

# Форм-фактор StackPC – новый подход к разработке встраиваемых модулей и систем

## Часть 2. Стандарт StackPC и системы на его основе

Алексей Сорокин (Москва)

Рассмотрены стандарты StackPC и PCIe/104, отмечены преимущества и недостатки этих форм-факторов для различных областей применения. Описан стековый метод построения систем на базе StackPC и модели применения стековых модулей в составе защищённых компьютеров и встраиваемых устройств.

### СТЕКОВАЯ АРХИТЕКТУРА

Как уже отмечалось в первой части данной статьи, существуют два основных типа организации системы из набора модулей – магистрально-модульная и стековая. Основными отличиями этих систем являются способ подключения модулей к системе и способ доступа к интерфейсным разъёмам модулей.

В магистрально-модульной системе модули подключаются друг к другу через пассивные объединительные платы с разъёмами расширения. Как правило, такие системы строятся на базе каркасов для 19-дюймовых стоек, и наиболее известным производителем таких каркасов, объединительных плат и стоек является немецкая фирма Schroff. Неоспоримым преимуществом магистрально-модульных систем перед стековыми является возможность использования высокопроизводительных модулей с большим энергопотреблением. В каркасах для магистрально-модульных систем относительно легко организовать кондуктивный или активный теплоотвод с применением блоков вентиляторов, чтобы обеспечить стабильную работу мощных элементов и возможность применения источников питания (ИП) большой мощности. Важным стандартом для магистрально-модульных систем являются CompactPCI и его варианты (2.0, 2.30 и Serial).

Стековые модули не используют объединительные платы и соединяются друг с другом через разъёмы расширения, образуя компактную систему, которая неизбежно ограничивает потребляемую мощность. Основным применением стековых модулей явля-

ются защищённые системы, где стек с модулями и ИП устанавливаются в корпус. В такой конструкции возможен только кондуктивный теплоотвод на корпус. Как правило, максимальная мощность для большинства стековых систем составляет около 20 Вт, а для высокопроизводительных вариантов – 60 Вт. Одним из наиболее распространённых стековых стандартов является PC/104 и его более новые версии – PC/104-plus и PCI/104-Express.

Преимущество стековой архитектуры заключается в более высоких показателях по стойкости к механическим воздействиям при меньшей массе и габаритах системы, т.к. способы соединения и фиксации модулей без использования объединительных плат придадут стеку больше жёсткости в меньшем объёме. Напротив, в магистрально-модульных системах CompactPCI могут наблюдаться резонансные явления на модулях из-за люфта, обусловленного конструкцией крепления и материалом установленных в каркасе направляющих.

### СПЕЦИФИКАЦИЯ PCI/104-EXPRESS ИЛИ PCIe/104

Самая первая версия стандарта PC/104 предоставляла возможность расширения системы периферийными модулями только на базе шины ISA. Для этой шины был выбран разъём с количеством контактов 104, что отразилось в названии стандарта. Разъём имел штыревой соединитель, который обеспечивал двухстороннее подключение периферийных стековых модулей к процессорному модулю. После появления шины PCI в спецификацию

был добавлен второй разъём, и обновлённый стандарт получил название PC/104-plus.

В данной версии стандарта было введено ограничение: модули с шиной PCI должны стоять в стеке непосредственно за процессорным модулем, и только с одной стороны. По сути, стек модулей PCI стал односторонним. Вместе с необходимостью организации более эффективной системы кондуктивного теплоотвода для новых поколений процессоров это привело к появлению системных модулей, имеющих с одной стороны радиатор, а с другой – разъёмы расширения.

Следует отметить, что стандарт PC/104-plus описывает прямоугольный модуль, на котором две области на двух противоположных краях отведены под разъёмы расширения, а две области на двух других краях – под интерфейсные разъёмы ввода-вывода. В этих областях ответные части угловых интерфейсных разъёмов не должны выступать за оговоренные пределы более чем на 12,7 мм. Однако новые процессоры стали занимать большую площадь, а более функциональные процессорные модули потребовали больше разъёмов ввода-вывода.

По этой причине стандарт PC/104-plus негласно разделился на два типа – один для процессорных модулей, второй – для периферийных. Отличие состояло в том, что платы некоторых процессорных модулей были расширены на область разъёмов ввода-вывода («крылья» или «уши», см. рис. 1, справа), которые стали не угловыми, а вертикальными. Это и сегодня практикуется в процессорных модулях, позволяя реализовать самодостаточный модуль, совместимый с PC/104-plus.

Формально стандарт не регламентирует использование упомянутых областей для общей площади печатной платы, и, согласно спецификации, модули с «крыльями» должны именоваться не PC/104 Complaint (соответствующим



Рис. 1. Модуль PC/104 и PC/104-plus с «крыльями» и без «крыльев»

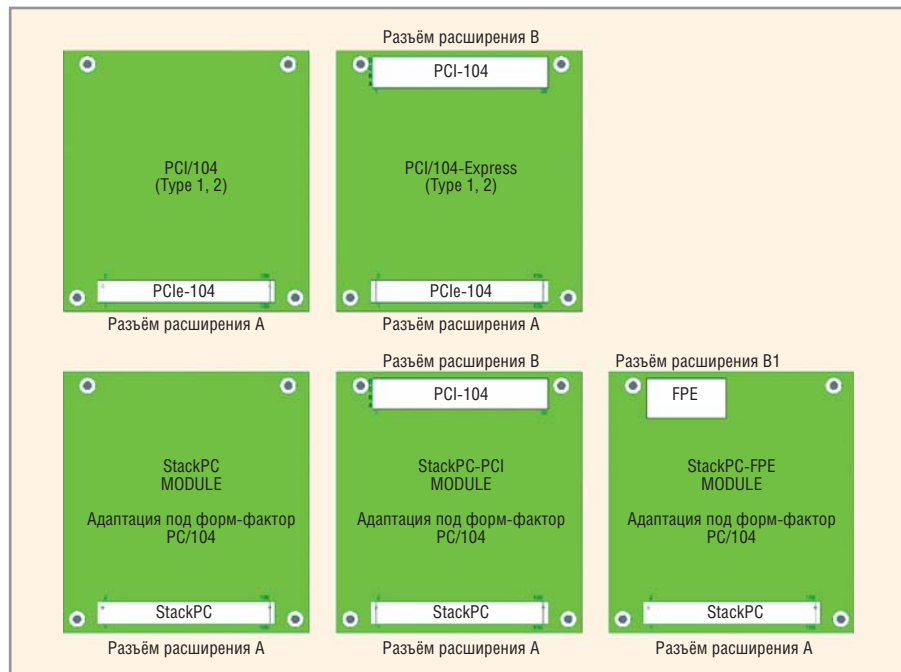


Рис. 2. Сравнение форм-факторов StackPC и StackPC-PCI с PCIe/104 и PCI/104-Express

щие стандарту по обязательным параметрам), а PC/104 Bus-compatible (совместимые по разъёму расширения). Но такое расширение не мешает процессорным модулям вписаться в большинство уже разработанных систем PC/104.

В периферийных модулях такое решение не применяется. Во-первых, подавляющее большинство этих модулей менее требовательно к площади печатной платы и отводу тепла, поскольку они содержат меньшее число интерфейсных разъёмов по сравнению с процессорными модулями. Во-вторых, такое расширение для периферийного модуля, установленного в середину стека, перекроет область вывода интерфейсных кабелей в корпусе, в то время как процессорный модуль практически всегда устанавливается в стек крайним.

С ростом производительности процессорных модулей и появлением контроллеров для шин PCI, шина ISA стала вытесняться, и появилась версия стандарта без шины ISA – PCI/104. Начиная с данной версии стандарта, на модуле уже не было разъёма расшире-

ния с количеством контактов 104, но название PC/104 сохранилось как признак габаритных размеров форм-фактора – 3,55×3,78" (~90×96 мм). Стандарт PCI/104 не получил широкого распространения на рынке процессорных модулей, поскольку не поддерживал широкую номенклатуру присутствующих на рынке модулей с шиной ISA.

Вслед за PCI/104 появился стандарт PCI/104-Express, где на освободившееся от разъёма ISA место был установлен разъём с шинами PCI-Express (далее PCIe). Этот разъём отличался тем, что был разработан для поверхностного монтажа. В результате для организации стека необходимо устанавливать один тип разъёма в верхнем слое TOP, а другой – в нижнем слое BOTTOM. Разъём состоит из трёх групп по 52 контакта с одной панелью питания для каждой группы. Эти группы называли «банками» (Bank 1, 2 и 3). В первых версиях PCI/104-Express на первый банк разъёма были выведены четыре шины PCIe x1, а на второй и третий – шина PCIe x16. В стандарт была добавлена возможность использования шины

PCIe x16 в качестве двух шин PCIe x8 или x4; также допускалось использование этой шины в режиме видеointерфейса (SDVO), который был мультиплексирован в микросхемах Intel с шиной PCIe x16.

Предполагалось, что наличие шины PCIe x16 позволит в полной мере использовать возможности передовой технологии PCIe, а поддержка SDVO – разрабатывать относительно простые модули видеointерфейсов DVI, VGA или LVDS. Первая версия стандарта появилась в марте 2008 года, но во встраиваемых решениях того времени ни PCIe x16, ни SDVO не нашли широкого применения. В периферийных модулях шина PCIe x16 использовалась в режиме двух шин PCIe x4 для подключения модулей расширения с цифровыми сигнальными процессорами (DSP – Digital Signal Processor). Поэтому данный стандарт не имел широкого распространения по сравнению с PC/104-plus.

Существует версия стандарта PCIe/104, в которой отсутствует разъём PCI. Однако, как и PCI/104, она менее распространена, поскольку не обеспечивает поддержку уже имеющихся на рынке модулей без дополнительных переходников с мостами PCIe-PCI. Стандарт PCI/104-Express отличается от PCIe/104 наличием второго разъёма расширения PCI для поддержки модулей предыдущего поколения, поэтому далее по тексту мы будем рассматривать и сравнивать со StackPC вариант PCIe/104 (см. рис. 2).

**СОВМЕСТИМОСТЬ МОДУЛЕЙ СТАНДАРТА PCI/104-EXPRESS РАЗНЫХ ТИПОВ**

Из-за низкой популярности первой версии стандарта PCI/104-Express по сравнению со стандартом PC/104-plus в 2011 году консорциум (www.pc104.org) решил обновить спецификацию. В результате была опубликована версия 2.0, где изменились требования к интерфейсам на разъёме расширения PCIe/104. Убрать первую версию назначения контактов разъёма из спецификации консорциум не решил, т.к. это привело бы к потере совместимости с уже разработанными модулями на базе шин PCIe x16/x8/x4. Поэтому был предложен альтернативный вариант назначения контактов, названный Тип 2 (Type II), а первый вариант был переименован в Тип 1 (Type I).

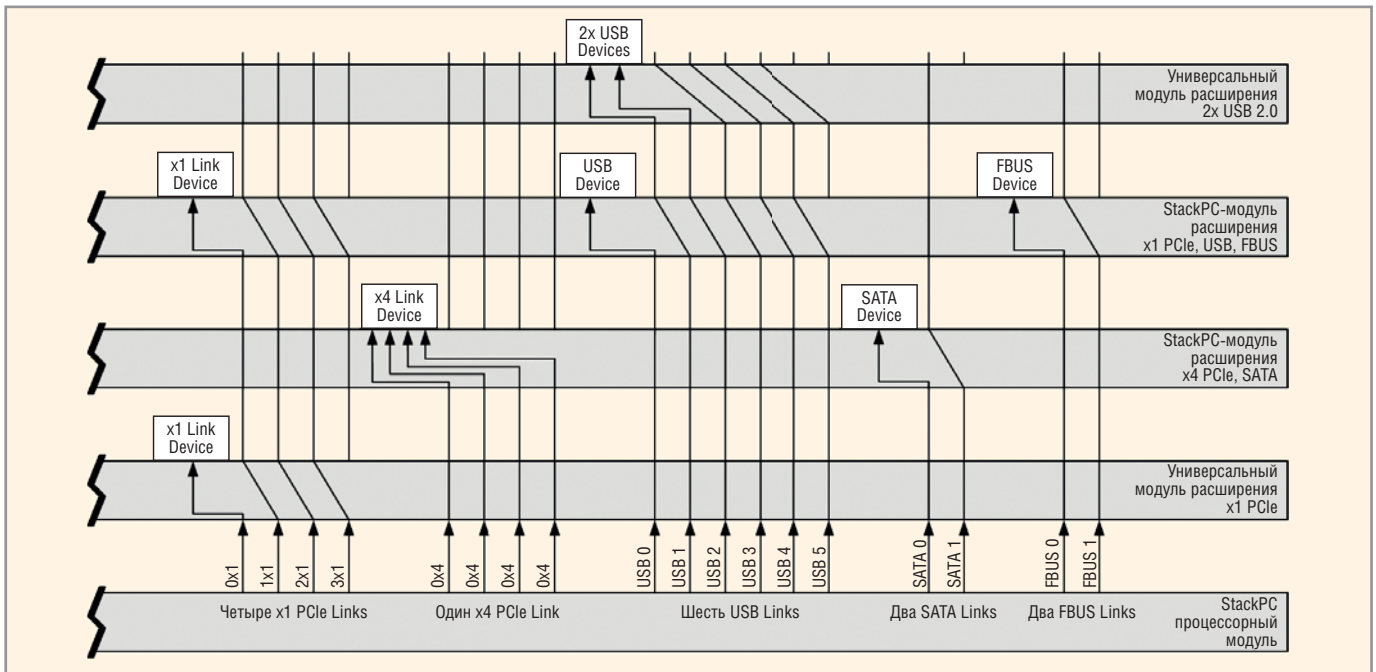


Рис. 3. Технология Line Shifting для стека модулей

Во втором типе шину PCIe x16 заменили на две шины PCIe x4, два интерфейса SATA и два интерфейса USB 3.0. Предполагается, что данные интерфейсы будут востребованы в качестве стековых интерфейсов расширения для периферийных модулей. В Типе 2 изменению подверглись только Банки 2 и 3 разъёма расширения, а Банк 1 остался без изменений. Следует отметить, что введённые интерфейсы SATA и USB 3.0 могут вызвать повреждение модулей, если в стек установлен – скорее, по ошибке – модуль, использующий шину PCIe x16.

Для защиты от некорректной установки модулей в стек был введён механизм Bus Stacking Error (ошибка стека шин), который предполагает установку подтягивающих резисторов на трёх линиях – STK 0, 1 и 2. Для каждого типа предусмотрена своя конфигурация резисторов, задающая код на линиях STK. Если процессорный модуль в момент включения питания обнаруживает код, который конфликтует с его конфигурацией, то он должен обеспечить сброс всей системы и выдать индикацию ошибки стека. Например, если на процессорный модуль Тип 2 с интерфейсами SATA или USB 3.0 установлен периферийный модуль Тип 1 с шиной PCIe x16, то система не должна включиться, иначе модули будут повреждены.

Модули, использующие только интерфейсы первого банка разъёма расширения, являются универсальными (Universal) и могут работать с модуля-

ми первого и второго типов без ограничений. Такой механизм защиты должен присутствовать на всех модулях, соответствующих спецификации PCIe/104 версии 2.0 и выше. Более ранние модули такой защиты не имеют, и должны использоваться с осторожностью.

В спецификации PCIe/104 появилась технология Line Shifting – механизм смещения линий для групп шин PCIe, SATA и USB на периферийных модулях. Эта технология позволяет отказаться от задания слота переключателями, как в PC/104-plus. Каждый периферийный модуль всегда берёт со стека первую шину, а последующие сдвигает на одну позицию влево (вторую на первую, третью на вторую и т.д.). Таким образом, вне зависимости от позиции в стеке, периферийный модуль всегда окажется подключённым к свободной шине PCI-Express в первой позиции. Такая технология потребовалась для реализации автоматической раздачи шин, работающих по принципу точка-точка, на модули в стеке (см. рис. 3). Аналогичная технология раздачи интерфейсов присутствует и в системах Compact PCI, но там она реализована на объединительной плате, а не в модулях расширения.

Для возможности установки модулей сверху или снизу стека с реализацией технологии Line Shifting требуется на каждом модуле использовать переключатели сигналов шин PCIe, SATA и USB с нижнего или верхнего разъёмов, обеспечивающие поддержку техноло-

гии Line Shifting. Если модуль подключается сверху стека, то он использует первую линию с нижнего разъёма, а нижние линии сдвигает на верхний разъём для следующих модулей. Если модуль подключается снизу стека, то он использует первую линию с верхнего разъёма, а остальные линии сдвигает с верхнего разъёма на нижний, для следующих снизу модулей.

Согласно спецификации, периферийные модули могут быть подключены к процессорному модулю PCIe/104 с обеих сторон (через верхний и нижний разъёмы расширения). Однако для обеспечения целостности сигналов на шине PCIe (аналогично шине PCI в стандарте PC/104-plus), необходимо устанавливать модули расширения PCIe/104 либо сверху, либо снизу. Таким образом, стандарт, по сути, определяет односторонний стек. Для снятия ограничения был введён ещё один тип процессорных модулей – с разъединёнными верхними и нижними разъёмами. Это означает, что выводы верхнего и нижнего стекового разъёма на процессорном модуле подключены к разным шинам, не связанным между собой. Это внесло разнообразие в модули PCIe/104, которые теперь могут иметь разъём второго типа сверху и первого типа снизу, или два отдельных разъёма второго типа сверху и снизу для построения двухсторонней стековой системы. Различные типы процессорных модулей новой версии стандарта PCIe/104 перечислены в таблице 1.

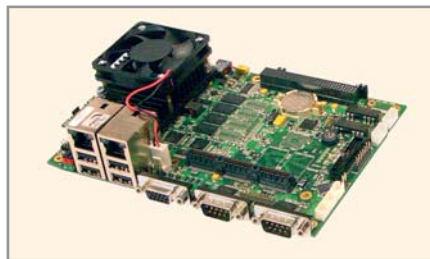


**Рис. 4. Модуль StackPC типа CPC350, адаптированный под формат PCIe/104 (Фаствел, Россия)**

Такое разнообразие типов может приятно удивить, когда требуется построить защищённую систему в корпусе на базе модулей различных типов. Кроме проблем с размещением модулей в одном стеке, подключением ИП к стеку, выводом интерфейсов на лицевую панель корпуса и организацией теплоотвода, добавляется задача обеспечения совместимости модулей. Не следует забывать, что некоторые типы не совместимы между собой, и их установка в стек вызовет ошибку стека шин. Если же использовать модули, работающие только с интерфейсами первого банка, то проблем с совместимостью удастся избежать, но это ограничивает потенциал системы в целом.

### СПЕЦИФИКАЦИЯ StackPC

Стандарт описывает разъёмы расширения StackPC и FPE, а также разъёмы питания StackPWR, которые должны применяться во встраиваемых моду-



**Рис. 5. Модуль StackPC типа CPC805, адаптированный под формат 3,5" (Фаствел, Россия)**

лях, соответствующих стандарту. Отличием данной спецификации является то, что она описывает не конкретный модуль с данными разъёмами, а непосредственно сами разъёмы и их взаимное расположение. Таким образом, спецификация не определяет конкретные механические размеры модулей.

Это было сделано намеренно, поскольку в определённых областях есть свои распространённые форм-факторы в части габаритных размеров модулей. Взаимное расположение разъёмов всегда можно перенести на требуемые габариты, а соответствие стандарту StackPC укажет, что модули электрически совместимы между собой. Механическое соответствие будет достигнуто соблюдением соответствующих требований стандарта, под форм-фактор которого происходит адаптация StackPC. Например, если адаптировать подход StackPC под форм-фактор PCIe/104, то потребуется лишь изме-

нить назначение выводов разъёма расширения PCIe/104, исключить переключатели сигналов шин PCIe, а для процессорных модулей ещё и исключить нижний разъём и снять жёсткое ограничение на высоту компонентов с нижней стороны платы. В результате получится модуль, максимально приближенный по функциональности и механическим характеристикам к PCIe/104, но соответствующий стандарту StackPC по назначению контактов разъёма расширения.

В ближайшее время на рынке появится ряд модулей StackPC, адаптированных под форм-фактор PCI/104-Express – это модули CPC309, CPC350, NIM1801 фирмы Фаствел (см. рис. 4), которые механически и электрически совместимы со стандартом PCI/104-Express, за исключением (не столь важной) возможности организации стека вниз, и с поддержкой не двух, а одной шины x4 PCI-Express. В то же время эти модули обладают всеми достоинствами StackPC. Аналогично можно адаптировать StackPC и под такие распространённые форм-факторы, как EPIC, EBX, 3,5" и др. Примером такой адаптации является уже существующий на рынке модуль CPC805 (см. рис. 5), который совместим с модулями StackPC и универсальными модулями PCI/104-Express.

Если у разработчика системы есть форм-фактор, продиктованный конкретной системой, то он может разместить на своём модуле или плате-носителе разъём StackPC и предусмотреть установку стекового модуля StackPC, адаптированного под форм-фактор PCIe/104. В результате появляется возможность расширить систему модулями StackPC и PCIe/104. Габаритные и присоединительные размеры наиболее востребованных для адаптации форм-факторов приводятся в приложении к стандарту StackPC. На данный момент опубликованная предварительная версия стандарта StackPC охватывает адаптацию форм-факторов PCI/104-Express, EPIC, EBX и 3,5". В ближайшее время появится новая версия спецификации, в том числе на русском языке (см. [www.stackpc.org](http://www.stackpc.org)).

Спецификация StackPC разрабатывалась независимо от введения новых типов в стандарт PCI/104-Express. Причиной была необходимость разработки и распространения более технологичной и простой в понимании и реализации альтернативы всё более

**Таблица 1. Сравнение типов модулей PCIe/104**

|                                   | Процессорные модули PCIe/104 |           |             |             |             | Процессорные модули StackPC |             |
|-----------------------------------|------------------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------|-------------|
|                                   | Тип 1                        | Тип 2     | Тип 1       | Тип 2       | Тип 1       | StackPC                     | StackPC-FPE |
| Верхний разъём                    | Тип 1                        | Тип 2     | Тип 1       | Тип 2       | Тип 1       | StackPC                     | StackPC-FPE |
| Нижний разъём                     | Тот же                       | Тот же    | Тип 1       | Тип 2       | Тип 2       | –                           | –           |
| Реализация разъёмов расширения    | Соединены                    | Соединены | Разъединены | Разъединены | Разъединены | Один вверх                  | Два вверх   |
| Двухсторонний стек                | Нет                          | Нет       | Да          | Да          | Да          | Нет                         | Нет         |
| <b>Интерфейсный набор системы</b> |                              |           |             |             |             |                             |             |
| x1 PCIe Links                     | 4                            | 4         | 8           | 8           | 8           | 4                           | 4           |
| USB 2.0                           | 2                            | 2         | 4           | 4           | 4           | 6                           | 6           |
| SMB                               | 1                            | 1         | 1           | 1           | 1           | 1                           | 1           |
| x4 PCIe Links                     | 2*                           | 2         | 4*          | 4           | 2+2*        | 1                           | 1+2*        |
| x8 PCIe Links                     | 2*                           | –         | 4*          | –           | 2*          | –                           | 2*          |
| x16 PCIe Links                    | 1*                           | –         | 2*          | –           | 1*          | –                           | 1*          |
| SATA                              | –                            | 2         | –           | 4           | 2           | 2                           | 2           |
| USB 3.0                           | –                            | 2         | –           | 4           | 2           | –                           | –           |
| LPC                               | –                            | 1         | –           | 1           | 1           | 1                           | 1           |
| GbE                               | –                            | –         | –           | –           | –           | 2                           | 2           |
| Indication                        | –                            | –         | –           | –           | –           | 3                           | 3           |
| FBUS (CAN/RS232)                  | –                            | –         | –           | –           | –           | 2                           | 2           |
| SPI                               | –                            | –         | –           | –           | –           | 3                           | 3           |
| Express CARD                      | –                            | –         | –           | –           | –           | 2                           | 2           |
| Display Port                      | –                            | –         | –           | –           | –           | –                           | 1           |
| Configurable pins                 | –                            | –         | –           | –           | –           | –                           | 61          |

\* интерфейсы не могут использоваться одновременно, один из режимов задаётся при построении системы

сложному и многообразному стандарту PCIe/104. Поэтому основными идеями StackPC стали:

- организация системного подхода в спецификации;
- определение одного направления роста стека;
- повышение технологичности модулей и системы в целом;
- унификация методов организации теплоотвода для модулей и корпусов;
- определение требований к ИП как части системы;
- расширение применения стекowych модулей на область COM-модулей;
- обеспечение совместимости с основными типами модулей PCIe/104;
- обеспечение возможности дальнейшего развития стандарта.

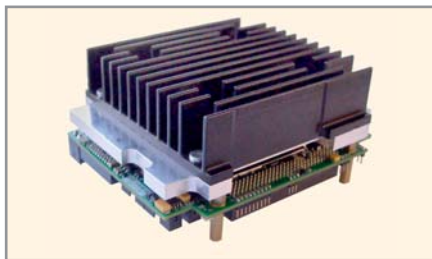
Системный подход означает, что спецификация должна быть ориентирована не только на описание разъёмов расширения и габаритов модулей, но и на рекомендации, как эффективно строить системы на базе StackPC. Обобщение системного подхода к модулям позволит им стать более совместимыми между собой по механическим параметрам и интерфейсным разъёмам, что должно обеспечить уменьшение

трудоемкость разработки систем на их основе. Подход StackPC ориентирован на создание систем с количеством модулей в стеке не более семи, не считая ИП и интерфейсный модуль.

Важным системным подходом является определение наращивания стека модулей только в одном направлении. Поскольку периферийный модуль всегда устанавливается над процессорным, то это требование обеспечивает исключение из модулей StackPC микросхем переключателей интерфейсов PCIe, SATA, USB и Gigabit Ethernet (GbE), которые необходимы для всех модулей PCIe/104. Для сравнения, только на базе процессорного модуля PCI/104-Express с двумя разделёнными верхними и нижними разъёмами можно создать стек модулей, растущий в обе стороны. Другие типы PCIe/104 также предполагают установку не более 6 модулей в стек, и только с одной стороны от процессорного модуля (с верхней или нижней). Фактически, это означает, что на базе подавляющего большинства модулей PCIe/104 можно построить только односторонний стек, а разработчикам систем остаётся выбор стороны процессорного модуля.

В стандарте StackPC этот вопрос чётко регламентирован: стек растёт только вверх от процессорного модуля. Это позволяет разрабатывать процессорные, периферийные и интерфейсные модули, а также системы, исходя из общего принципа целесообразности. Исключение компонентов, обеспечивающих переключение интерфейсов, с периферийных модулей уменьшает количество переходных отверстий на печатных платах для высокоскоростных интерфейсов стека, что повышает технологичность и надёжность модулей, снижает их себестоимость и ускоряет разработку. По отношению к процессорным модулям данное требование убирает все нижние разъёмы и, как следствие, освобождает площадь платы под установку микросхем и позволяет устанавливать более высокие компоненты на нижнем слое процессорного модуля.

Не менее важным является тот факт, что отсутствие разъёмов на нижнем слое платы позволяет организовать эффективный теплоотвод. Теперь ничто не мешает установке широкого радиатора на процессорный модуль и организации теплоотвода на любую



**Рис. 6. Система пассивного теплоотвода с теплораспределительной пластиной и радиатором применяется для односторонних стековых модулей (Фаствел, Россия)**

стенку корпуса – отсутствуют два разъёма с двух сторон модуля. В результате для такой системы уже появились модули StackPC с эффективным теплоотводом (см. рис. 6). Подобные изделия можно одинаково эффективно применять как в «классических» корпусах PC/104, так и в корпусах с кондуктивным теплоотводом, например, на базе платформы МК308, рассмотренной в первой части данной статьи.

Спецификация StackPC предлагает следующий набор интерфейсов:

- 4x1 PCIe (четыре x1 Link PCI-Express);
- 1x4 PCIe (один x1 Link PCI-Express);
- 6x USB 2.0;
- 2x SATA;
- 2x Gigabit Ethernet;
- LPC, SMB;
- 2x FBUS (CAN или RS-232);
- SPI (3 линии выбора устройств на шине);
- поддержку Express Card и линий индикации SATA, GbE.

Часть интерфейсов совпадает с PCIe/104, и по этим интерфейсам спецификации являются совместимыми. Однако StackPC дополнительно содержит интерфейсы GbE, 4 порта USB 2.0, SPI, FBUS, Express Card и индикацию. Назначение выводов разъёма расширения приведено в таблице 2.

Интерфейс GbE в стандарте StackPC представлен интерфейсом MDI (Medium Dependent Interface – интерфейс, зависящий от передающей среды). Данный интерфейс требует дополнительной установки трансформатора на интерфейсной плате или плате-носителе для организации порта 1000BASE-T/TX, аналогично спецификации COM-Express. Таким образом, можно сделать периферийный модуль для стека, который будет использовать интерфейс GbE MDI вместо шины PCIe для связи с процессорным модулем. Это может быть сетевой коммутатор, встраиваемый модуль питания с функ-

цией PoE (Power over Ethernet), модуль расширения или контроллер на базе процессоров с архитектурой ARM или AVR и т.п.

Дополнительные 4 порта USB являются расширением группы портов USB первого банка. Последовательный периферийный интерфейс SPI (Serial Peripheral Interface) – это 4-проводный интерфейс для подключения периферийных устройств к процессорному модулю. Согласно спецификации, может быть адресовано до трёх периферийных устройств, а тип интерфейса и механизм адресации определяются конкретным процессорным модулем. Для линий выбора периферийных устройств (линии SPI\_SS[x]# – Slave Select) также применяется механизм Line Shifting.

Интерфейс полевой шины Field BUS, согласно спецификации, определяется пользователем или разработчиком процессорного модуля. Оговорено три модели применения линий данного интерфейса – это CAN (две линии CAN\_H и CAN\_L), UART (3-проводной интерфейс с цепями TX, RX и RTS#) или пользовательский. Поскольку данные интерфейсы предназначены для вывода на внешний разъём корпуса (с дальнейшим подключением к шинам CAN или RS485), то они предполагают установку соответствующего драйвера и цепей гальванической изоляции на интерфейсном модуле или на плате-носителе. Это означает, что разработчик системы выбирает процессорный модуль и выбирает или разрабатывает под него интерфейсный модуль или плату-носитель, на которой устанавливает необходимый драйвер линии.

Пользовательская модель предполагает, что интерфейс будет вводиться в стек со специализированных периферийных модулей расширения. В таком случае данные интерфейсы от процессорного модуля обрываются, т.е. цепи нижнего разъёма не подключаются, а необходимые интерфейсы заводятся на верхний разъём. Далее этот пользовательский интерфейс будет использоваться на специализированном интерфейсном модуле или на плате-носителе. Другие модели применения данного интерфейса спецификацией не определены.

Расширение Express Card представлено в стеке двумя линиями сигналов PE\_PRSTNT[0:1]#, индицирующих установку карт расширения Express Card с интерфейсом PCIe. Таким образом, на

периферийном модуле или на плате-носителе можно установить два разъёма расширения для Express Card и поддержать функцию обнаружения установки карт и их горячей замены.

Индикация на стековом разъёме используется для отражения активности жёстких дисков и портов GbE. Цепи индикации предназначены для вывода на индикаторы лицевой панели корпуса через периферийный модуль или плату-носитель. Размещение этих цепей на стековом разъёме позволяет организовать наиболее важную индикацию состояния блока без применения кабельных соединений и унифицировать данный метод для всех изделий, соответствующих стандарту. Как правило, используемых цепей достаточно, чтобы понять «завис» ли блок, идёт ли активная работа прикладного ПО с жёсткими дисками и есть ли активность в сети Ethernet.

Следует отметить, что все интерфейсы не являются обязательными. Каждый модуль StackPC использует лишь тот функционал, который ему необходим, а остальные сигналы пропускаются с нижнего разъёма на верхний. Если на периферийном модуле использован первый интерфейс из группы, то, согласно требованию стандарта, остальные интерфейсы данной группы сдвигаются на позицию вниз с помощью механизма смещения линий Line Shifting. В стандарте StackPC это жёстко реализовано топологией печатной платы, без использования микросхем-переключателей.

### СОВМЕСТИМОСТЬ МОДУЛЕЙ StackPC и PCI/104-EXPRESS

Первый банк разъёма StackPC полностью идентичен первому банку разъёма PCIe/104. Следовательно, эти стандарты полностью совместимы по первому банку разъёма расширения. Если консорциум PC/104 решил заменить невостребованную шину PCIe x16 на втором и третьем банках разъёма расширения на две шины PCIe x4 и порты 2x USB 3.0, 2x SATA, то в стандарте StackPC шина PCIe x16 была заменена на одну шину PCIe x4 и порты 2x GbE, 2x SATA, 4x USB 2.0. Это было сделано по нескольким причинам.

Первая причина – популярность интерфейсов GbE, которых на современных встраиваемых процессорных модулях, как правило, всегда два. Вторая – сохранение совместимости с PCIe/104 хотя бы по одному интерфейсу PCIe x4

Таблица 2. Назначение контактов разъёма расширения StackPC

|                       |
|-----------------------|
| USB Interface         |
| PCI-Express Interface |
| ATX Power Supply      |
| SMBus Interface       |
| SPI Bus               |
| Field Bus Interface   |
| LPC Bus               |
| SATA Interface        |
| Ethernet Interface    |
| Power Interface       |
| Type DETECT pin       |

(для модулей, которые уже разработаны под шину PCIe x4), который может быть востребован для создания графических видеоадаптеров, модулей ввода видеосигналов и вычислителей на базе DSP-процессоров. Третья причина – наличие на современных встраиваемых процессорах только одной шины PCIe x4. Чаще всего второй шины PCIe x4 не существует, поэтому резервировать выводы разъёма под невостребованный интерфейс нецелесообразно.

В стандартах StackPC и PCIe/104 присутствуют общие интерфейсы во втором и третьем банках, – SATA и LPC. Они занимают одни и те же выводы на разъёме, и по этим интерфейсам стандарты полностью совместимы. Интерфейс SATA необходим для размещения носителей информации большого объёма на периферийных модулях в стеке. Это могут быть SSD-диски (Solid State Drive) для жёстких условий эксплуатации или обычные SATA-диски формата 2,5". Использование интерфейса с разъёма расширения устраняет необходимость в кабеле данных и питания между диском в стеке и процессорным модулем. Интерфейс LPC используется для подключения микросхем Super IO и микросхем ПЛИС (FPGA). Микросхемы Super IO, распространённые в системах на базе архитектуры x86, в настоящее время применяются в основном для поддержки интерфейса PS/2 и последовательных портов RS-232/422/485.

Хотя первый порт PCIe x4 занимает в обеих спецификациях одинаковые выводы, следует учитывать, что модули PCIe/104 рассчитаны на два порта PCIe x4. По этой причине они оснащены микросхемами-переключателями интерфейсов PCIe x4 согласно требованиям стандарта по сдвигу интерфейсов одной группы (Line Shifting) для поддержки двустороннего стека. Таким образом, на периферийных модулях, которые используют лишь один порт PCIe x4, на втором порту всегда установлены микросхемы-переключатели, и если такой модуль PCIe/104 устано-

| StackPC Верхний разъём (Connector A) |             |                 |             |     |                  |
|--------------------------------------|-------------|-----------------|-------------|-----|------------------|
| Банк 1                               | 1           | USB_OC#         | +5 В        | 2   | PE_RST#          |
|                                      | 3           | 3.3V            |             | 4   | 3.3V             |
|                                      | 5           | USB_1p          |             | 6   | USB_0p           |
|                                      | 7           | USB_1n          |             | 8   | USB_0n           |
|                                      | 9           | GND             |             | 10  | GND              |
|                                      | 11          | PEx1_1Tp        |             | 12  | PEx1_0Tp         |
|                                      | 13          | PEx1_1Tn        |             | 14  | PEx1_0Tn         |
|                                      | 15          | GND             |             | 16  | GND              |
|                                      | 17          | PEx1_2Tp        |             | 18  | PEx1_3Tp         |
|                                      | 19          | PEx1_2Tn        |             | 20  | PEx1_3Tn         |
|                                      | 21          | GND             |             | 22  | GND              |
|                                      | 23          | PEx1_1Rp        |             | 24  | PEx1_0Rp         |
|                                      | 25          | PEx1_1Rn        |             | 26  | PEx1_0Rn         |
|                                      | 27          | GND             |             | 28  | GND              |
|                                      | 29          | PEx1_2Rp        |             | 30  | PEx1_3Rp         |
|                                      | 31          | PEx1_2Rn        |             | 32  | PEx1_3Rn         |
|                                      | 33          | GND             |             | 34  | GND              |
|                                      | 35          | PEx1_1Clkp      |             | 36  | PEx1_0Clkp       |
|                                      | 37          | PEx1_1Clkn      |             | 38  | PEx1_0Clkn       |
|                                      | 39          | +5V_SB          |             | 40  | +5V_SB           |
|                                      | 41          | PEx1_2Clkp      |             | 42  | PEx1_3Clkp       |
| 43                                   | PEx1_2Clkn  | 44              | PEx1_3Clkn  |     |                  |
| 45                                   | GND (DIR)   | 46              | PWRGOOD     |     |                  |
| 47                                   | SMB_DAT     | 48              | PE_x4_CLKp  |     |                  |
| 49                                   | SMB_CLK     | 50              | PE_x4_CLKn  |     |                  |
| 51                                   | SMB_ALERT#  | 52              | PSON#       |     |                  |
| Банк 2                               | 53          | STK0 / WAKE#    | +5 В        | 54  | STK1 / SATA_ACT# |
|                                      | 55          | Type_DETECT#    |             | 56  | GND              |
|                                      | 57          | ETH_0_MDI(0)p   |             | 58  | PEx4_0T(0)p      |
|                                      | 59          | ETH_0_MDI(0)n   |             | 60  | PEx4_0T(0)n      |
|                                      | 61          | GND             |             | 62  | GND              |
|                                      | 63          | ETH_1_MDI(0)p   |             | 64  | PEx4_0T(1)p      |
|                                      | 65          | ETH_1_MDI(0)n   |             | 66  | PEx4_0T(1)n      |
|                                      | 67          | GND             |             | 68  | GND              |
|                                      | 69          | ETH_0_MDI(1)p   |             | 70  | PEx4_0T(2)p      |
|                                      | 71          | ETH_0_MDI(1)n   |             | 72  | PEx4_0T(2)n      |
|                                      | 73          | GND             |             | 74  | GND              |
|                                      | 75          | ETH_1_MDI(1)p   |             | 76  | PEx4_0T(3)p      |
|                                      | 77          | ETH_1_MDI(1)n   |             | 78  | PEx4_0T(3)n      |
|                                      | 79          | ETH_1_LINK_ACT# |             | 80  | ETH_0_LINK_ACT#  |
| 81                                   | SATA_T1p    | 82              | SATA_T0p    |     |                  |
| 83                                   | SATA_T1n    | 84              | SATA_T0n    |     |                  |
| 85                                   | GND         | 86              | GND         |     |                  |
| 87                                   | USB_3p      | 88              | USB_2p      |     |                  |
| 89                                   | USB_3n      | 90              | USB_2n      |     |                  |
| 91                                   | GND         | 92              | GND         |     |                  |
| 93                                   | USB_5p      | 94              | USB_4p      |     |                  |
| 95                                   | USB_5n      | 96              | USB_4n      |     |                  |
| 97                                   | GND         | 98              | GND         |     |                  |
| 99                                   | ETH_1_CTREF | 100             | ETH_0_CTREF |     |                  |
| 101                                  | SPI_MOSI    | 102             | SPI_SS0#    |     |                  |
| 103                                  | SPI_MISO    | 104             | SPI_SS1#    |     |                  |
| Банк 3                               | 105         | STK2 / SPI_SCK  | +12 В       | 106 | LPC_CLK          |
|                                      | 107         | SPI_SS2#        |             | 108 | GND              |
|                                      | 109         | ETH_0_MDI(2)p   |             | 110 | PEx4_0R(0)p      |
|                                      | 111         | ETH_0_MDI(2)n   |             | 112 | PEx4_0R(0)n      |
|                                      | 113         | GND             |             | 114 | GND              |
|                                      | 115         | ETH_1_MDI(2)p   |             | 116 | PEx4_0R(1)p      |
|                                      | 117         | ETH_1_MDI(2)n   |             | 118 | PEx4_0R(1)n      |
|                                      | 119         | GND             |             | 120 | GND              |
|                                      | 121         | ETH_0_MDI(3)p   |             | 122 | PEx4_0R(2)p      |
|                                      | 123         | ETH_0_MDI(3)n   |             | 124 | PEx4_0R(2)n      |
|                                      | 125         | GND             |             | 126 | GND              |
|                                      | 127         | ETH_1_MDI(3)p   |             | 128 | PEx4_0R(3)p      |
|                                      | 129         | ETH_1_MDI(3)n   |             | 130 | PEx4_0R(3)n      |
|                                      | 131         | PE_PRSN1#       |             | 132 | PE_PRSN0#        |
|                                      | 133         | SATA_R1p        |             | 134 | SATA_R0p         |
|                                      | 135         | SATA_R1n        |             | 136 | SATA_R0n         |
|                                      | 137         | GND             |             | 138 | GND              |
|                                      | 139         | FBUS_1p         |             | 140 | FBUS_0p          |
| 141                                  | FBUS_1n     | 142             | FBUS_0n     |     |                  |
| 143                                  | GND         | 144             | GND         |     |                  |
| 145                                  | LPC_AD0     | 146             | LPC_DRQ#    |     |                  |
| 147                                  | LPC_AD1     | 148             | LPC_SERIRQ# |     |                  |
| 149                                  | GND         | 150             | GND         |     |                  |
| 151                                  | LPC_AD2     | 152             | LPC_FRAME#  |     |                  |
| 153                                  | LPC_AD3     | 154             | RTC_Battery |     |                  |
| 155                                  | FBUS_1RTS#  | 156             | FBUS_0RTS#  |     |                  |

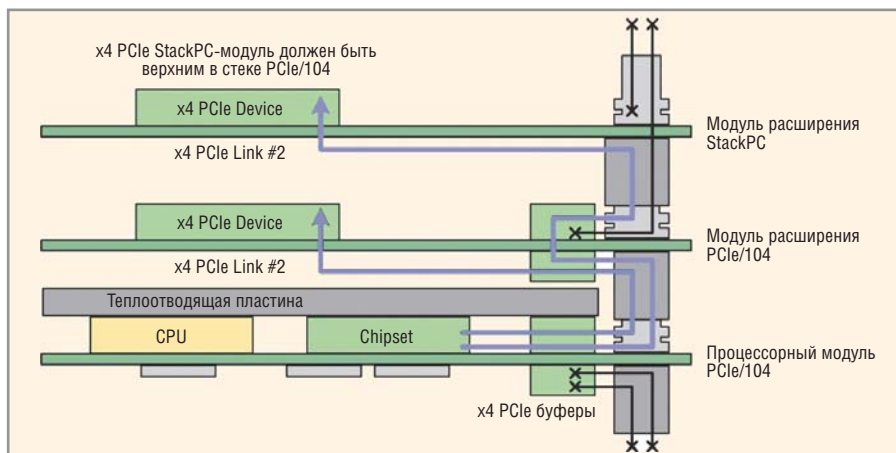


Рис. 7. Смешанный стек модулей формата PCIe/104 и StackPC, использующих шину x4 PCIe

вить в стек к процессорному модулю StackPC с портом GbE, то произойдет конфликт этих разнотипных интерфейсов и возникнет ошибка стека, – модули просто не включатся.

С периферийными модулями StackPC с интерфейсом PCIe x4, не использующим GbE-интерфейс, проблем не возникает. Такой модуль не имеет переключателей интерфейса PCIe или GbE и может свободно использоваться в стеке PCIe/104. Фактически, это тот же самый PCIe/104, но без микросхем-переключателей. Главное, чтобы он был либо единственным модулем, ис-

пользующим шину PCIe x4, либо стоял следующим в стеке за периферийным модулем PCIe/104, использующим первый и сдвигающим на первую позицию второй интерфейс PCIe x4 (см. рис. 7).

В стандарте PCIe/104 введено два порта USB 3.0, которые являются, так же как и второй порт PCIe x4, специфичными только для PCIe/104 Type 2. Модули с этими интерфейсами допускают совместную установку только модулей того же второго типа или универсальных модулей, использующих только первый банк.

Аналогично стандарт StackPC имеет свои специфичные интерфейсы – порты GbE, 4 дополнительных порта USB 2.0 во втором банке, интерфейсы SPI и FBUS. Дополнительно стандарт StackPC предполагает использование карт Express Card с возможностью горячей замены, индикацию активности SATA или бортового IDE и индикацию активности порта Ethernet. Если модуль StackPC оснащён этими интерфейсами, то принято говорить о полнофункциональном модуле StackPC (StackPC Full Function).

В стек с полнофункциональными модулями StackPC можно установить либо модули StackPC, либо универсальные модули PCIe/104, использующие только первый банк разъёма расширения, интерфейс SATA и LPC. Если в стек с полнофункциональными модулями StackPC подключить универсальный модуль PCIe/104, то на модулях StackPC будут недоступны функции горячей замены Express Card, SPI, все линии индикации и управление передатчиками FBUS (линии RTS#). В стандарте это называется режимом ограниченной функциональности. Все остальные интерфейсы будут работать без ограничений. Таким образом, по интерфейсам и типам модулей можно заявить совместимые комбинации типов модулей (см. табл. 3).

Таблица 3. Совместимость разъёмов StackPC и PCIe/104

| Интерфейсы       | Банк разъёма | Тип модуля |              |                                 |                              | Совместимость по интерфейсам                |
|------------------|--------------|------------|--------------|---------------------------------|------------------------------|---|
|                  |              | Universal  | Type 1       | Type 2                          | StackPC                      |   |
| x1 PCIe Links    | 1            | 4          | 4            | 4                               | 4                            | Полная                                      |
| USB 2.0 (банк 1) | 1            | 2          | 2            | 2                               | 2                            | Полная                                      |
| USB 2.0 (банк 2) | 2            | –          | x8, x16 PCIe | USB 3.0                         | 4                            | Нет, если используются указанные интерфейсы |
| USB 3.0 (банк 2) | 2,3          | –          | x8, x16 PCIe | 2                               | USB 2.0, FBUS                | Нет, если используются указанные интерфейсы |
| SMB              | 1            | 1          | 1            | 1                               | 1                            | Да  |
| x4 PCIe Links    | 2,3          | –          | 2*           | 2                               | 1                            | Да  |
| x8 PCIe Links    | 2,3          | –          | 2*           | SATA, SATA_DETECT, LPC, USB 3.0 | SATA, LPC, USB 2.0, GbE, SPI | Нет, если используются указанные интерфейсы |
| x16 PCIe Links   | 2,3          | –          | 1*           | SATA, SATA_DETECT, LPC, USB 3.0 | SATA, LPC, USB 2.0, GbE, SPI | Нет, если используются указанные интерфейсы |
| SATA             | 2,3          | –          | x8, x16 PCIe | 2                               | 2                            | Type 2 и StackPC                            |
| LPC              | 3            | –          | x8, x16 PCIe | 1                               | 1                            | Type 2 и StackPC                            |
| GbE              | 2,3          | –          | x8, x16 PCIe | SATA_DETECT, x4 PCIe Link 2     | 2                            | Нет, если используются указанные интерфейсы |
| Indication       | 2            | –          | –            | –                               | 3                            | –   |
| SATA_DETECT      | 2            | –          | x8, x16 PCIe | 2                               | SPI                          | Нет, если используются указанные интерфейсы |
| SPI              | 2,3          | –          | x8, x16 PCIe | SATA_DETECT                     | 3                            | Нет, если используются указанные интерфейсы |
| Express CARD     | 3            | –          | –            | –                               | 2                            | –   |

\* интерфейсы не могут использоваться одновременно, один из режимов задаётся при построении системы

1. Серым цветом выделены совместимые интерфейсы различных типов модулей.

2. Жёлтым цветом выделены интерфейсы, которые являются специфичными для указанного типа.

Данные интерфейсы не совместимы в одном стеке с интерфейсами, указанными красным цветом.

3. Красным цветом выделены конфликтующие интерфейсы, не совместимые с интерфейсами модулей других типов.

4. Синим цветом выделены интерфейсы, которые не поддерживаются другими типами модулей, но не создают проблем совместимости.

Защита от неправильной комбинации модулей в стеке реализована просто. В спецификации StackPC приведена примерная электрическая схема обнаружения ошибки стека. Для типов StackPC, аналогично PCIe/104, введены подтягивающие резисторы на линии кодировки типа модуля – цепи STK0, 1, 2. Данная схема предполагает наличие фиксации ошибочного кода на линиях STK в момент включения, переведёт систему StackPC в режим ограниченной функциональности или в режим ошибки стека. Если несовместимый с PCIe/104 периферийный модуль будет установлен в стек PCIe/104, то резисторы этого модуля также вызовут ошибку стека PCIe/104, и система не будет повреждена. Если модуль StackPC разрабатывается только для применения StackPC, то данной защиты не требуется. Логика детектирования ошибки стека занимает на плате очень мало места, и необходимо лишь понять её механизм, детально описанный как в StackPC, так и в спецификации PCIe/104.

Продолжение следует

