конструкции, используются для управления ходом программы. На **Рис. 2.1** показан вид окон лицевой панели и блок-диаграммы.



**Рис. 2.1.** Окна LabVIEW: лицевая панель и блок-диаграмма

### 2.1.2. Иконка и соединительная панель

Иконка виртуального прибора — это его графическое представление. Она расположена в верхнем правом углу блок-диаграммы или окна лицевой панели. Когда ВП входит в состав блок-диаграммы в качестве ВПП, то на блок-диаграмме отображается его иконка.

Соединительная панель определяет входы (элементы управления) и выходы (индикаторы) ВП. Можно изменить количество входов и выходов, выбрав другую модель соединительной панели. На **Рис. 2.1** иконка ВП отображена в верхнем правом углу блок-диаграммы, а соответствующую ей соединительную панель с двумя входами и одним выходом можно видеть в верхнем правом углу лицевой панели.



## 2.2. Графическая среда

### 2.2.1. Палитра функций

Палитра **Functions** (Функции) (см. **Рис. 2.2**) предоставляет различные функции ВП, или блоки для создания системы. Чтобы открыть палитру, дважды щелкните правой кнопкой мышки на свободном пространстве блок-диаграммы. Заметим, что эту палитру можно вызвать только при работе с блок-диаграммой.

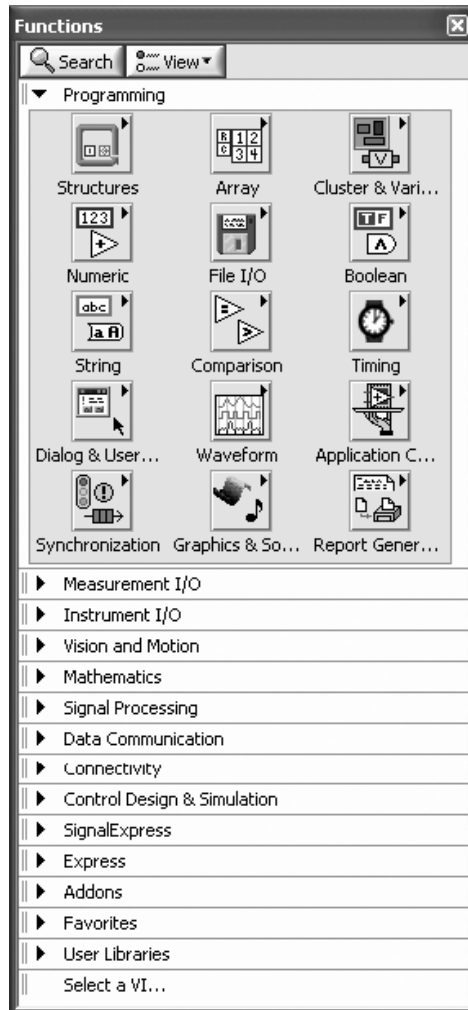
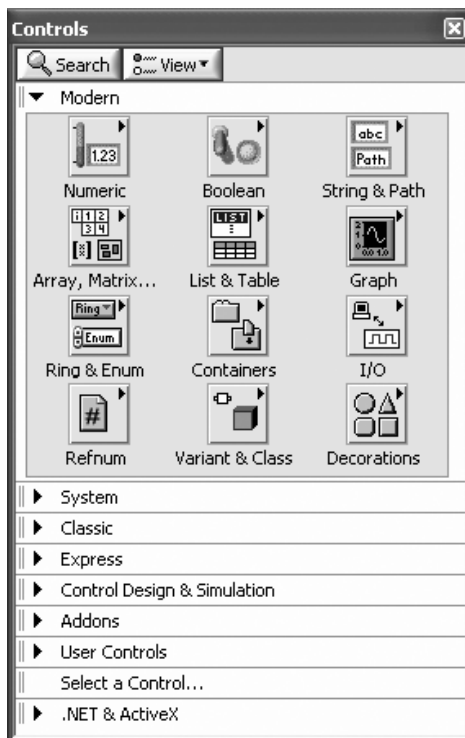


Рис. 2.2. Палитра функций

## 2.2.2. Палитра элементов управления

Палитра **Controls** (Элементы управления) (**Рис. 2.3**) предоставляет доступ к элементам управления и индикаторам лицевой панели. Чтобы открыть эту палитру, дважды щелкните правой кнопкой мышки на свободном пространстве лицевой панели. Эту палитру можно вызвать только при работе с лицевой панелью.



**Рис. 2.3.** Палитра элементов управления

## 2.2.3. Палитра инструментов

Палитра **Tools** (Инструменты) обеспечивает различные режимы работы курсора мыши для создания и отладки ВП. Палитра инструментов и часто используемые инструменты представлены на **Рис. 2.4**.

Каждый инструмент выполняет свою функцию. Например, инструмент **Wiring** (Соединение) используется для соединения объектов на блок-диаграмме. В режиме автоматического выбора инструмента (Automatic Tool Selection) LabVIEW выбирает инструмент, наилучшим образом соответствующий текущему положению курсора.

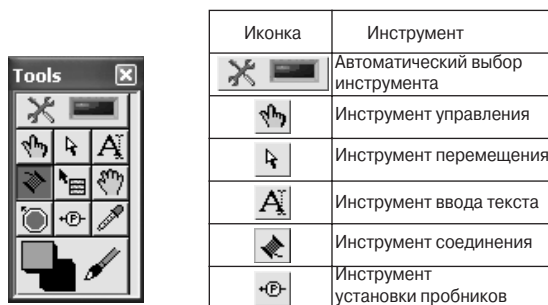


Рис. 2.4. Палитра инструментов

## 2.3. Создание лицевой панели

В общих чертах процесс создания ВП заключается в том, чтобы переключаться с лицевой панели на блок-диаграмму и обратно, размещая на лицевой панели входы и выходы и создавая блоки на блок-диаграмме.

### 2.3.1. Элементы управления

Элементы управления **Controls** представляют собой входы ВП. Элементы управления из палитры **Numeric** (Числовые элементы управления) используются для числовых входов, из палитры **Boolean** (Логические элементы управления) — для логических входов и из палитры **String & Path** (Строки и пути) — для текстовых данных и перечислений. Эти средства управления показаны на Рис. 2.5.

### 2.3.2. Индикаторы

**Indicators** (Индикаторы) представляют собой выходы ВП. В текущей версии LabVIEW индикаторы вместе с элементами управления расположены на палитре **Controls**. Свойство «Индикатор» является атрибутом элемента управления. Если этот атрибут имеет значение **ИСТИНА**, то элемент считается элементом управления, в противном случае — индикатором. Для изменения атрибута нужно щелкнуть правой кнопкой мышки и выбрать пункт меню **Change to ...** (Изменить на ...). Индикаторы из подпалитры **Numeric** (Числовые) используются для числовых выходов, из подпалитры **Boolean** (Логические) — для логических выходов, из подпалитры **String & Path** (Строки и пути) — для текстовых выходов и **Graph** (Графические) — для графических выходов. Графические индикаторы показаны на Рис. 2.6.