

# CompactPCI Serial – УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ БОРТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

А.Медведев<sup>1</sup>, к.т.н.

УДК 004.383.3  
БАК 05.13.00

Компьютерные модули на базе стандарта CompactPCI Serial с кондуктивным охлаждением – оптимальное решение для многих бортовых систем. Они обеспечивают высокое быстродействие в сочетании с эффективным отводом тепла. Данная статья посвящена CompactPCI-модулям, в том числе предлагаемым компанией FASTWEL, а также принципам построения бортовых вычислительных комплексов с их использованием.

**В**ычислительные системы, устанавливаемые на различных подвижных объектах, – это сложные и многофункциональные комплексы, предлагающие решения для широкого круга задач. В зависимости от типа объекта-носителя они могут помогать человеку-оператору и расширять его возможности: классический пример – бортовой комплекс авионики на пилотируемом самолете; либо служить основным, а иногда и единственным, центром управления самоходного аппарата-робота, например беспилотных летательных аппаратов, подводных обитаемых аппаратов, космических аппаратов и др. Центром таких систем управления является бортовой вычислительный комплекс – специализированный компьютер, оснащенный, как правило, операционной системой реального времени и подключенный при помощи периферийного оборудования к системам сбора информации и управления объектом-носителем<sup>2</sup>.

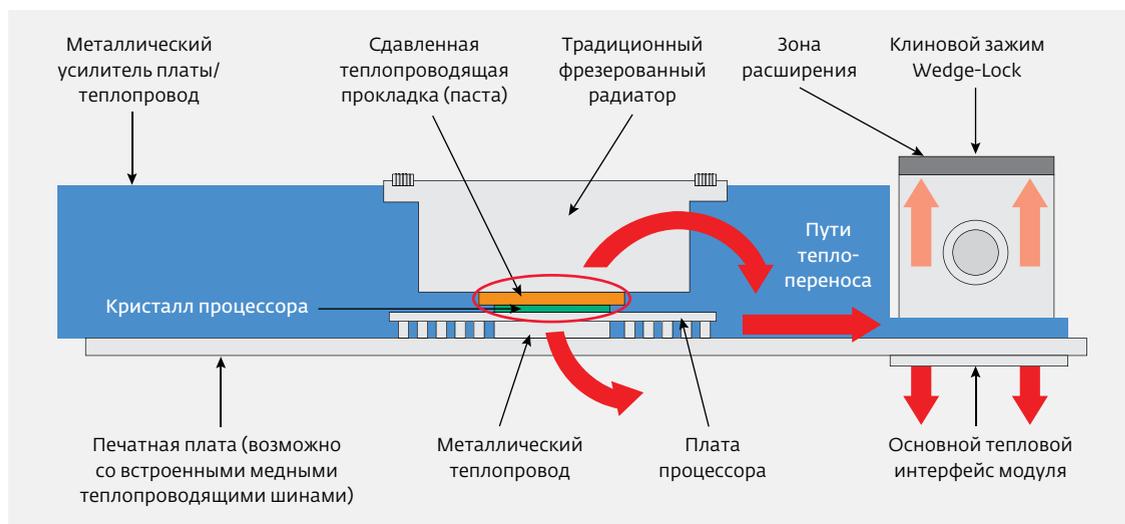
Необходимость управления объектом в реальном времени в сочетании с резко возрастающими потоками обрабатываемой информации в таких приложениях, как анализ информации от радиолокационной станции, распознавание графических образов, шифрование/дешифрование потоковых данных, подразумевает высокие требования к быстродействию вычислитель-

ного комплекса. Это приводит к росту потребляемой им мощности и, соответственно, повышению требований к системам питания и охлаждения. В обычных условиях для решения такого класса задач используют встраиваемые компьютеры с магистрально-модульной архитектурой на базе современных высокоскоростных последовательных интерфейсов, таких как CompactPCI Serial, AdvancedTCA, MicroTCA, VPX и других, причем конструктивно эти компьютеры размещаются в различных стандартных 19-дюймовых конструктивах и охлаждаются при помощи мощных вентиляционных систем. Однако такие решения, как правило, непригодны для установки на борт подвижного объекта по многим причинам: ограничения по габаритам, потребляемой мощности, возможностям охлаждающей вентиляции (например, на борту обитаемого космического аппарата давление газа очень низкое и конвективного теплоотвода фактически нет). Дополнительная проблема – очень высокие требования по вибростойкости и ударопрочности оборудования, применяемого на подвижных объектах-носителях, которые в процессе движения могут подвергаться внешним воздействиям, при этом бортовой вычислительный комплекс должен сохранять работоспособность.

Рациональное решение в подобной ситуации – применение вычислительных систем с кондуктивным охлаждением, обеспечивающим одновременное решение проблем устойчивости системы к механическим воздействиям и теплоотвода (рис.1). Тепло от нагретых электронных компонентов передается последовательно через несколько металлических теплопроводящих дета-

<sup>1</sup> Компания ПРОСОФТ, бренд-менеджер, info@prosoft.ru.

<sup>2</sup> Гарсия В. Бортовые вычислительные комплексы с кондуктивным теплоотводом: пример конструктивной реализации на основе спецификации VPX REDI // Современные технологии автоматизации. 2013. № 1.



**Рис.1.** Схема теплоотвода при кондуктивном охлаждении

лей на корпус шасси, с которого отводится воздухом, или на корпус носителя (например, в случае подводного аппарата). В настоящее время подспецификации для систем с кондуктивным охлаждением предусмотрены во многих основных стандартах, в частности, VPX (несколько подспецификаций), CompactPCI Serial (в базовой спецификации) и MicroTCA (MTCA.3).

### CompactPCI Serial С КОНДУКТИВНЫМ ТЕПЛОТВОДОМ

Система отвода тепла – один из ключевых факторов надежности компьютера. Согласно упрощенной формуле срок эксплуатации компьютера уменьшается вдвое при увеличении температуры на каждые 10°C. Стандарт CompactPCI Serial определяет два типа охлаждения модулей: конвекционный (воздушный) и кондуктивный.

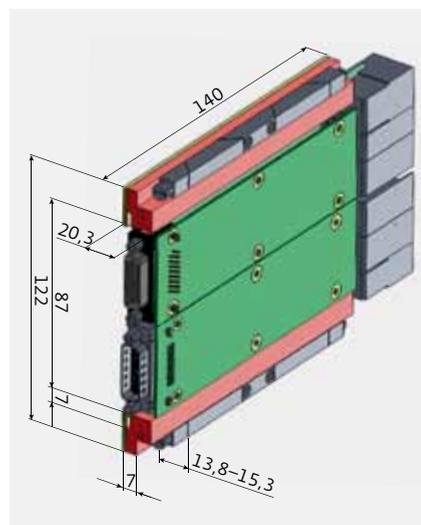
Система на основе кондуктивного теплоотвода предназначена для установки модулей размером 122×162 мм (3U) с шагом 5HP. Габариты плат CompactPCI Serial с кондуктивным теплоотводом (рис.2) отличаются от плат с воздушным теплоотводом. Кондуктивные платы строятся на базе конвекционного модуля, заключенного в металлический кожух, что существенно снижает затраты производителей на создание такой платы и, как следствие, уменьшает ее себестоимость.

В отличие от стандарта CompactPCI Serial для стандарта VPX производитель разрабатывает две версии печатных плат: одну для конвекционного исполнения, другую для кондуктивного – требование стандарта по габаритам. Согласно стандарту VPX размеры платы в кондуктивном исполнении должны быть такими же, как для версии с воздушным охлаждением, что создает определенные трудности как для разработчиков плат, так и для пользователей. Снижается гибкость VPX-системы, а зачастую отсутствует возможность замены плат с воздушным охлаждением на платы с кондуктивным теплоотводом.

Благодаря возможности преобразования любой платы стандарта CompactPCI Serial с воздушным охлаждением в модуль с кондуктивным теплоотводом пользователи могут быстро разработать систему с кондуктивным отводом тепла. Применение плат CompactPCI Serial позволяет повторно использовать багаж навыков, знаний, отработанных алгоритмов при модернизации существующих или разработке новых систем.

### ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ С КОНДУКТИВНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Для начала производится расчет тепловыделения системы и выбирается корпус, обеспечивающий отвод выделяемой тепловой энергии. Параллельно учитываются место установки корпуса, требования к механическим и климатическим воздействиям. Поскольку это сложная инженерная задача, то серийно выпускаемых корпусов для систем с кондуктивным охлаждением не существует. Вычисли-



**Рис.2.** Габариты (мм) плат CompactPCI Serial с кондуктивным теплоотводом

тельный комплекс с кондуктивным охлаждением строится для конкретного заказчика и системы.

Бортовой вычислительный комплекс с кондуктивным охлаждением состоит из нескольких компонентов: модульного шасси с кросс-платой, блока питания и вычислительных модулей в специальных теплоотводящих кожухах с системой теплоотвода (рис.3). Модули прочно фиксируются в шасси при помощи специальных распорных клиновых зажимов Wedge-Lock и Card-Lock. Таким образом тепло передается на кожух модуля, с которого благодаря большой площади контакта между ним и корпусом шасси в сочетании с высоким усилием прижатия клиновых зажимов легко отводится на корпус и затем во внешнюю среду.

Модульная структура системы на базе платформенной концепции позволяет пользователю ее расширять и развивать. Системы могут различаться геометрическими размерами, электромагнитным экранированием, степенью защиты оболочки оборудования, вариантами теплоотвода.

Шасси системы собирается из свинченных между собой фрезерованных алюминиевых деталей. Для изготовления деталей могут использоваться различные алюминиевые сплавы, соответствующие требованиям заказчика. Способ финишной обработки поверхностей также может различаться: черное анодирование (наиболее выгодное, с точки зрения теплоотвода), никелирование, желтое хромирование и др. Корпус шасси снаружи может иметь ребрение для улучшения теплоотдачи, систему крепежных отверстий и фланцев для крепления аксессуаров, кронштейнов и дополнительных крышек. Передняя и задняя крышки обычно симметричны, могут быть разной глубины и дорабатываться в соответствии с требованиями заказчика – иметь отверстия для размещения внешних разъемов и переключателей.

Конструкция шасси должна обеспечивать максимально эффективную контактную теплопередачу от нагретых активных компонентов на корпус шасси. Перед началом

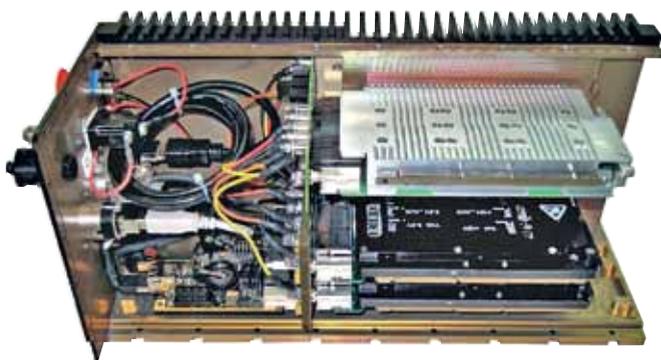


Рис.3. Бортовой вычислительный комплекс с кондуктивным охлаждением

изготовления системы "в металле" проводится детальное компьютерное моделирование ее теплового режима (рис.4), по результатам которого проект дорабатывается и снова моделируется до получения необходимого результата.

### ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЕЙ СТАНДАРТА CompactPCI

CompactPCI Serial – надежная и перспективная технология для широкого спектра применений. Вычислительные модули, выполненные согласно стандарту CompactPCI, хорошо зарекомендовали себя во многих приложениях, в том числе в робототехнике, бортовых системах, промышленной автоматизации, научных исследо-

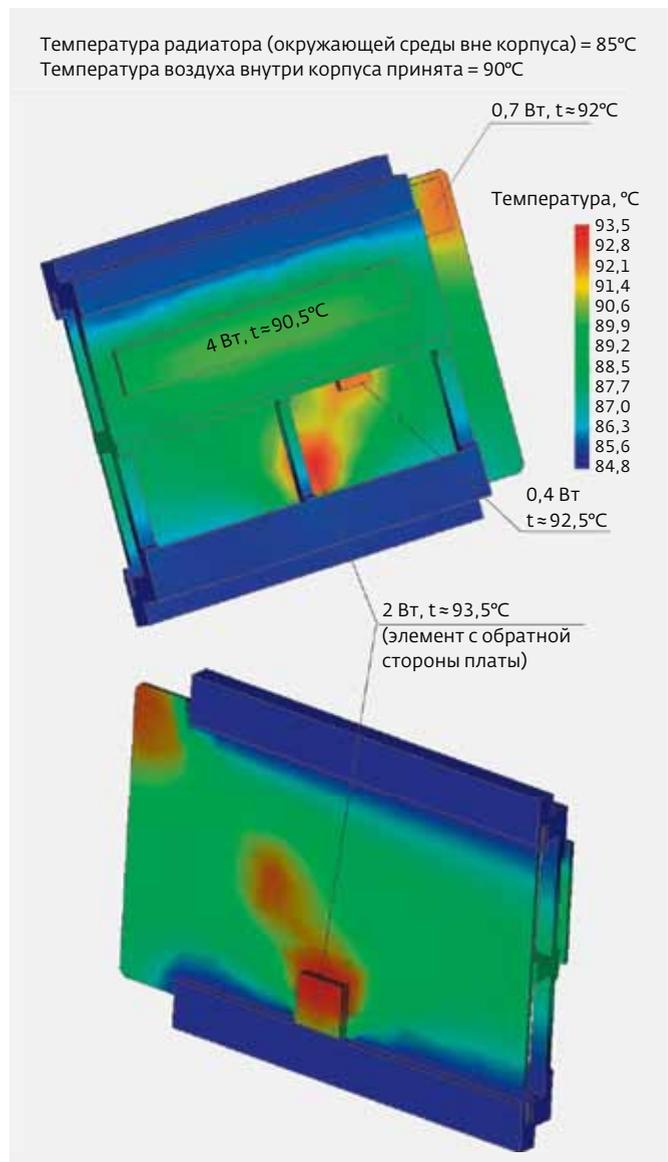


Рис.4. Результаты компьютерного моделирования теплового режима модуля

ваниях, системах связи. Конструктив евромеханики, возможность кондуктивного съема тепла делают стандарт CompactPCI Serial идеальным для создания техники специального назначения.

Показательный пример надежности систем, выполненных по стандарту CompactPCI, – система управления марсохода Opportunity (рис.5), который управляется двумя компьютерами на базе стандарта CompactPCI.

На красную планету марсоход Opportunity был высажен 24 января 2004 года и до сих пор продолжает функционировать.

Ядро системы управления – одноплатный компьютер RAD6000 (производитель BAE Systems), выполненный в формате CompactPCI 6U версии 2.0.

Система управления обеспечивает решение комплекса задач на борту марсохода:

- безопасное перемещение марсохода в автономном режиме;
- управление манипулятором для установки сенсорных элементов измерительной аппаратуры в заданные положения;
- управление приборами и сбор получаемых данных;
- передача данных и прием команд из центра управления.

### CompactPCI Serial ОТ FASTWEL

В линейку продукции FASTWEL входят CompactPCI-модули с воздушным и кондуктивным теплоотводом. Сегодня это семейство устройств высотой 3U. В качестве базовых конструкций используются отработанные и хорошо зарекомендовавшие себя в эксплуатации CompactPCI-платы FASTWEL с воздушным охлаждением. Все модули рассчитаны на работу в расширенном диапазоне температур (–40...85°C).



Рис.5. Марсоход Opportunity (Источник: mars.nasa.gov/mer/gallery/artwork/hires/rover3.jpg)

Особенности конструкции модулей с кондуктивным теплоотводом зачастую не позволяют оснастить переднюю панель полным набором разъемов, развитой индикацией и отсеками расширения. Как правило, все интерфейсы, необходимые для связи с периферией, реализованы через объединительную панель (кросс-плату) и расположены в зоне контактов тыльного ввода-вывода.

Модуль процессора CPC510 (рис.6, см. таблицу) разработан для предоставления потребителям высокоинтегрированного решения в форм-факторе CompactPCI Serial 3U с целью использования в системах реального времени, контроля производства, высокоскоростного сбора и обработки данных. Основа модуля – процессор Ivy Bridge (два ядра) фирмы Intel. В модуле CPC510 применяются скоростные интерфейсы ввода-вывода (PCI Express, Gigabit Ethernet), поддерживаются современные технологии для работы с видео. Модульное построение изделия позволяет гибко настраивать систему для конкретных областей применения, оптимизируя соотношение "цена – качество".

Стабильность работы модуля CPC510 позволяет использовать его во всех промышленных приложениях. Компоненты, на базе которых строится CPC510, тщательно отобраны по критериям применимости во встраиваемых системах. Благодаря этому на базе модуля можно создавать системы с долгим жизненным циклом.

Модуль имеет следующую структуру каналов ввода-вывода:

- два Ethernet-контроллера 1Гбит/с (выведены на переднюю панель);
- 12 портов USB 2.0 с поддержкой скоростей HS, FS и LS (по два на передней панели и на мезонине, восемь на разъеме кросс-платы);



Рис.6. Процессорный модуль FASTWEL CPC510 с кондуктивным теплоотводом

Сравнительная таблица процессорных модулей FASTWEL в формате CompactPCI Serial

Параметр		CPC510	CPC512
Соответствие стандартам		PICMG 2.0, PICMG 2.1 PICMG 2.30 PICMG cPCI-S.0	PICMG cPCI-S.0
Ширина, включая мезонины		4HP, 8HP, 12HP	
Центральный процессор		Intel i7-3517UE 1,7 ГГц Intel i7-3555LE 2,5 ГГц	Intel i7-3517UE 1,7 ГГц Intel i7-3612LE 2,1 ГГц Intel i7-3612QE 2,1 ГГц
Оперативная память		4/8 Гбайт DDR3L SDRAM с ECC 1600 МГц, напаяна	
Графическая подсистема (встроенная в ЦП)	Интерфейсы	2×Display Port на лицевой панели, 1×Display Port и LVDS (18/24 бит) на мезонине MIC590	2×Display Port на лицевой панели
	Количество независимых дисплеев	3	2
Коммуникационные интерфейсы на передней панели		2×Gigabit Ethernet, 2×USB 2.0	
Интерфейсы подсистемы хранения	На плате	1×MicroSD	
	На мезонинах и на модулях тыльного ввода-вывода	2×SATA II на MIC584	2×SATA III на MIC584
Интерконнекты межмодульной коммуникации по кросс-плате	PCI	32 бит, 33 или 66 МГц	-
	PCI Express	Два канала ×8 PCI Express Gen 2.0 (Fat Pipe), четыре канала ×4 PCI Express	Два канала ×8 PCI Express Gen 3.0 (Fat Pipe), два канала ×4 PCI Express Gen 3.0, четыре канала ×1 PCI Express Gen 2.0
	Gigabit Ethernet	Нет	1×Gigabit Ethernet с поддержкой AMT
	SATA	2×SATA III, 3×SATA II	
	USB	8×USB 2.0, 4×USB 3.0	10×USB 2.0, 4×USB 3.0
Поддержка ОС		Windows 7 Embedded, Linux 2.6, QNX 6.5.0	
Расчетное энергопотребление*		От 30 до 65 Вт в зависимости от модификации	От 30 до 35 Вт в зависимости от модификации
Устойчивость к вибрации/одиночным ударам		5g/100g	
Среднее время наработки на отказ (Mean time between failures, MTBF) (ГОСТ 15150-69)		Более 100 000 ч	
Диапазон рабочих температур**		0-55°C/0-70°C/-40...85°C	
Мезонинные модули	Модель	MIC584	
	Интерфейсы лицевой панели	Audio IN/OUT/MIC, 2×USB 2.0, 1×RS-232, PS/2	
	Интерфейсы на плате	2×SATA II, 5×RS-232/485, LPT	

\* Расчетное энергопотребление – энергопотребление для расчета системы отвода тепла от модуля. Фактическое энергопотребление зависит от загрузки и выполняемого приложения и может быть меньше указанного значения.

\*\* Диапазон рабочих температур зависит от модификации изделия.



- четыре порта USB 3.0 (выведены на разъем кросс-платы);
- шесть портов SATA (четыре порта выведены на разъем кросс-платы, один на разъем мезонина, один переключаемый – кросс-плата / мезонин);
- один DisplayPort выведен на плату MIC590 (на переднюю панель CPC510-02);
- один LVDS выведен на плату MIC590;
- два DisplayPort на передней панели;
- HD Audio выведен на разъем мезонина;
- LPC-шина выведена на разъем мезонина.

В ближайшее время ожидается выпуск процессорного модуля CPC512 (в том числе версия с кондуктивным охлаждением), предназначенного для построения высокопроизводительных компьютерных систем, которые эксплуатируются в жестких условиях, требуют высокой надежности и гибкости в поддержке различных интерфейсов расширения.

Модуль CPC512 похож на CPC510, но имеются некоторые отличия (см. таблицу):

- вместо двух коммутаторов PCI-E Gen 2.0 на CPC512 установлен один коммутатор PCI-E Gen 3.0 с увеличенной скоростью передачи данных (до 8 Гбит/с) и с поддержкой режима DMA для значительного уменьшения загрузки центрального процессора при передаче данных. Использование нового коммутатора PCI-E Gen 3.0 добавило к сохраненной возможности работы портов PCI-E в режиме NT поддержку режима отказоустойчивости (режим для двух модулей CPC512) для двух портов ×8, выведенных на кросс-плату;
- два порта ×4, выведенных на кросс-плату, поддерживают увеличенную скорость передачи данных (до 8 Гбит/с);
- отказ от поддержки мезонинного модуля MIC590 позволил реализовать поддержку интерфейса PCI Express для всех слотов 8-слотовой кросс-платы. Таким образом, на кросс-плату дополнительно выведены четыре PCI Express-порта ×1 Gen 2.0;



Рис.7. Базовый корпус для систем с кондуктивным теплоотводом

- предусмотрена работа порта Gigabit Ethernet через кросс-плату с поддержкой функции Intel AMT (Advanced Management Technology – расширенная технология управления), которая, по сути, является усовершенствованным IPMI (Intelligent Platform Management Interface – интерфейс интеллектуального управления платформой). Таким образом можно удаленно контролировать работу процессорного модуля, изменять настройки BIOS, перезагружать или выключать систему, поддерживать функцию удаленного рабочего стола (Remote Desktop).

### ПРЕИМУЩЕСТВА РАБОТЫ С FASTWEL

FASTWEL – один из самых высокотехнологичных производителей электроники в России. Сочетание инвестиций в освоение новейших технологий с использованием опыта и потенциала отечественных разработчиков и технологов позволяют FASTWEL успешно конкурировать с ведущими мировыми производителями электронного оборудования. Продукция FASTWEL разрабатывается российскими специалистами и серийно выпускается на собственных производственных мощностях, расположенных на территории Российской Федерации (в столице и Московской области), что отвечает объявленному руководством страны курсу на импортозамещение.

Продукция FASTWEL находит применение в ответственных приложениях на транспорте, в телекоммуникациях, промышленности и многих других отраслях, где требуется надежное оборудование, способное работать в жестких условиях эксплуатации.

Изделия FASTWEL учитывают специфику рынка России и стран СНГ как по набору поддерживаемых типов сигналов, так и по стойкости к неблагоприятным факторам внешней среды. Вся продукция производится по утвержденным техническим условиям в полном соответствии с требованиями ГОСТов и технических регламентов.

При построении систем на базе процессорных плат FASTWEL заказчик всегда может обратиться за консультацией к разработчикам, которые помогут подобрать корпуса и системы на основе продукции компаний-партнеров (Schroff) либо собственных наработок и базовых корпусов для систем с кондуктивным теплоотводом (рис.7). Благодаря давним партнерским взаимоотношениям с ведущими компаниями, которые специализируются на разработке и производстве конструктивов, заказчики FASTWEL получают квалифицированную техническую поддержку из одних рук. Они могут рассчитывать на получение решений не только на уровне модуля, но и готовых систем, созданных с учетом индивидуальных требований и соответствующих самым строгим отраслевым стандартам. Все это делает применение CompactPCI-модулей FASTWEL еще более востребованным. ●

