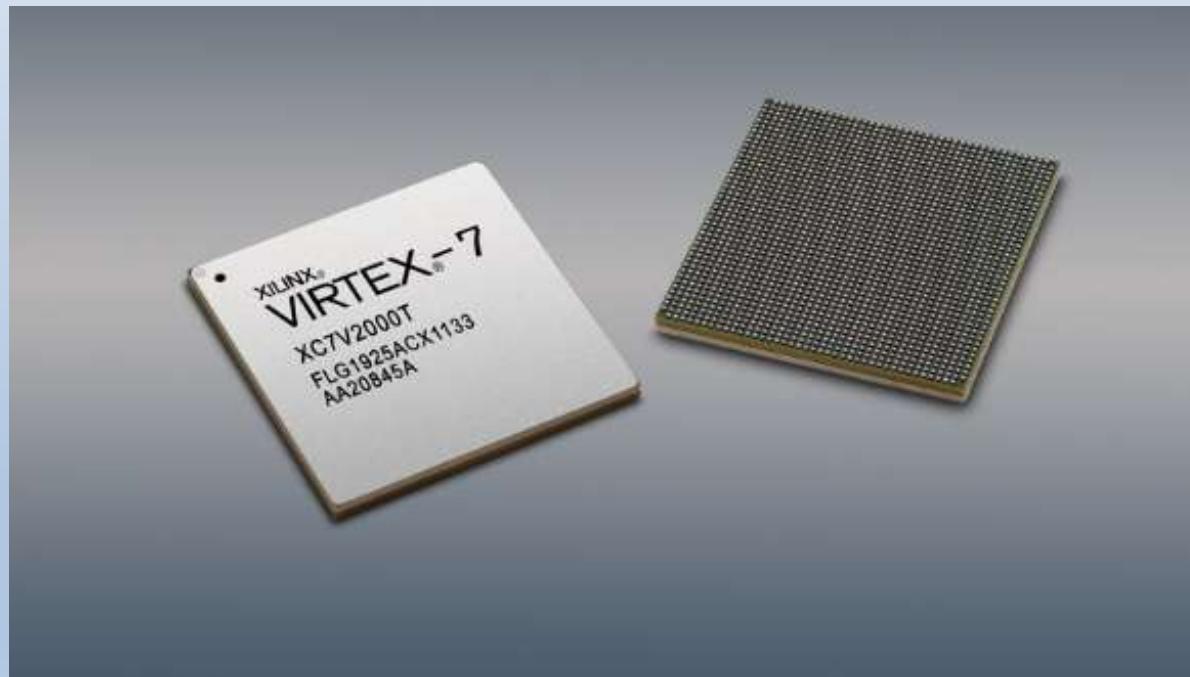


**«Опыт создания жидкостного
охлаждения для
высокопроизводительных
реконфигурируемых вычислителей на
основе ПЛИС»**

Алексей Жирков

ПЛИС

Программируемая логическая интегральная схема



ПРИМЕНЕНИЕ ПЛИС

- устройств с большим количеством портов ввода-вывода;
- устройств, выполняющих цифровую обработку сигнала(ЦОС);
- цифровой видеоаудиоаппаратуры;
- устройств, выполняющих передачу данных на высокой скорости;
- устройств, выполняющих криптографические операции;
- устройств, предназначенных для проектирования и прототипирования интегральных схем специального назначения(ASIC);
- устройств, выполняющих роль мостов (коммутаторов) между системами с различной логикой и напряжением питания;
- реализаций нейрочипов;
- устройств выполняющих моделирование квантовых вычислений.

Плата RC47 НПО РОСТА



- PCI Express плата 150 × 280 мм
- Коммутатор PCI Express – PLX PEX8732
- Три порта PCI Express x4 Gen 3 внешний USB интерфейс ПЛИС
- Четыре ПЛИС Xilinx Virtex 7 в корпусе FF1761 2000T

Реконфигурируемый блок RB-8V7



- 1U конструктив с блоком питания и системой воздушного охлаждения
- Восемь ПЛИС Xilinx Virtex 7 в корпусе FF1761 2000T , связанных шиной PCI Express с использованием двух коммутаторов PLX PEX8732
- 4 кабельных разъема PCI Express x4 Gen 3
- 1 разъем локальной сети Ethernet

Реконфигурируемые вычислительные стойки



Требование времени

- **Раньше – стандартный узел**
 - ▶ 2 CPU: около 400 Ватт
- **Сейчас**
 - ▶ 2 CPU и 2 GPU или 8 FPGA: около 1 КВатт
- **При сохранении требований по плотности размещения и размеров узла – энергоплотность увеличилась в 2.5 раза**
- **Плотность размещения и дальше требует увеличения**

Количественные показатели

Коэффициент теплопередачи

Охлаждающий агент	Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² °C)
Воздух	5...10
Вода	500...2000

Теплоемкость

Охлаждающий агент	Теплоемкость, кДж/(кг °C)	Теплоемкость, кДж/(л °C)
Воздух	1,005	1.2
Вода	4,183	4,175.5

Эффективность систем охлаждения

- Удельная интенсивность теплоотвода ($\text{kVt}/\text{м}^2$ платы);
- Удельная вычислительная мощность - энергоэффективность (Tflops/kVt);
- Надежность вычислительной системы;
- Компактность вычислительной системы ($\text{Tflops}/\text{м}^2$ вычислительного центра)

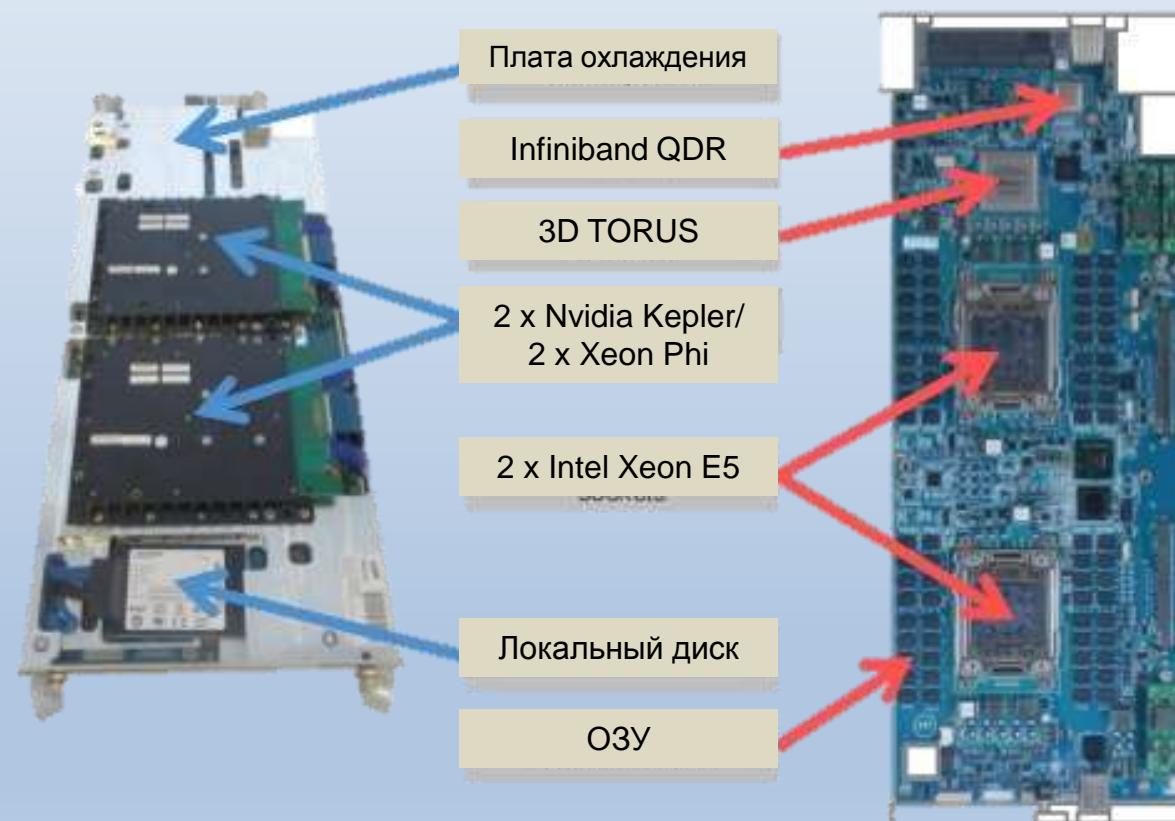
В индустрии ЦОД используется показатель эффективности использования энергии (ЭИЭ) в качестве стандартной единицы измерения для определения эффективности использования электроэнергии и эффективности отдельных вычислительных систем.



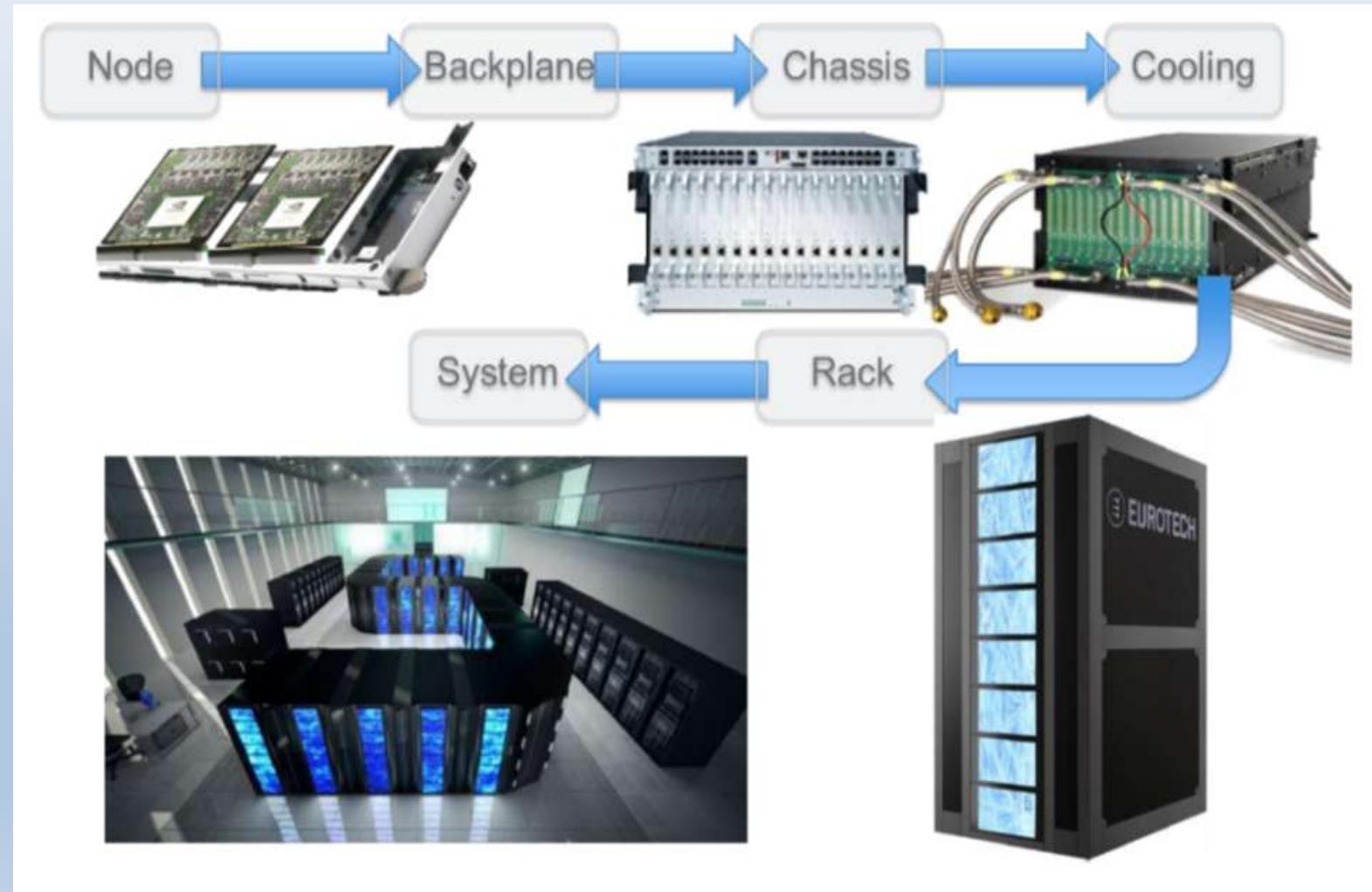
Преимущества жидкостного охлаждения

- Теплоемкость воды 4,000 от воздуха ⇒
Надежность охлаждения
- Можно обеспечить **высокую плотность упаковки**
- Нет подвижных частей в узле, шасси, стойке. Нет звуков, нет вибрации ⇒
Надежность контактов
- **Энергосбережение:** до +90% более эффективно, чем охлаждение воздухом

Модуль Aurora



Масштабируемость



Модуль HIVE

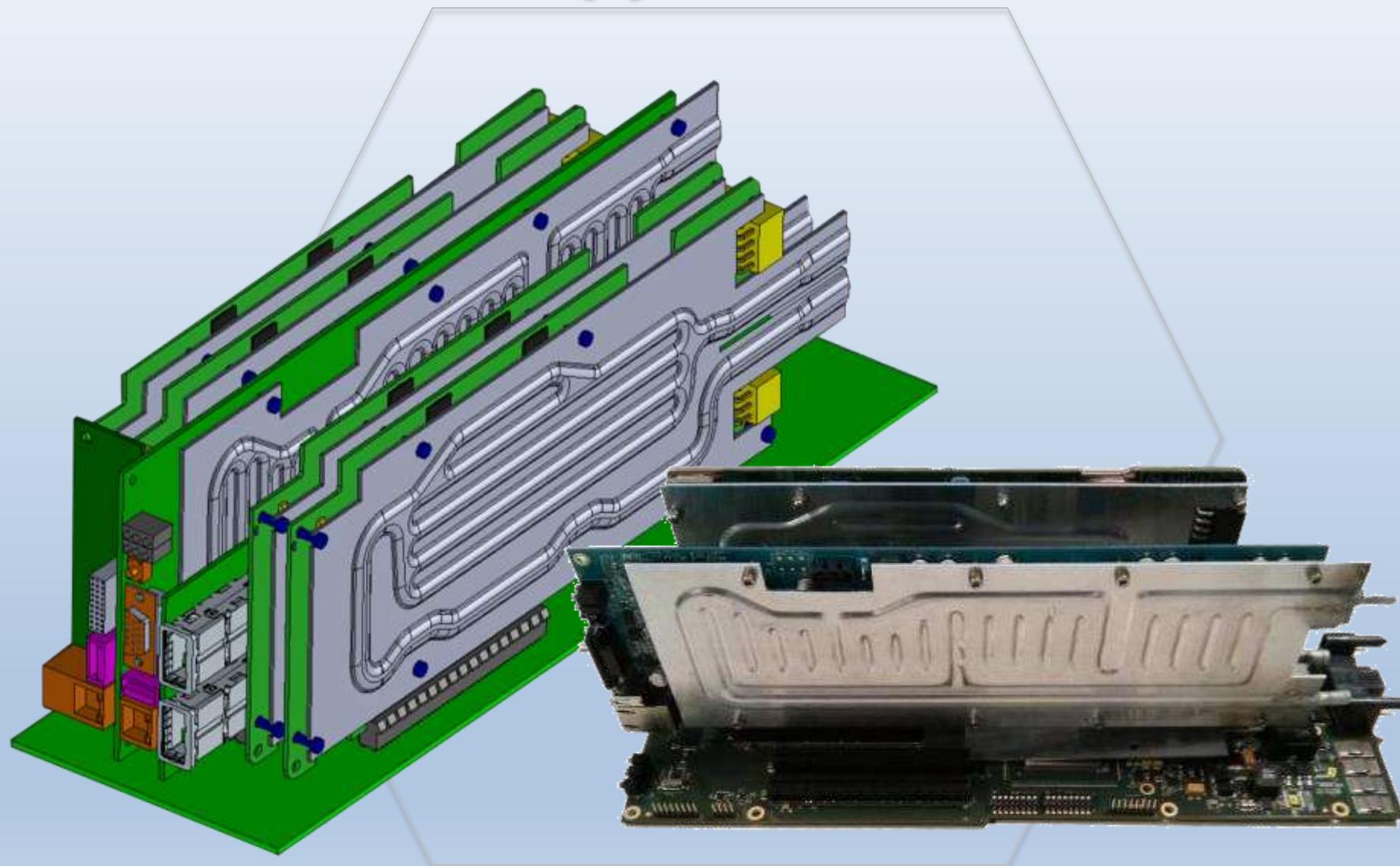


2 x 1GigE (1 x 10 GigE на версии с ARM)
2 x USB
1 x VGA
2 x FDR Infiniband
Возможно исполнение с
индивидуальной системой охлаждения



Каждый модуль состоит из 5 вычислительных карт подключаемых по PCIe

Охлаждение HIVE



Плата RC47 НПО РОСТА

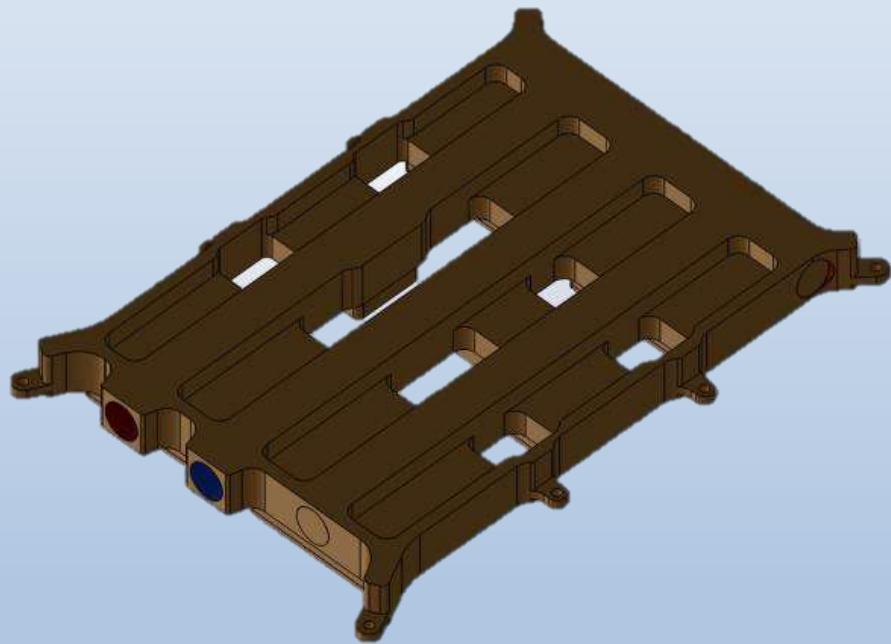


- PCI Express плата 150 × 280 мм
- Коммутатор PCI Express – PLX PEX8732
- Три порта PCI Express x4 Gen 3 внешний USB интерфейс ПЛИС
- Четыре ПЛИС Xilinx Virtex 7 в корпусе FF1761 2000T

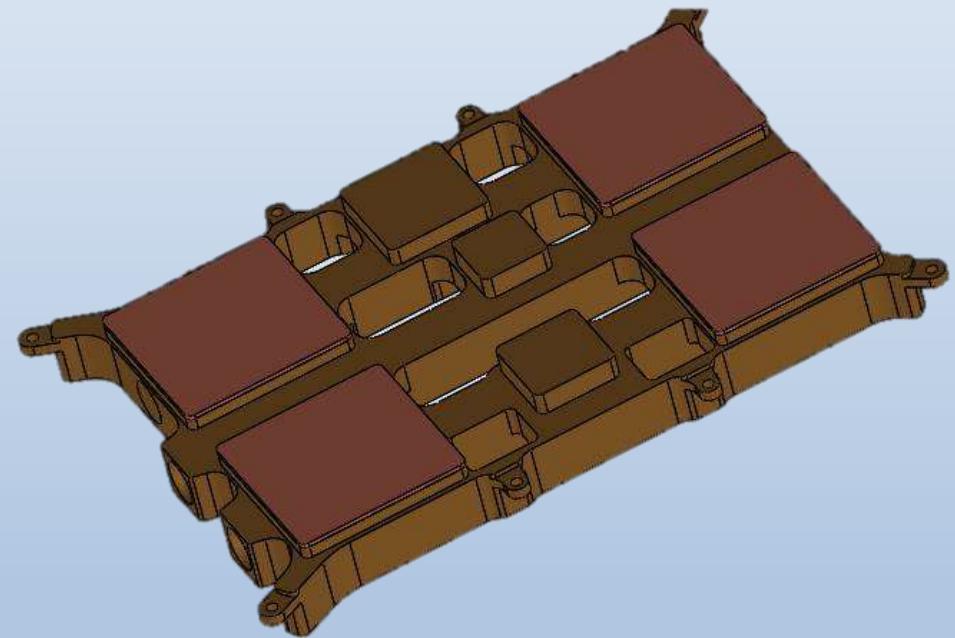
ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ ВОДОБЛОКА

- Выбор оптимальной конфигурации
- Математический анализ параметров
- Реализация физической модели
- Проведение натурных испытаний
- Сравнение с математической моделью

Внешний вид водоблока

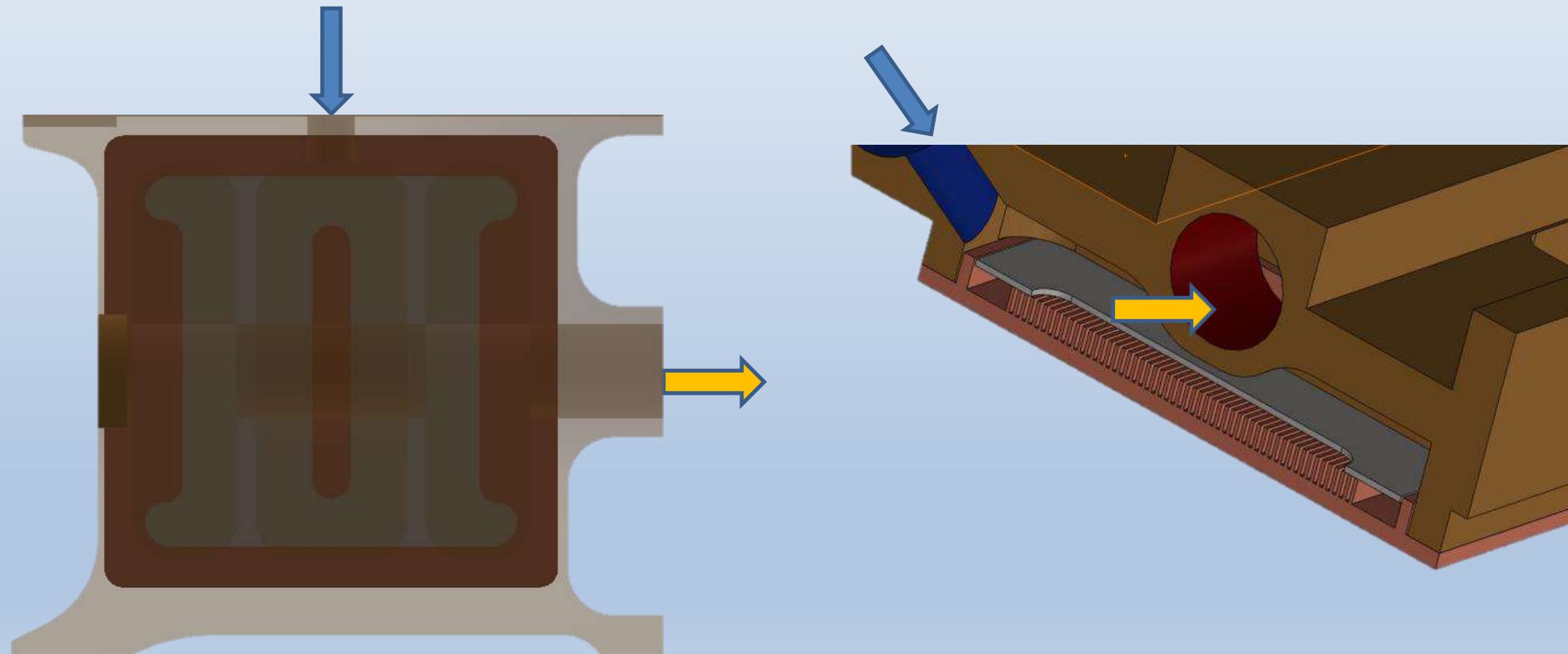


верхняя сторона

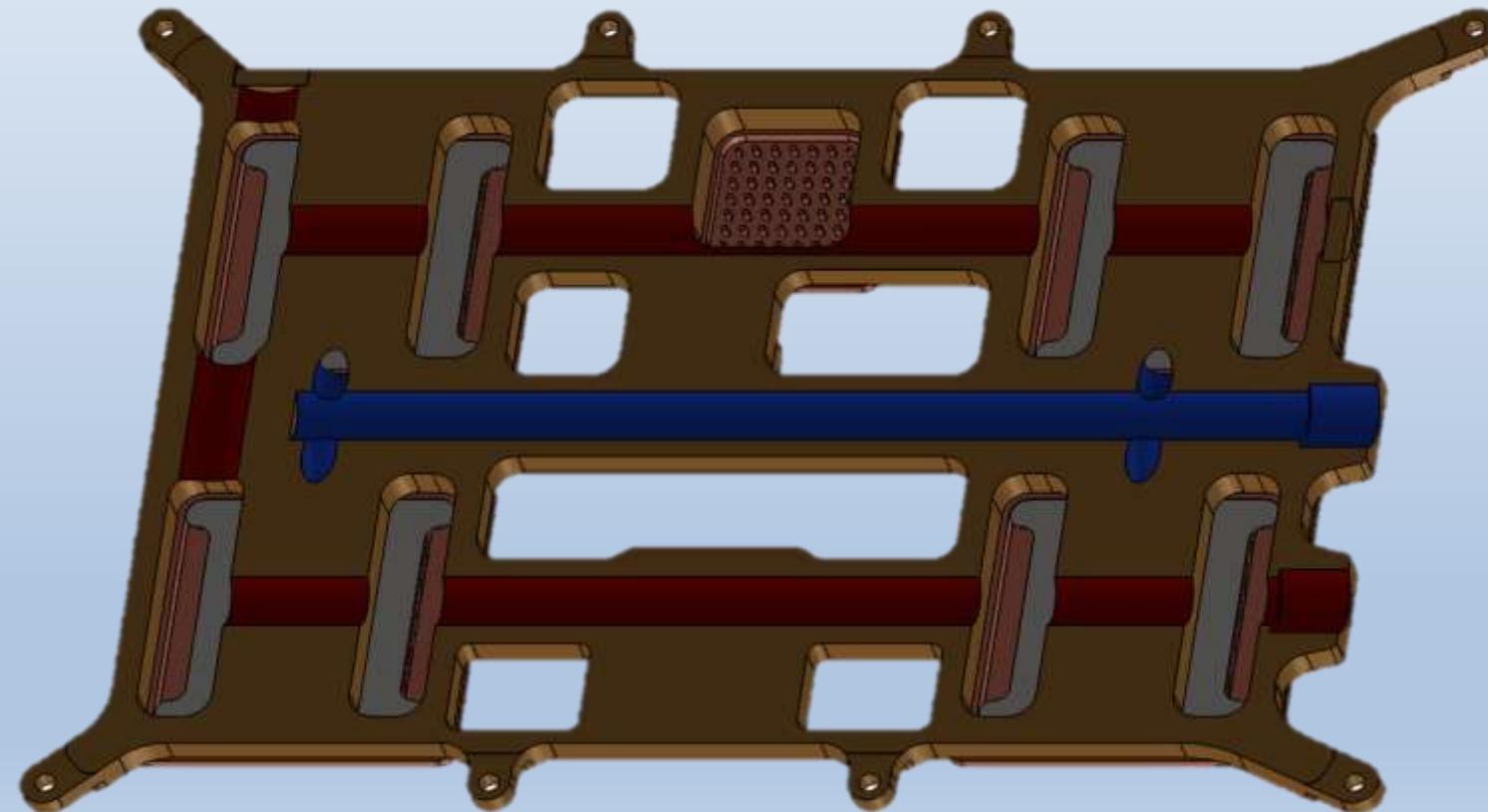


сторона "к плате"

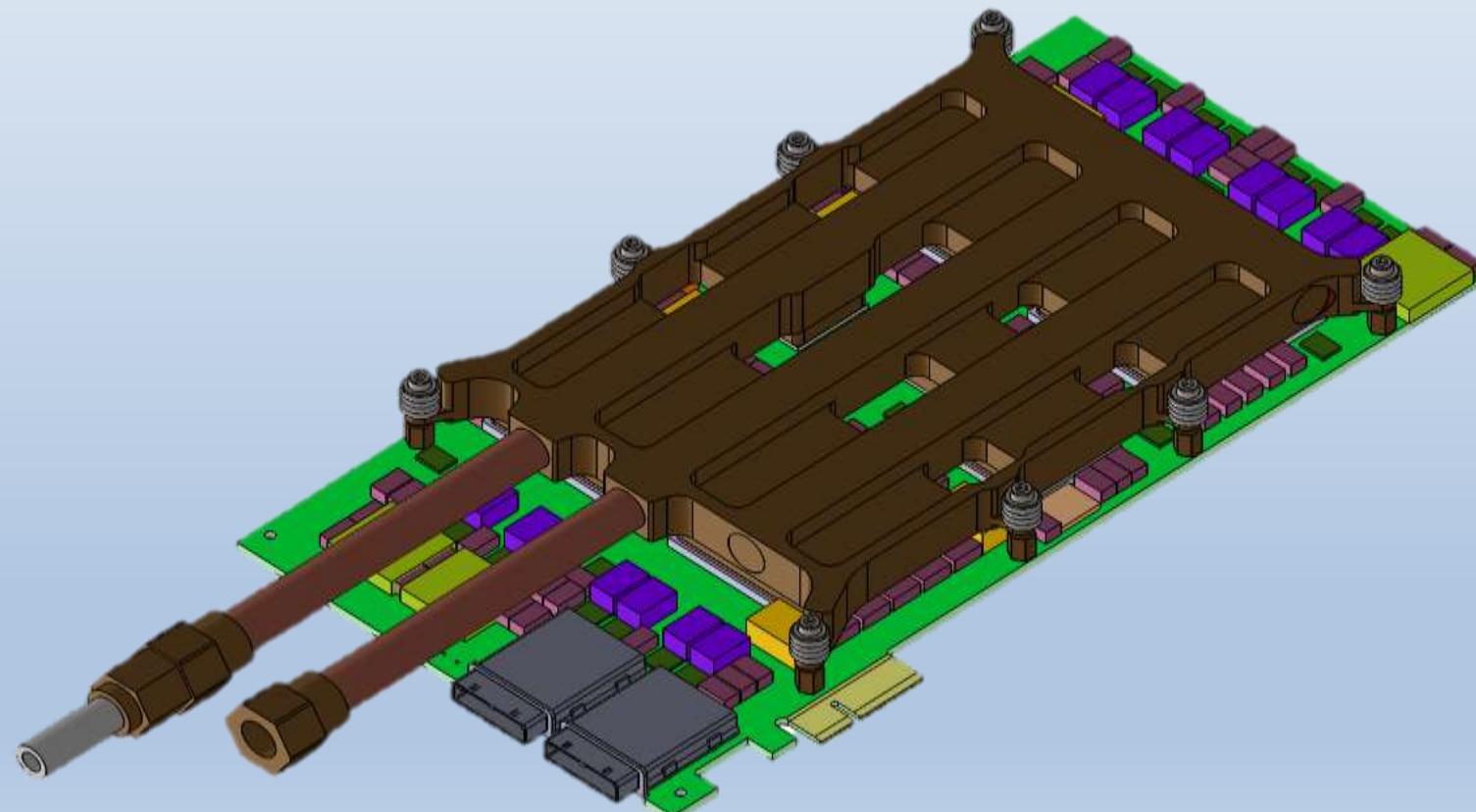
Внутреннее строение теплообменника



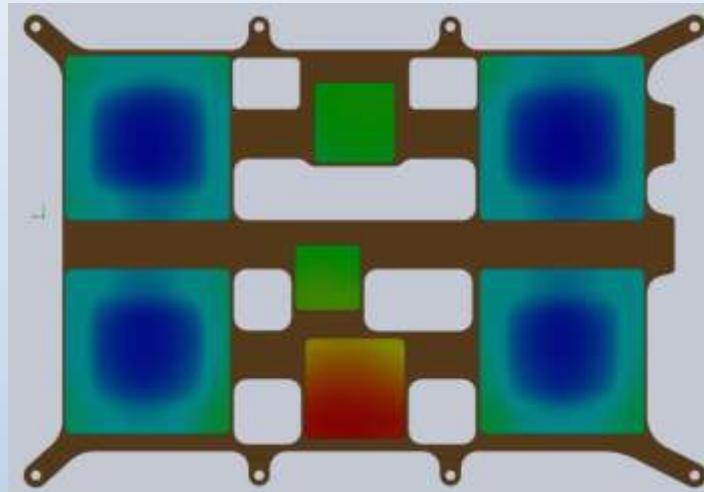
Расположение каналов подвода и отвода жидкости



Водоблок установленный на вычислительную плату

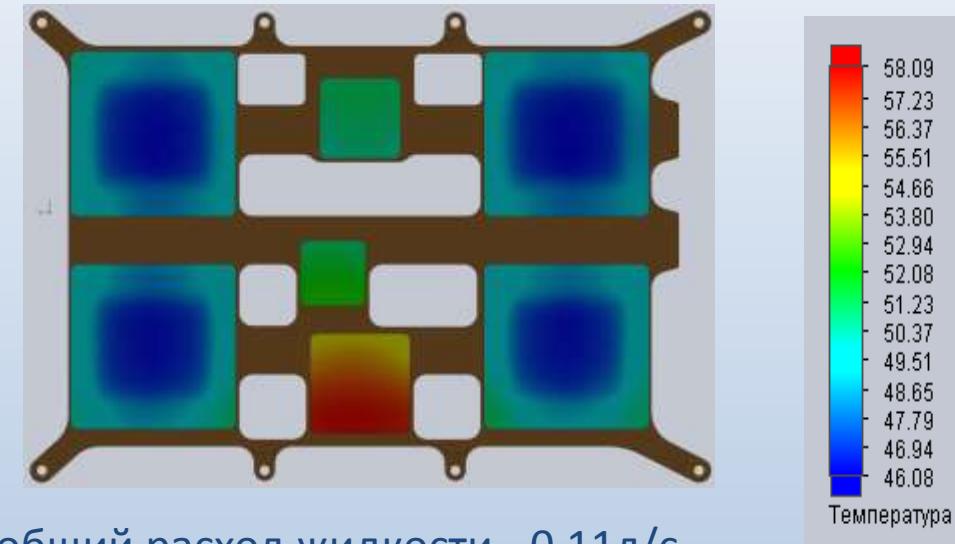


Результаты расчёта методом конечных элементов



общий расход жидкости - 0,06л/с,
температура теплоносителя на входе в водоблок 30°C

Значения максимальных температур на тепловыделяющих элементах:
на ПЛИС - 47,3°C.
на чипсете - 55,1°C.
на вспомогательных чипах - 49,4°C;



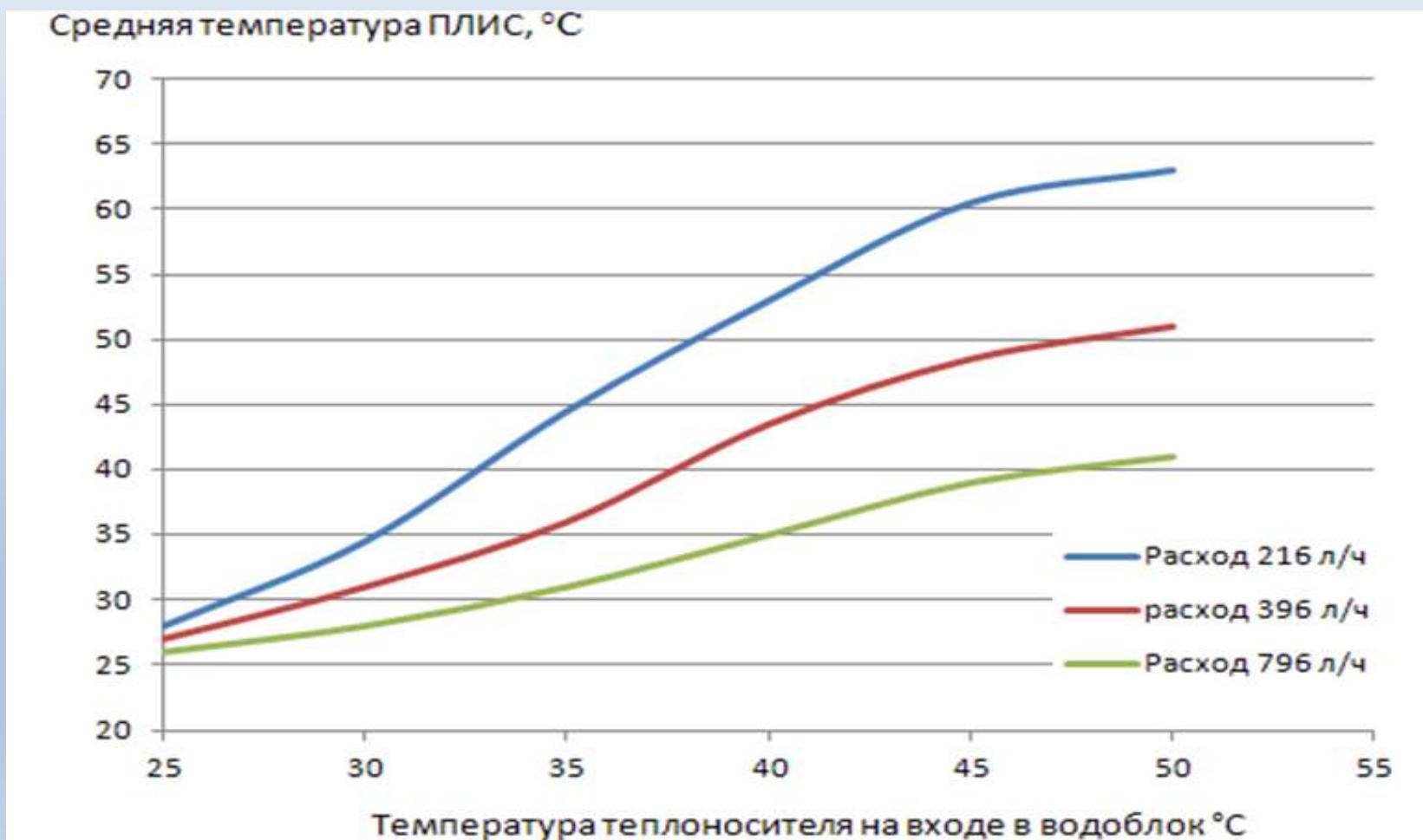
общий расход жидкости - 0,11л/с,
температура теплоносителя на входе в водоблок 45°C

Значения максимальных температур на тепловыделяющих элементах:
на ПЛИС - 50,94°C.
на чипсете - 58,09°C.
на вспомогательных чипах - 52,39°C;

Результаты конечно-элементного анализа

№ ит.	Расход, л/ч	T _{вх} , °C	ПЛИС, °C			Чипсет, °C			ΔP, бар	T _{вых} , °C
			T _{min}	T _{ср}	T _{max}	T _{min}	T _{ср}	T _{max}		
1	216	30	31,5	34,5	37,5	41,5	43,3	45,0	0,08	33,1
2	216	40	41,5	44,5	47,5	51,0	53,0	55,0	0,08	41,3
3	396	40	41,0	43,5	46,0	49,5	51,5	53,5	0,15	40,9
4	396	45	46,0	48,5	51,0	54,5	56,25	58,1	0,15	45,3
	- рациональные режимы					- предельные режимы				

Зависимость температур



Что это все даёт?

1. Полностью убрать особые требования по температуре, влажности и чистоте воздуха в ЦОД
2. Существенно упростить систему охлаждения и повысить ее надежность
3. Обеспечить комфортные условия работы в помещении ЦОД за счет снижения шума и повышения температуры воздуха
4. Существенно сократить площадь, занимаемую вычислительной системой (отказ от горячих/холодных коридоров и межрядных кондиционеров)

«Живой» итог



Вид снизу

«Живой» итог



Вид сверху

Благодарю за внимание!

ВОПРОСЫ ?

Жирков Алексей
zhirkov@prosoft.ru