

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ СЕРВЕР ВЫСОКОПЛОТНОЙ КОМПОНОВКИ С ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫМИ СРЕДСТВАМИ ОХЛАЖДЕНИЯ

*Чернов Максим Алексеевич (MACHernov@vniief.ru), Байков Эдуард Геннадьевич,
Меньшиков Евгений Владимирович, Лабутин Аркадий Константинович,
Царев Сергей Алексеевич*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Разработка технических решений по реализации сервера плотной компоновки с энергоэффективными средствами охлаждения с учетом необходимости оптимизации энергопотребления, габаритов, тепловыделения и прочих технических параметров.

Ключевые слова: сервер с плотной компоновкой, потребляемая мощность, система охлаждения.

HIGH PACKING DENSITY SERVER WITH ENERGY-EFFICIENT COOLING

*Chernov Maksim Alekseevich (MACHernov@vniief.ru), Baykov Eduard Gennadievich,
Menshikov Evgeniy Vladimirovich, Labutin Arkadiy Konstantinovich,
Tsarev Sergey Alekseevich*

FSUE “RFNC-VNIIEF”, Sarov, Nizhny Novgorod region

The paper deals with the development of engineering solutions for a high packing density server with energy-efficient cooling means considering the need for optimized energy consumption, size limitations, heat release and other engineering parameters.

Key words: high packing density server, power consumption, cooling system, energy-efficient cooling.

Введение

Во всем мире вычислительная мощность или производительность компьютерных систем является необходимым ресурсом, который постоянно наращивается. Для увеличения общей производительности добавляют новые вычислительные ресурсы или заменяют существующие на более мощные, что требует дополнительного расхода электроэнергии для отвода тепла и дополнительного места для размещения ресурсов

Новая компоновка вычислительного сервера высокой плотности размещения вычислительных модулей с применением более рациональной и эффективной системы охлаждения сможет сократить необходимые площади машинных залов и расходы на охлаждение.

Цель работы – создание сервера обеспечивающего высокую плотность компоновки вычислительных серверов с применением эффективных методов охлаждения.

Решая задачу по увеличению вычислительной мощности, нельзя не учитывать такой параметр, как полезная площадь машинного зала. Не редко помещения машинного зала ограничены в размерах, что не позволяет устанавливать дополнительное серверное оборудование. Существующие на данный момент компоновки коммерчески доступных серверов имеют конструктивную избыточность, не требующуюся при использовании серверов только в качестве вычислительных. Отсеки для установки устройств хранения информации или дополнительной периферии снижают плотность размещения вычислительного оборудования. Очевидной является задача создания отдельных конструктивных решений для компоновки преимущественно вычислительного оборудования.

На первом этапе был спроектирован сервер с применением воздушного охлаждения и изготовлен опытный образец сервера СПК-1 [1]. Благодаря вертикальному размещению вычислительных модулей

в плоскости сервера, удалось повысить плотность их размещения. Сервер выполнен в формате 4U и вмещает 16 вычислительных модулей – по восемь в каждой зоне (спереди и сзади). Несмотря на воздушное охлаждение сервера, данное решение позволило в плотную приблизиться к производительности и плотности размещения серверов с системами жидкостного охлаждения (СЖО). Вычислительные модули расположены друг за другом. С фронтальной части расположена панель управления с индикацией и кнопками включения. С тыльной стороны блоки питания. Однако, традиционные методы, основанные на принудительном охлаждении воздухом, достигают своей предельной производительности, и оказываются малоэффективными. Поэтому дальнейшее проектирование высокоплотного сервера включало разработку и применение наиболее эффективной технологии охлаждения, такой как охлаждение жидкостью.

В работе представлено описание конструктивных элементов сервера СПК-2 с системой жидкостного охлаждения.

Представлены результаты разработки вычислительного сервера и описаны его технические характеристики. В работе приводится описание конструктивных элементов, разработанных печатных плат, основных компонент системы электропитания, охлаждения и управления сервера. Сервер спроектирован и рассчитан на монтаж в стойку стандарта девятнадцать дюймов (19"). Разработка технических ре-

шений по реализации сервера выполнена с учетом необходимости оптимизации энергопотребления, габаритов, тепловыделения и прочих технических параметров.

Состав сервера с плотной компоновкой

Все большее количество крупных IT компаний переходят на жидкостное охлаждение и внедряют соответствующие системы как более эффективные. Утверждение, что жидкостные системы охлаждения более эффективны, чем охлаждение воздухом, сомнений не вызывает, хотя бы в силу более выгодных физико-технических свойств жидкости (воды) как теплоносителя. К тому же, использование систем жидкостного охлаждения помогает экономить средства и повышать плотность размещения оборудования. Но, если раньше применение жидкостных систем вызывало сложности и опасения, то в последнее время появляются новые практические решения, которые устраняют сложности в работе и обслуживании. Одним из таких решений является точечно-контактная жидкостная система охлаждения, которую предлагается использовать в качестве системы охлаждения высокоплотного сервера.

На рис. 1 показан внешний вид сервера. Он выполнен в формате 2U и рассчитан на установку в 19" стойку, имея глубину 1095 мм.

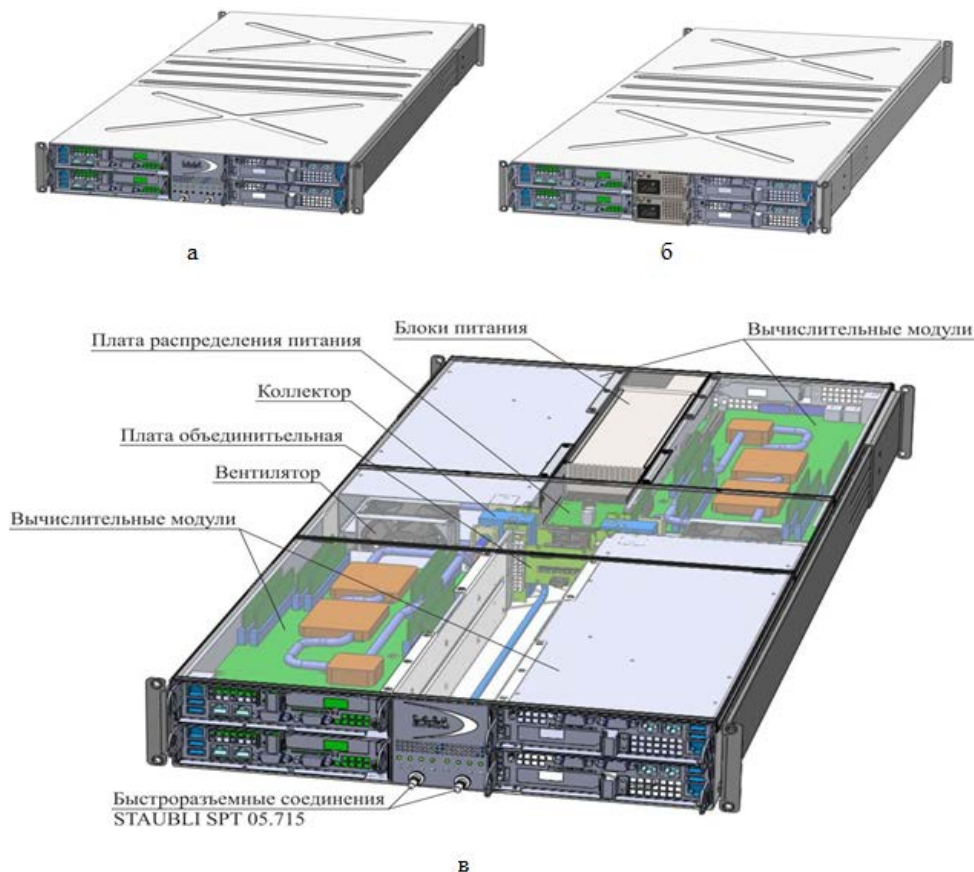


Рис. 1. Сервер с плотной компоновкой: а – лицевая (фронтальная) сторона, б – вид сзади, в – общий вид

Во фронтальной стороне, рис. 1,а, и в задней стороне, рис. 1,б, сервера установлено по четыре вычислительных модуля, рис. 2. Вычислительные модули построены на базе материнской платы, имеющей половинный форм фактор 1U.

В отличие от разработчика решений для высокопроизводительных вычислений «РСК Торнадо» данная компоновка позволит использовать стандартные материнские платы половинного форм-фактора 1U и достичь такую же плотность размещения вычислительных узлов для архитектуры x86 [4].

Материнскую плату Supermicro X10DRT-H предлагается использовать совместно с процессорами семейства Intel Xeon E5-2680v4 (Broadwell) [3]. Использование процессоров данного семейства позволит достичь теоретической пиковой производительности сервера СПК-2 на уровне 11,5 Тфлоп/с.

Для каждого вычислительного модуля предусмотрены два бескапельных разъема – «холодный» и «горячий». Водоблоки установлены на наиболее тепловыделяемые компоненты материнской платы – процессоры и микросхемы чипсета. Система охлаждения вычислительного модуля реализована следующим образом – охлаждающая жидкость от коллектора, последовательно прокачивается по гибким трубкам через водоблоки, забирает тепло от нагреваемых элементов и уже нагретая, возвращается снова в коллектор, где отводится во внешнюю систему для охлаждения. Данное решение также отличается от «РСК Торнадо», где используется охлаждение «горячей водой», что позволило «РСК Торнадо» использовать только сухие градирни.

Технические характеристики вычислительных модулей, реализованных в сервере плотной компоновки с энергоэффективными средствами охлаждения, представлены в табл. 1.

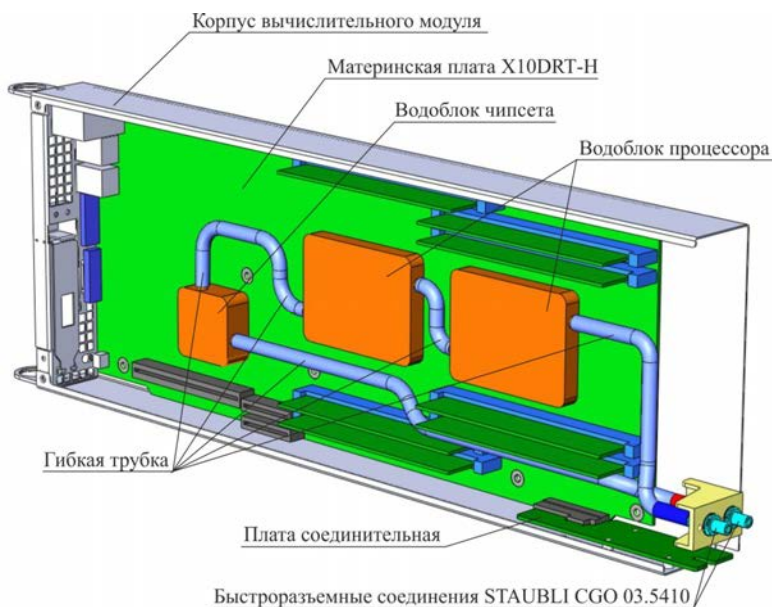


Рис. 2. Вычислительный модуль

Таблица 1

Технические характеристики одного вычислительного модуля

Техническая характеристика (материнская плата)	Значение
Количество процессоров: - 1, шт.	2
Чипсет:	Intel PCH C612
Процессор: - частота, ГГц - количество ядер, шт.	до 3 до 22
Оперативная память: - объем на сервер, Гбайт	RDIMM DDR4-2400 ECC До 32 Гб
Интерфейсы	2 PCI-Express 3.0 x16
Графический контроллер:	ASpeed 2400 BMC VGA/2D
Потребляемая мощность не более, Вт	500

Интегрированная энергоэффективная архитектура предлагает высокую вычислительную мощность на единицу потребленной энергии по сравнению с аналогичными платформами.

На рис. 3 показан внутренний состав сервера. Для наглядности внешний корпус показан прозрачным. Из рис. 3 также видно, что для электропитания компонентов сервера используются два блока питания, а для дополнительного охлаждения компонентов, не охваченных жидкостным охлаждением, используется два вентилятора. В отличие от вычислительных модулей «РСК Торнадо» применение водоблоков только на процессоры не позволило полностью отказаться от воздушных вентиляторов. Блоки питания через разъемы соединены с платами распределения питания. Вычислительные модули соединяются с двумя платами объединения питания. Система охлаждения сервера реализована следующим образом – от внешнего источника охлаждающая жидкость через быстроразъемные ниппели Staubli, расположенные на лицевой панели (рис. 3), подается в коллектор, затем попадает в каждый вычислительный модуль, где последовательно проходит через водоблоки процессоров и чипсета, после чего, уже нагретая, через коллектор возвращается обратно во внешнюю систему охлаждения.

В центре сервера расположен коллектор, который объединяет контуры охлаждения вычислительных

модулей. Данный коллектор подключается к внешней системе охлаждения посредством быстроразъемных соединений. Внешний вид коллектора и его внутренняя разводка показана на рис. 4.

Чтобы добиться компактности и установить в корпусе сервера компоненты СЖО, обеспечивая при этом охлаждение электронных компонентов сервера, предложено устанавливать пару вычислительных модулей с каждой стороны с учетом ориентации процессоров вниз. Такая компоновка не оказывает отрицательного влияния на работоспособность, но позволяет расположить соединительные платы каждого модуля ближе к центру сервера. Таким образом, мы получаем свободное место, где размещается серверный коллектор и вентиляторы.

Коллектор системы жидкостного охлаждения сервера представляет собой H-образную компактную форму, пронизанную объединяющими каналами, выходы которых либо заглушены, либо заканчиваются быстроразъемными соединениями. Данный коллектор изготовлен из сплава алюминия, путем высверливания каналов и установки заглушек. Для уменьшения стоимости и повышения надежности и технологичности производства, рассматривается возможность изготовления коллектора посредством 3D печати из пластика ABS или металлического порошка.

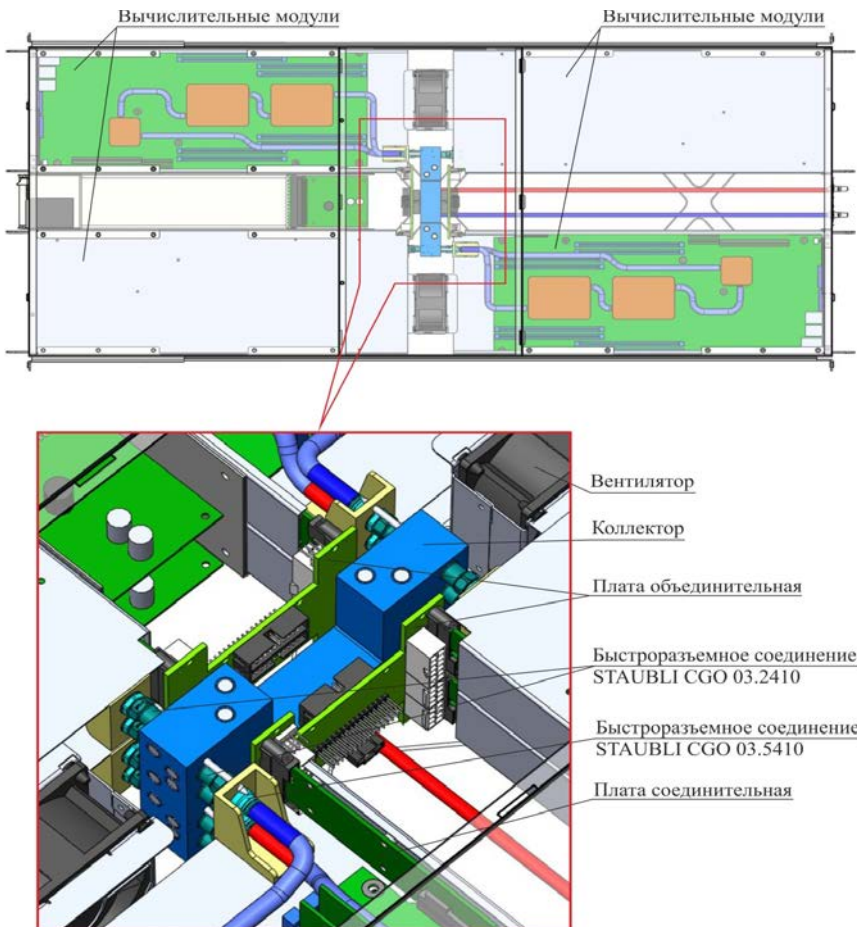


Рис. 3. Внутренний состав сервера с плотной компоновкой

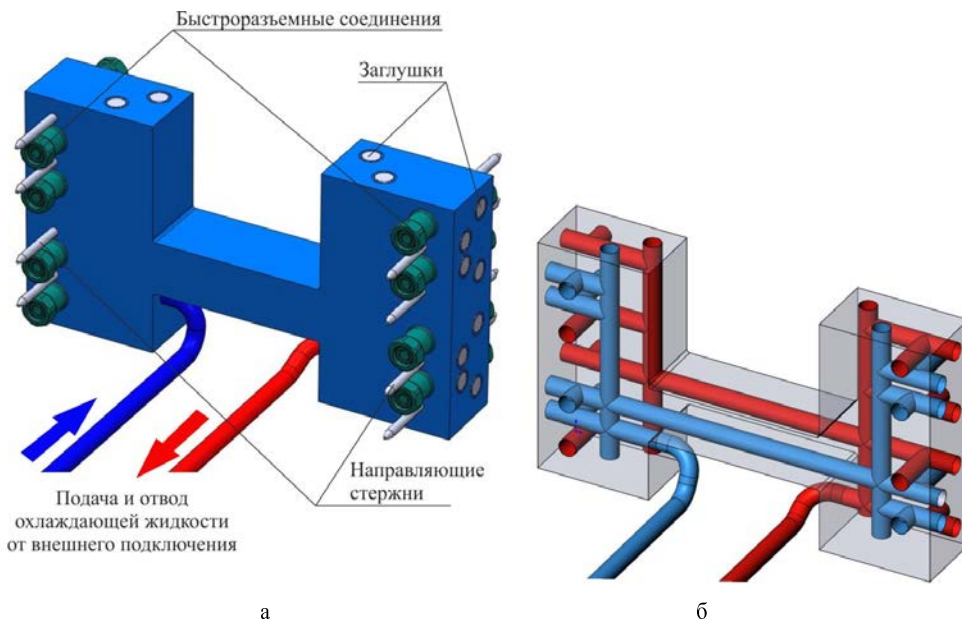


Рис. 4. Коллектор: а – внешний вид, б – внутренняя разводка

Состав сервера с плотной компоновкой представлен в табл. 2.

Таблица 2

Состав сервера с плотной компоновкой

Наименование	Количество
Корпус сервера	1
Вычислительный модуль	8
Блок питания	2
Плата питания объединительная	2
Плата соединительная	8
Вентилятор охлаждения	2

тального модуля нет необходимости полного выключения сервера.

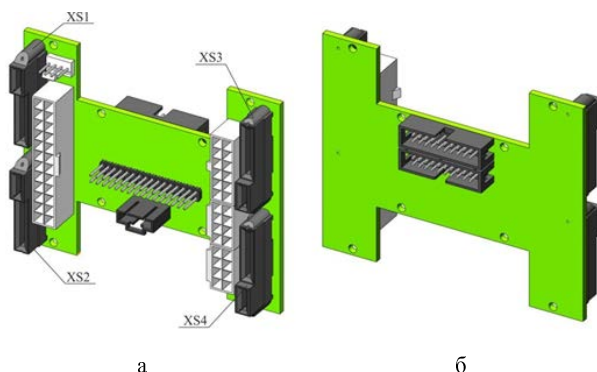


Рис. 5. Плата питания объединительная СПК-2-ВР: а – лицевая сторона, б – вид сзади

Комплект спроектированных и изготовленных плат

Печатная плата СПК-2-ВР выполнена в соответствии со спецификацией, сборочным чертежом и принципиальной электрической схемой. Общий вид платы питания объединительной представлен на рис. 5.

Плата питания объединительная обеспечивает распределение питания (12 В, 170А) на вычислительные модули сервера и вентиляторы системы охлаждения, передает управляющие сигналы на плату управления. На данную плату интегрирована разработанная система управления работой вентиляторов охлаждения сервера на основе микроконтроллера.

Для соединения материнской платы вычислительного модуля с платой питания (объединительной) спроектирована и изготовлена соединительная плата СПК-2-СН. Внешний вид платы изображен на рис. 6. Конструкция корпуса сервера спроектирована таким образом, что соединительная плата устанавливается в разъемы по направляющим, что обеспечивает «горячую» замену вычислительного модуля в составе сервера, т. е. для текущего ремонта вычисли-

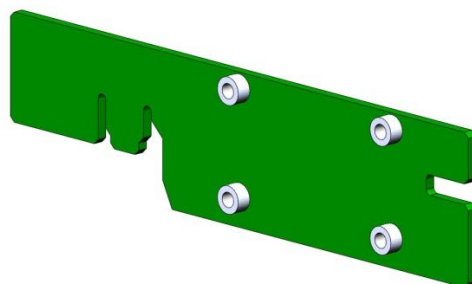


Рис. 6. Плата соединительная

Блок индикации и управление включением сервера реализован на отдельной печатной плате, изображенной на рис. 7, который расположен на фронтальной стороне корпуса сервера и имеет кнопки включения вычислительных модулей и индикаторы их работы.

В табл. 3 отражены основные технические параметры сервера СПК-2.

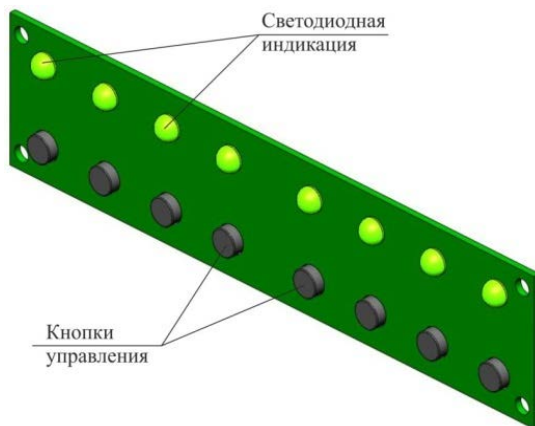


Рис. 7. Блок индикации и управления включением

Таблица 3

Технические характеристики сервера СПК-2

Технические параметры	Значение		
	ВМ с платой X10DRT-H	ВМ с платой X10DRT-H	ВМ с платой X11DPT-B
Тип процессора	Intel Xeon E5-2680v4 (Broadwell)	Intel Xeon E5-4669v4 (Broadwell)	Intel Xeon Scalable Processors 8280 (Cascade Lake)
Количество вычислительных модулей, шт	8	8	8
Пиковая производительность, Тфлоп/с	8,6	12,39	38,7
Потребляемая мощность, кВт	2	2,24	3,6

Инфраструктура системы жидкостного охлаждения для функционирования сервера

В стандартные девятнадцать дюймовые (19") стойки, высотой 1,9 м (42U) предлагается устанавливать 18 серверов СПК-2 [2]. Каждая стойка должна быть оборудована стоечным коллектором, к которому подключается каждый сервер. Предлагается размещать коллектор в передней части стойки, что удобно для доступа и обслуживания сервера, а блоки розеток размещать в задней части. Таким образом отделяем зону подачи жидкости от зоны подачи электропитания, что повышает уровень электробезопасности. Стоечный коллектор соединяется с теплообменным модулем, который обеспечивает охлаждение теплоносителя внутреннего контура (от серверов) и передачу тепла во внешний охлаждающий контур. В качестве теплообменного модуля предлагается использовать два типа модулей – стоечного и межстоечного типа.

Рассмотрим в качестве примера использование стоечного теплообменного модуля СНх40 от компании CoolIT. Он ориентирован на охлаждение вычислительных серверов, расположенных в стойке и выполнен в корпусе высотой 2U. Модуль размещается у основания стойки. Пример внешнего вида стойки с размещенными элементами представлен на рис. 8.

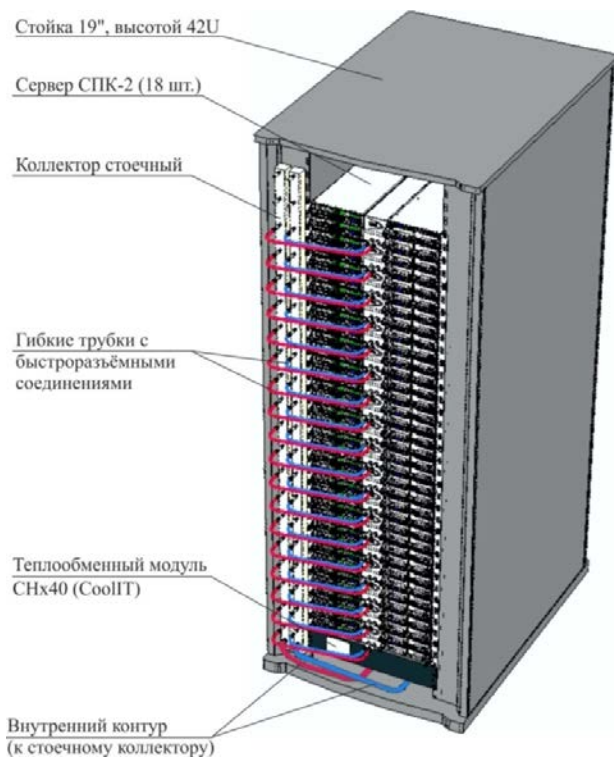


Рис. 8. Внешний вид стойки с размещенными элементами

Заключение

В работе представлены результаты разработки вычислительного сервера высокоплотной компоновки с энергоэффективными средствами охлаждения и описаны его технические характеристики. Также приводится описание конструктивных элементов, разработанных печатных плат, основных компонент системы электропитания, охлаждения и управления сервером. Выполнена оценка пиковой производительности тестового образца сервера.

Список литературы

1. Чернов М. А., Байков Э. Г., Левкин С. А., Меньшиков Е. В. и др. Вычислительный сервер с высоко-

плотной компоновкой / 18-я научно-техническая конференция «Молодежь в науке» // Сборник докладов. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2020. С. 579–583.

2. Телекоммуникационная стойка [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – URL: http://en.wikipedia.com/wiki/Rack_unit.html (дата обращения: 21.06.2021).

3. Материнская плата [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – URL: <http://www.supermicro.com/products/motherboard/X10DRT-H.cfm> (дата обращения: 21.06.2021).

4. Новые узлы «РСК Торнадо» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – URL: <http://www.servernews.ru/1036657> (дата обращения: 21.06.2021).