

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В ПЕРСОНАЛЬНОЙ ГИБРИДНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ НА БАЗЕ ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРОВ

Д.Ш. Ахмедов, С.А. Елубаев, Ф.Н. Абдолдина, Т.М. Бопеев, Д.М. Муратов

ДТОО "Институт космической техники и технологий" (АО "Национальный центр космических исследований и технологий")

Введение

Проблема охлаждения компьютерных компонентов с каждым годом становится все острее. Мощность процессоров и графических ускорителей все увеличивается, а вместе с ней растет энергопотребление и пропорционально увеличивается и рассеиваемая тепловая мощность, которая может достигать сегодня 130–225 Вт. Производители центральных и графических процессоров осваивают новые, более тонкие техпроцессы для того чтобы удержать тепловыделение процессоров, но все же этого не достаточно.

Современная система охлаждения центральных и графических процессоров характеризуется *производительностью* и *уровнем акустического шума*. Для персональных компьютеров его величина ограничена 50 дБА, а для рабочих станций и серверов - 70 дБА. Чем «тише» система охлаждения, тем комфортнее работа человека за компьютером.

Главным преимуществом жидкостной, по сравнению с аэрогенной системой охлаждения, является существенно большая производительность и низкий уровень производимого шума. Высокая производительность жидкостной системы охлаждения объясняется тем, что теплопроводность жидкости, в пять - семь раз выше, чем у воздуха, соответственно меньше её тепловое сопротивление, а тепловой поток выше. Еще одной особенностью жидкостной системы охлаждения является то, что температура охлаждаемого объекта изменяется сравнительно медленно, за счёт тепловой инерции жидкости [1].

Персональная гибридная вычислительная система с системой водяного охлаждения

В Институте космической техники и технологий разработана персональная гибридная вычислительная система на базе графических карт ISTT HPC 2000 [2].

Персональная гибридная вычислительная система в целом представляет собой персональный высокопроизводительный компьютер, который может быть расположен непосредственно на рабочем месте пользователя. Состав персональной гибридной вычислительной системы в целом совпадает с составом персонального компьютера, за исключением того, что в его составе присутствуют специализированные высокопроизводительные графические процессоры Nvidia Tesla, собственно и осуществляющие быстрые вычисления. Наличие мощного центрального процессора и нескольких графических процессоров в совокупности образуют высокопроизводительную вычислительную систему, где ресурсоемкие задачи могут быть разделены между данными процессорами, тем самым обеспечивая высокую параллельность и скорость вычислений.

Конфигурация ПГВС включает следующие компоненты: два центральных процессора Intel Xeon E5-2620 2.9Ghz; материнскую плату Asus Z9PE-D8 WS; четыре графических процессора Nvidia Tesla K20c; 8 модулей оперативной памяти DDR3 16Gb 1600MHz.

Реальная производительность ПГВС на базе четырех графических процессоров Nvidia Tesla K20c в тесте Linpack составила 3353 Гфлопс (3,4 Тфлопе) двойной точности, это 71,65% от пиковой производительности.

При проектировании персональной гибридной вычислительной системы основную сложность составляет расчет схемы оптимального соотношения мощного центрального процессора и графических процессоров, системы охлаждения, оптимальной схемы электропитания.

Для обеспечения необходимого уровня охлаждения при интенсивной работе графических процессоров были разработаны два варианта организации системы охлаждения ПГВС.

В первом варианте разработана эффективная система воздушного охлаждения, построенная таким образом, что бы воздушный поток свободно циркулировал между вычислительными узлами персональной вычислительной системы, не допуская их перегрева. Для этого применяются механические элементы системы охлаждения – вентиляторы с низким уровнем выделяемых шумов, а так же специальный тип корпуса системного блока, позволяющий в некоторых пределах произвольно изменять расположение устройств охлаждения.

В системном блоке ПГВС установлены 4 нагнетающих и 4 вытяжных осевых вентилятора. Расходная характеристика вентиляторов, достаточная для отвода тепла выделяемого элементами ПГВС, рассчитана по

методике, изложенной в [3]. На рисунке 1 представлена схема охлаждения корпуса системного блока ПГВС на базе четырех графических процессоров.

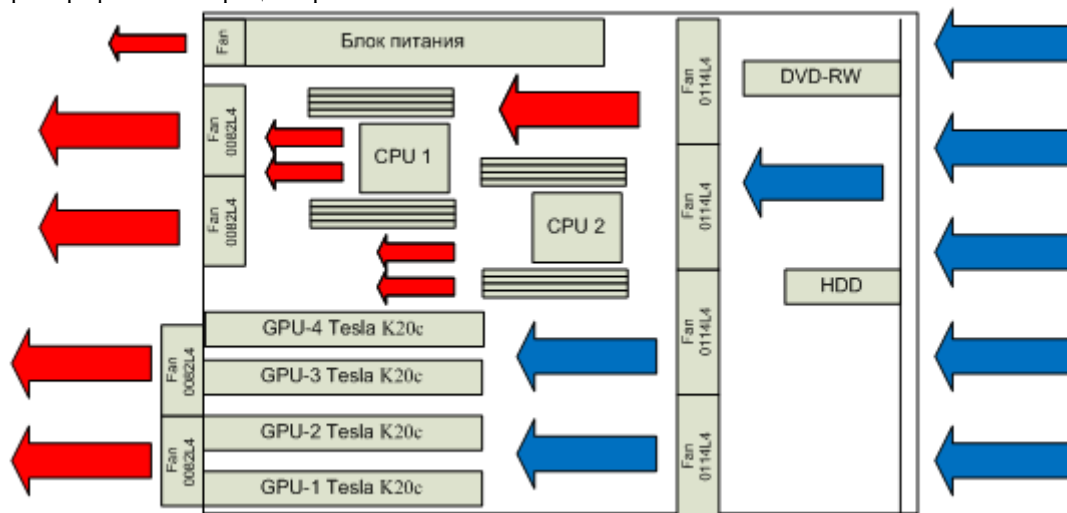
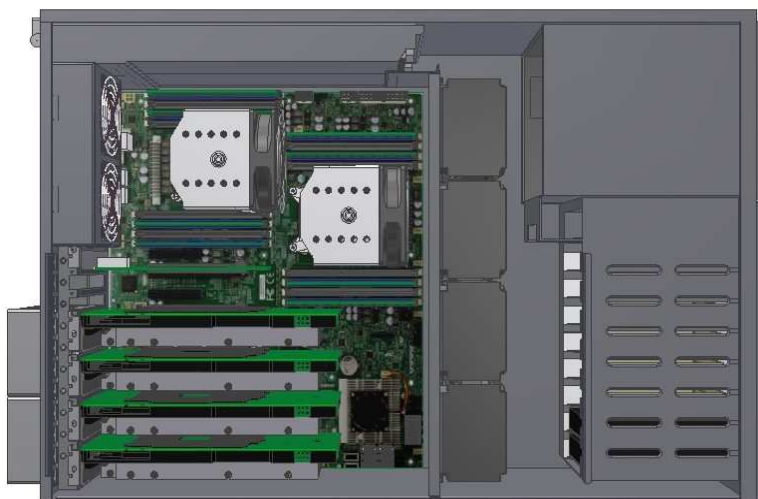
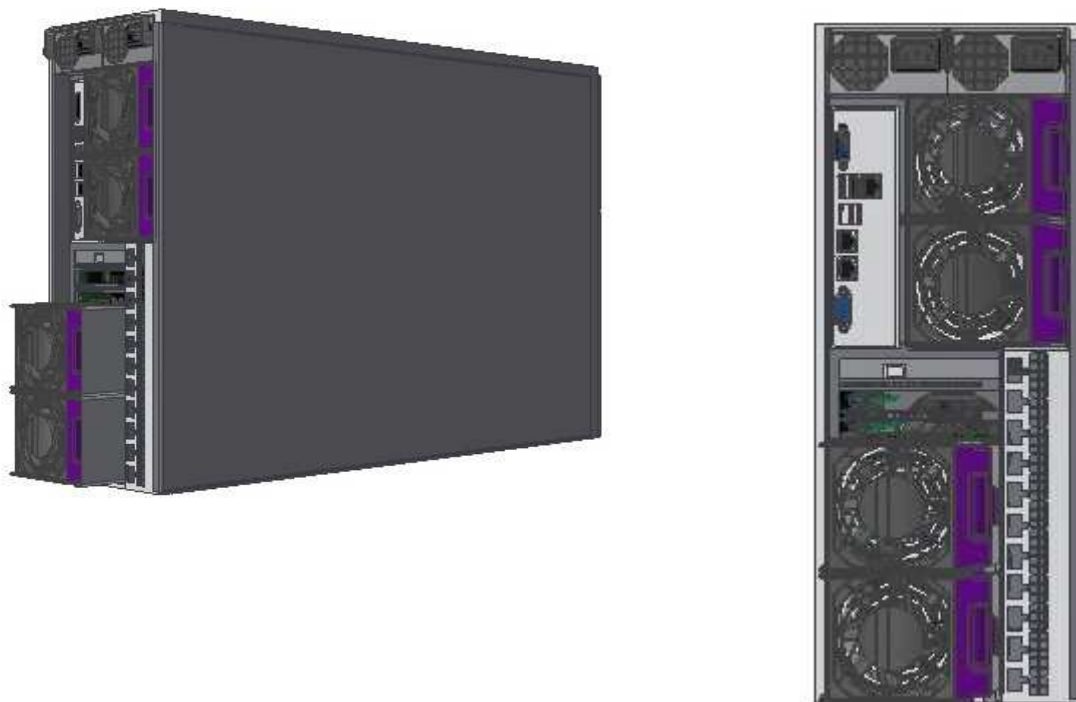


Рис. 1. Схема охлаждения корпуса системного блока ПГВС

На рисунке 2 представлена трехмерная модель персональной гибридной вычислительной системы с системой воздушного охлаждения.



а) вид с боку, без боковой крышки



б) вид сзади

Рис. 2. Трехмерная модель ПГВС с системой воздушного охлаждения

В связи с тем, что персональная гибридная вычислительная система может применяться как в образовательных учреждениях, так и на постоянных рабочих местах, то, согласно установленным нормам интенсивности шума, максимальное значение уровня шума, выделяемое вычислительной системой должно составлять не более 50дБ.

В таблице 1 приведены нормы интенсивности шума для офисных и производственных помещений.

Во втором варианте разработана эффективная система жидкостного охлаждения. На рисунке 3 представлена структурная схема ПГВС на базе четырех графических процессоров с системой жидкостного охлаждения.

Таблица 1. Нормы интенсивности шума для офисных и производственных помещений

Рабочее место	Уровень звука, дБА	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со средне геометрическими частотами								
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Творческая, научная деятельность, обучение	50	86	71	61	54	49	45	42	40	38
Рабочие места в производственных помещениях	80	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Далее представлено описание назначения компонентов, размещенных внутри корпуса персональной гибридной вычислительной системы на базе графических процессоров.

Компонент 1 - корпус. Габариты и структура корпуса позволяют разместить необходимое количество графических процессоров и обеспечить достаточный уровень охлаждения.

Компонент 2 – материнская плата. Обеспечивает сопряжение и управление другими устройствами, позволяет разместить достаточное количество графических процессоров для достижения высокой производительности системы.

Компоненты 3-4 – центральные процессоры с тактовой частотой 2.9 ГГц каждый, осуществляют управление всеми компонентами системы, имеют по 40 линий PCI-Express, что позволяет в наибольшей степени использовать ресурсы графических процессоров.

Компоненты 5-8 – графические процессоры с пиковой производительностью 1,17/3,52 Тфлопс двойной и одинарной точности соответственно, осуществляют высокопроизводительные вычисления.

Компонент 9 – оперативная память объемом 128Гб, предназначена для временного хранения обрабатываемых данных. Высокий общий объем оперативной памяти позволяет сократить число обращений к жестким дискам, вследствие чего повышается производительность системы.

Компоненты 10-13 – жесткие диски объемом 1Тб каждый, предназначены для долговременного хранения данных. Количество жестких дисков может отличаться в зависимости от требований к минимальному объему хранимых данных.

Компонент 14 – нагнетающий вентилятор диаметром 120мм, обеспечивает вдув холодных потоков воздуха в корпус к горячим компонентам системы.

Компонент 15 – задний вытяжной вентилятор диаметром 120мм, обеспечивает отвод горячих потоков воздуха от центральных процессоров.

Компоненты 16-19 – верхние вытяжные вентиляторы диаметром 120мм, обеспечивают вывод горячего воздуха из корпуса системы.

Компонент 20 – помпа, обеспечивающая принудительную циркуляцию рабочей жидкости в системе жидкостного охлаждения.

Компоненты 21-22 – водоблоки центральных процессоров, предназначены для отвода тепла от центральных процессоров и передаче его рабочей жидкости.

Компоненты 23-26 – водоблоки графических процессоров, предназначены для отвода тепла от графических процессоров и передаче его рабочей жидкости.

Компонент 27 – радиатор, предназначен для рассеивания тепла рабочей жидкости в контуре системы жидкостного охлаждения.

Компонент 28 – резервуар рабочей жидкости, обеспечивающий компенсацию теплового расширения жидкости, увеличение тепловой инерции системы жидкостного охлаждения и удобство заправки и слива рабочей жидкости.

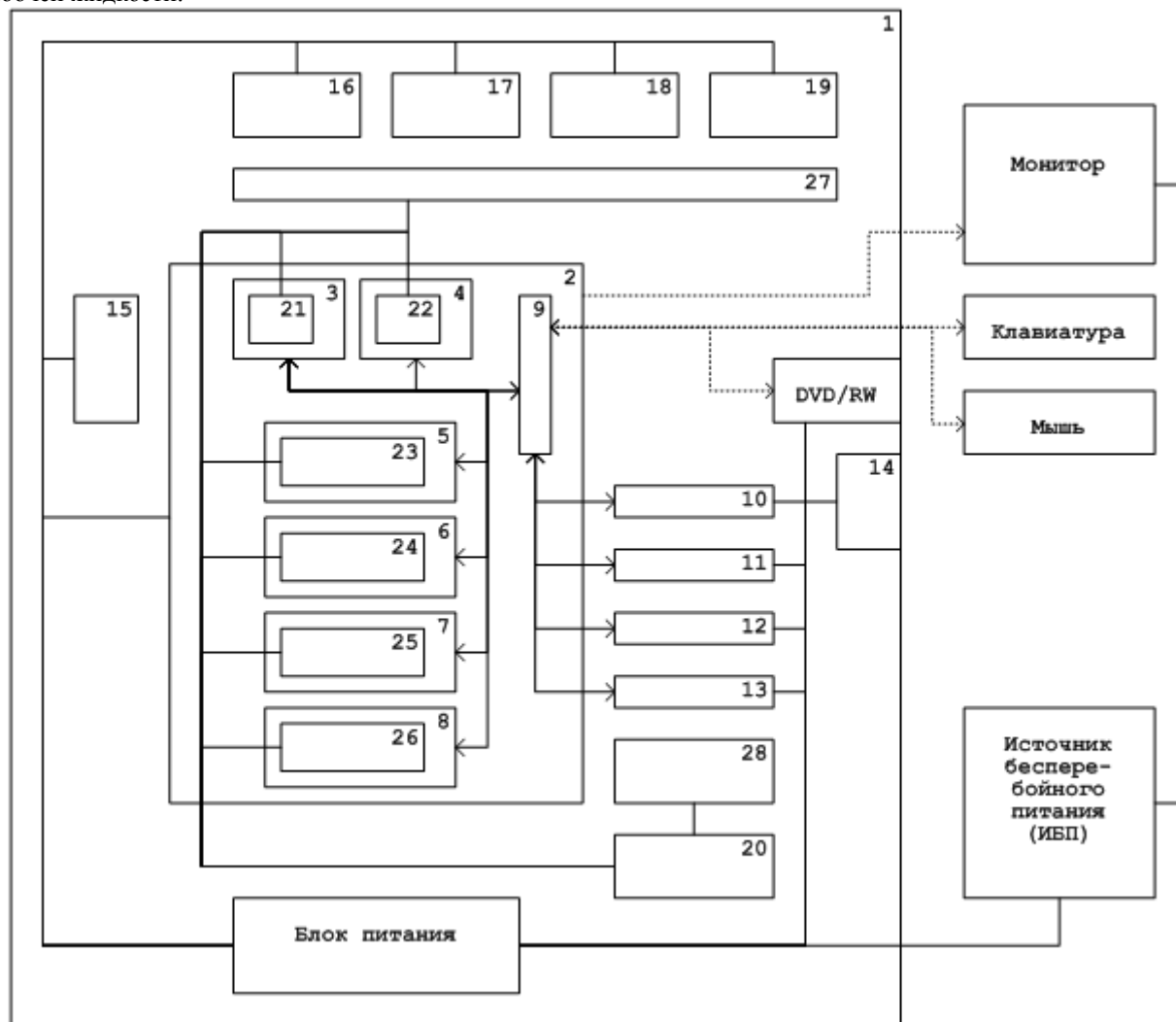
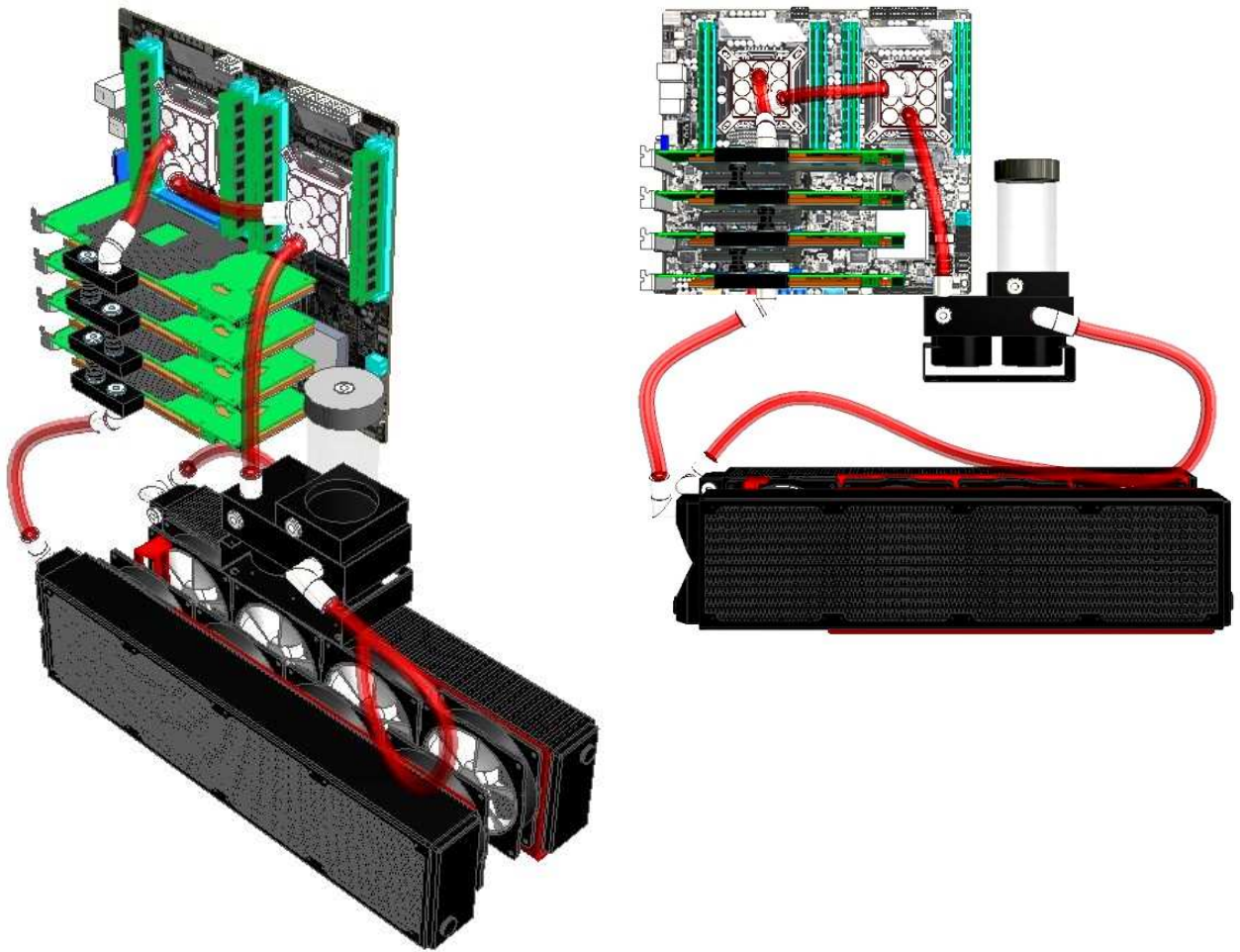


Рис. 3. Структурная схема персональной гибридной вычислительной системы с жидкостным охлаждением

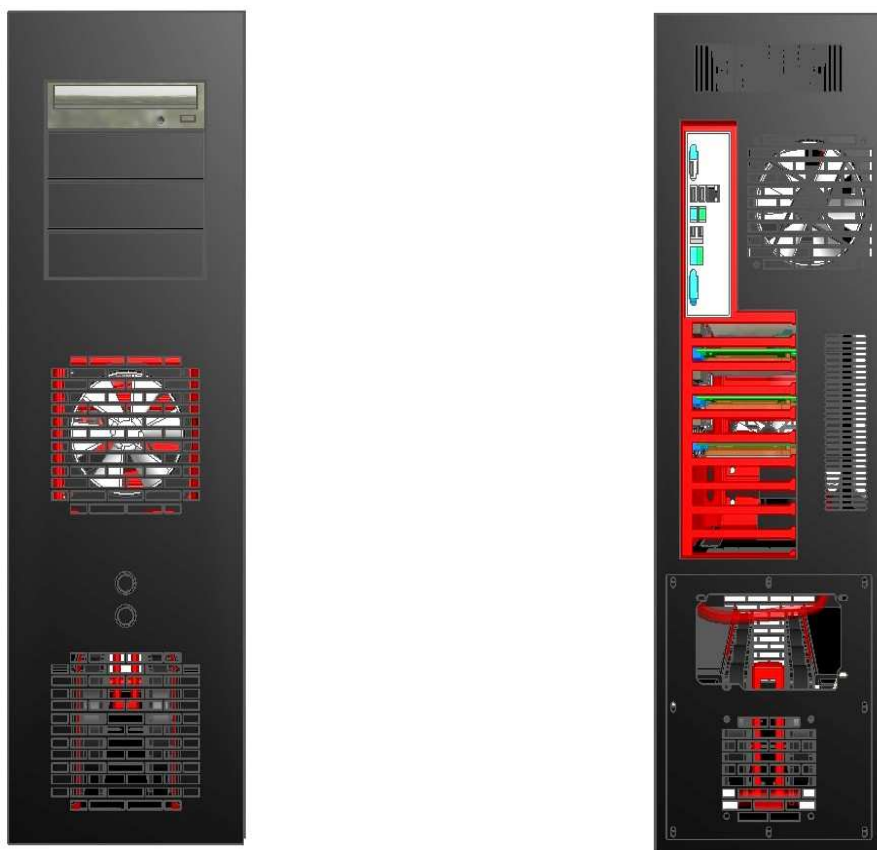
На рисунке 4 представлена трехмерная модель организации системы жидкостного охлаждения в персональной гибридной вычислительной системе.



а) вид с боку, без боковой крышки



б) вид системы охлаждения внутри корпуса



в) вид спереди и сзади

Рис. 4. Трехмерная модель организации системы жидкостного охлаждения в ПГВС

Результаты экспериментов

Замер шумовыделения.

Для определения скорректированного уровня звуковой мощности применяют технический метод определения скорректированного уровня звуковой мощности в свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью по ГОСТ 12.1.026-80 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Определение шумовых характеристик источников шума в свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью. Технический метод» или технический метод определения скорректированного уровня звуковой мощности в реверберационном помещении по ГОСТ 12.1.027-80 «ССБТ. Шум. Определение шумовых характеристик источников шума в реверберационном помещении. Технический метод».

Эти методы обеспечивают получение значений уровней звуковой мощности с максимальными значениями среднего квадратического отклонения уровней звуковой мощности в соответствии с ГОСТ 23941-79 «Шум. Методы определения шумовых характеристик. Общие требования». Требования к размещению ПГВС при проведении замеров шума: ПГВС - устройства напольного типа, устанавливаемого в процессе эксплуатации у стены, должно быть расположено на звукоотражающем полу перед звукоотражающей стеной на расстоянии 0.1 м от стены. Во время измерений ПГВС режим работы устройства установлен в соответствии с

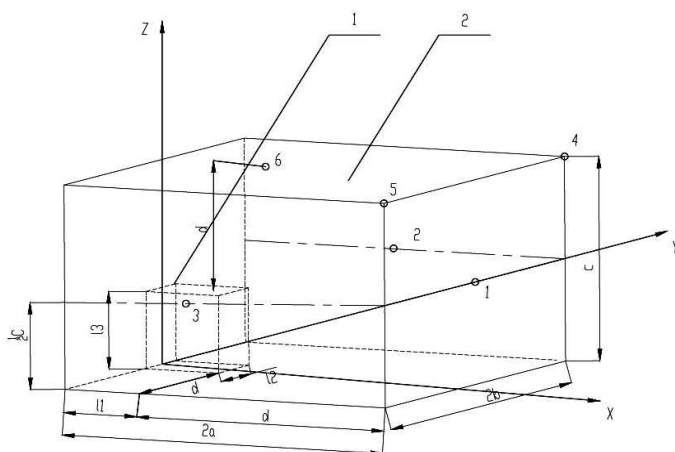


Рис. 5. Опорный параллелепипед

приложением 3 ГОСТа 26329-84 «Машины вычислительные и системы обработки данных. Допустимые уровни шума технических средств и методы их определения». До проведения испытаний, устройство находилось в рабочем состоянии достаточное время, необходимое для обеспечения установившегося температурного режима.

В качестве измерительной поверхности для ПГВС использовался опорный параллелепипед, грани

которого расположены на расстоянии измерения от них, равного 1 м. Данные замеров звуковой мощности приведены в таблице 2. Номер точки замера соответствует номеру точки замера опорного параллелепипеда, изображенного на рисунке 5.

Таблица 2. Результаты замеров звуковой мощности ПГВС

Номер точки замера	ПГВС с системой воздушного охлаждения		ПГВС с системой жидкостного охлаждения	
	Обычный режим, дБ	Максимальная нагрузка, дБ	Обычный режим, дБ	Максимальная нагрузка, дБ
1	50,4	65,4	48.2	50.3
2	50,3	64,6	52.4	54.7
3	51,4	64,4	49.2	51.6
4	50,7	62,3	52.6	50.2
5	50,5	62,6	48.9	51.5
6	52,1	64,2	49.9	52.7

Замеры звуковой мощности ПГВС проводились в режиме обычной работы и при максимальной нагрузке процессоров. Эксперименты проводились для ПГВС с двумя вариантами организации системы охлаждения: системой воздушного и системой жидкостного охлаждения.

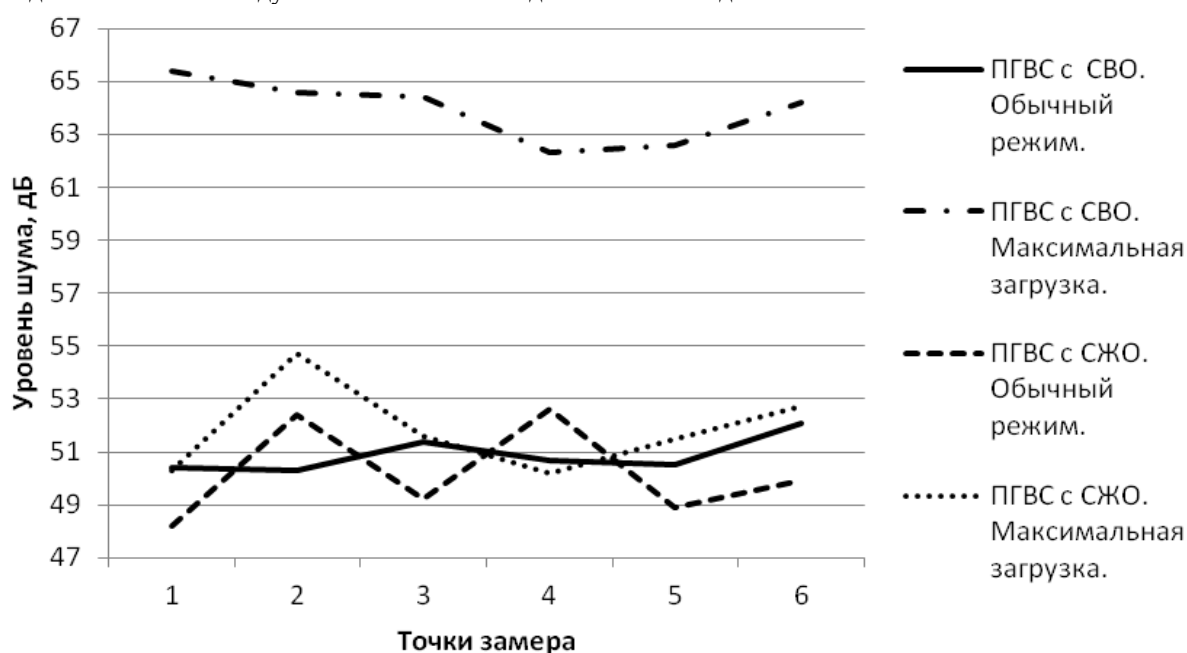


Рис. 6. Результаты замеров звуковой мощности ПГВС

Анализируя полученные результаты видим, что при использовании системы жидкостного охлаждения в режиме максимальной нагрузки процессоров уровень шума снижается в среднем на 20%, что составляет 12 дБ. В обычном режиме работы ПГВС изменения не значительны (Рисунок 6).

Замеры температуры нагрева основных компонентов ПГВС также проводились в двух режимах: в обычном режиме и при максимальной нагрузке процессоров. Анализируя результаты замеров температуры, представленные в таблице 3 и на рисунке 7 видим, что температура нагрева графических процессоров при максимальной нагрузке системы снижается почти в двое, в среднем на 46%, и в обычном режиме на 30%. В то же время результаты охлаждения для центральных процессоров и материнской платы говорят не в пользу системы жидкостного охлаждения, что заставляет подумать о ее дальнейшем совершенствовании.

Таблица 3. Результаты замеров температуры нагрева компонентов ПГВС

Компонент	ПГВС с системой воздушного охлаждения		ПГВС с системой жидкостного охлаждения	
	Температура в режиме максимальной загрузки, С	Температура в обычном режиме работы, С	Температура в режиме максимальной загрузки, С	Температура в обычном режиме работы, С
CPU 1	83	47	87	48
CPU 2	74	41	74	41
GPU 1	81	42	46	30
GPU 2	84	42	46	30
GPU 3	83	42	44	30
GPU 4	84	42	44	29

Системная температура (Motherboard)	59	34	64	37
-------------------------------------	----	----	----	----

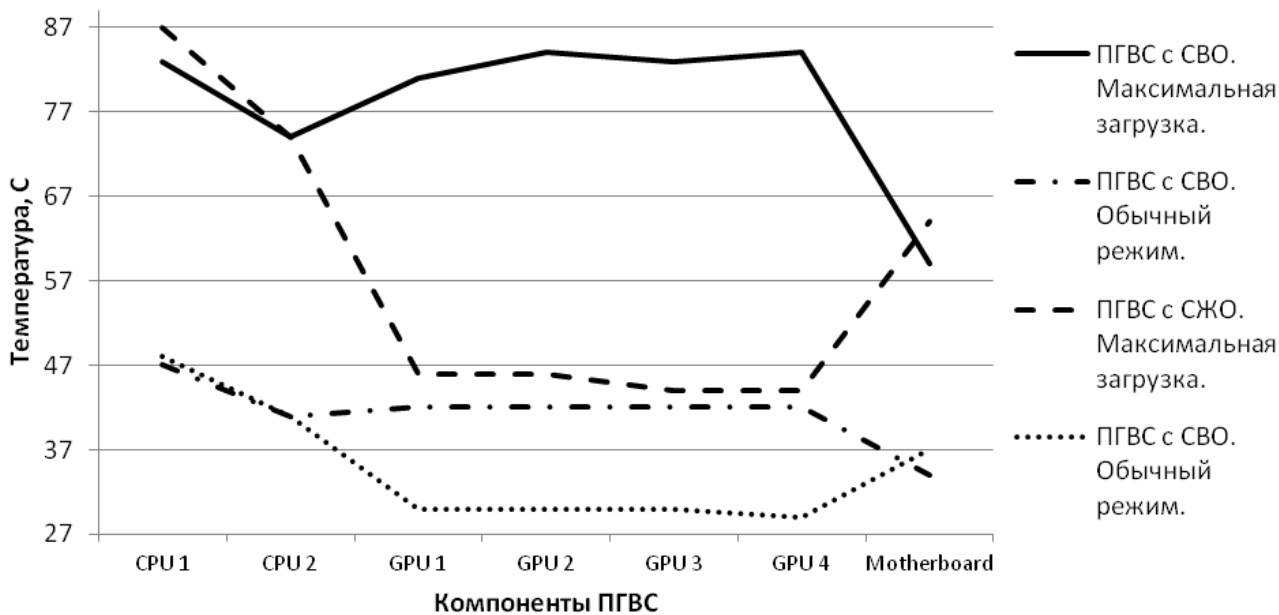


Рис. 7. Результаты замеров температуры нагрева компонентов ПГВС

Заключение

Полученные результаты измерения звуковой мощности ПГВС, показали снижение шума при применении системы жидкостного охлаждения на 20% и уменьшение рабочей температуры графических процессоров почти вдвое, это доказывает что система жидкостного охлаждения в персональной гибридной вычислительной системе более эффективна по сравнению с воздушной системой охлаждения.

Уменьшение уровня шума даже при максимальной нагрузке ПГВС с системой жидкостного охлаждения до требований к персональному компьютеру, делает работу с ПГВС комфортной и позволяет размещать высокопроизводительную вычислительную систему рядом с рабочим местом.

Эффективное охлаждение графических процессоров уменьшает вероятность их перегрева и благотворно влияет на срок службы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кандырин Ю. В. Выбор устройств охлаждения процессоров в электронной аппаратуре / Ю. В. Кандырин, С. А. Хватынец. Электронный журнал "Системотехника" № 4. Изд. МИЭМ Москва. 2006.: [Электронный ресурс]. URL: www.systech.miem.edu.ru/ogl-4.
2. Akhmedov D., Yelubayev S., Abdoldina F., Bopeyev T., Muratov D., Povetkin R., Karataev A. "Personal hybrid computing system. Performance test" \ Collection of scientific papers Second International conference "Cluster Computing 2013", -L'vov, June 3-5, -2013., -С. 7-11.
3. Сорокин А. Схемы включения вентиляторов для охлаждения системных блоков персональных компьютеров. Часть 1.: [Электронный ресурс]. URL: www.electrosad.ru.