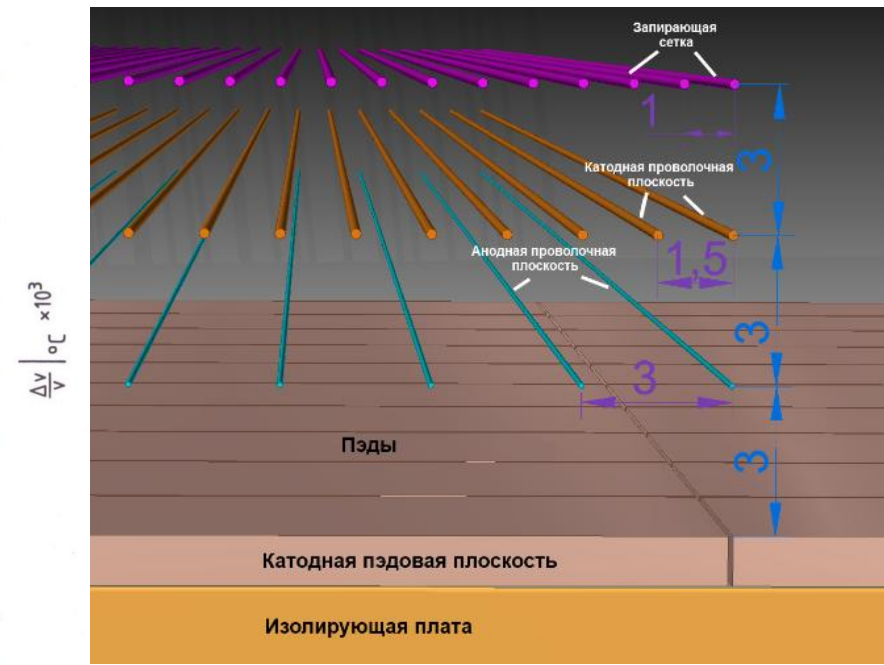
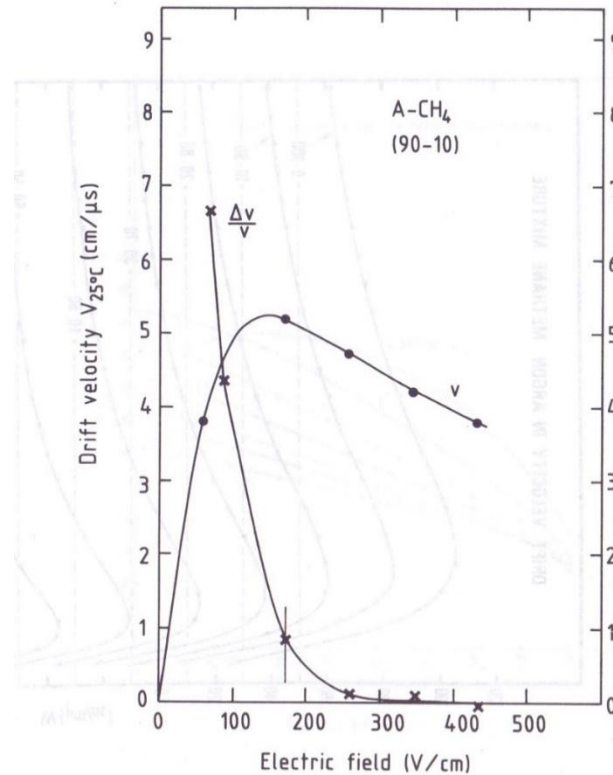
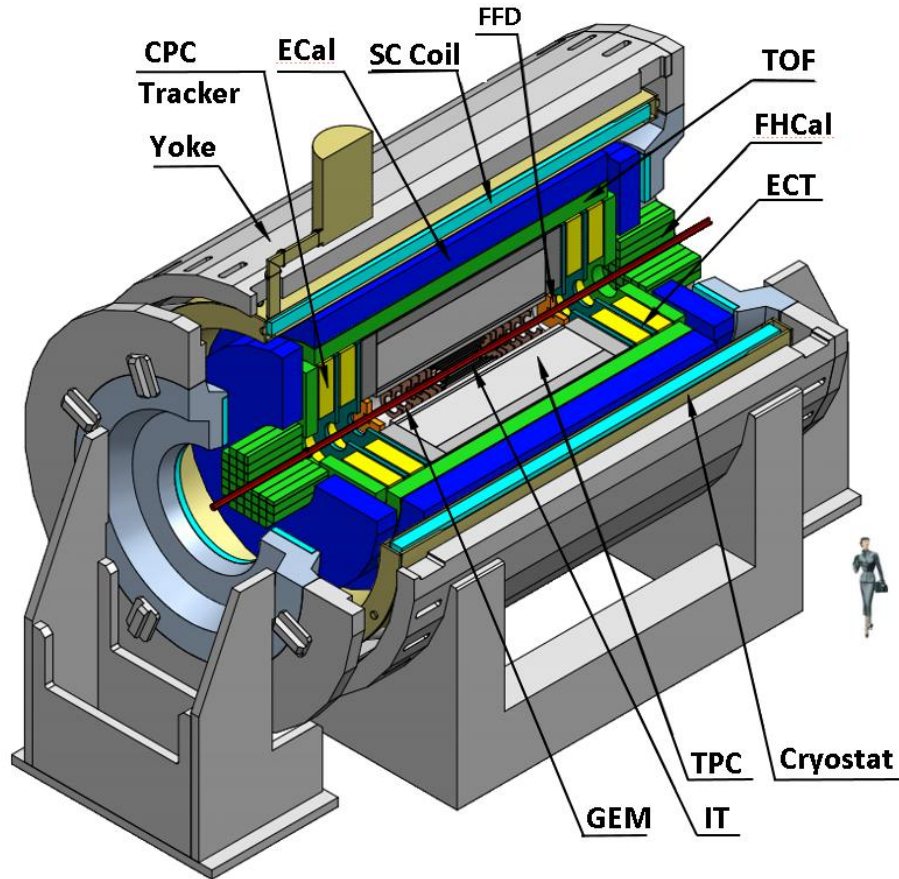


**Сравнение экспериментальных и расчётных
результатов контроля температурных режимов
работы электроники РОС-камеры детектора
ТРС для эксперимента МРД.**

1. Введение

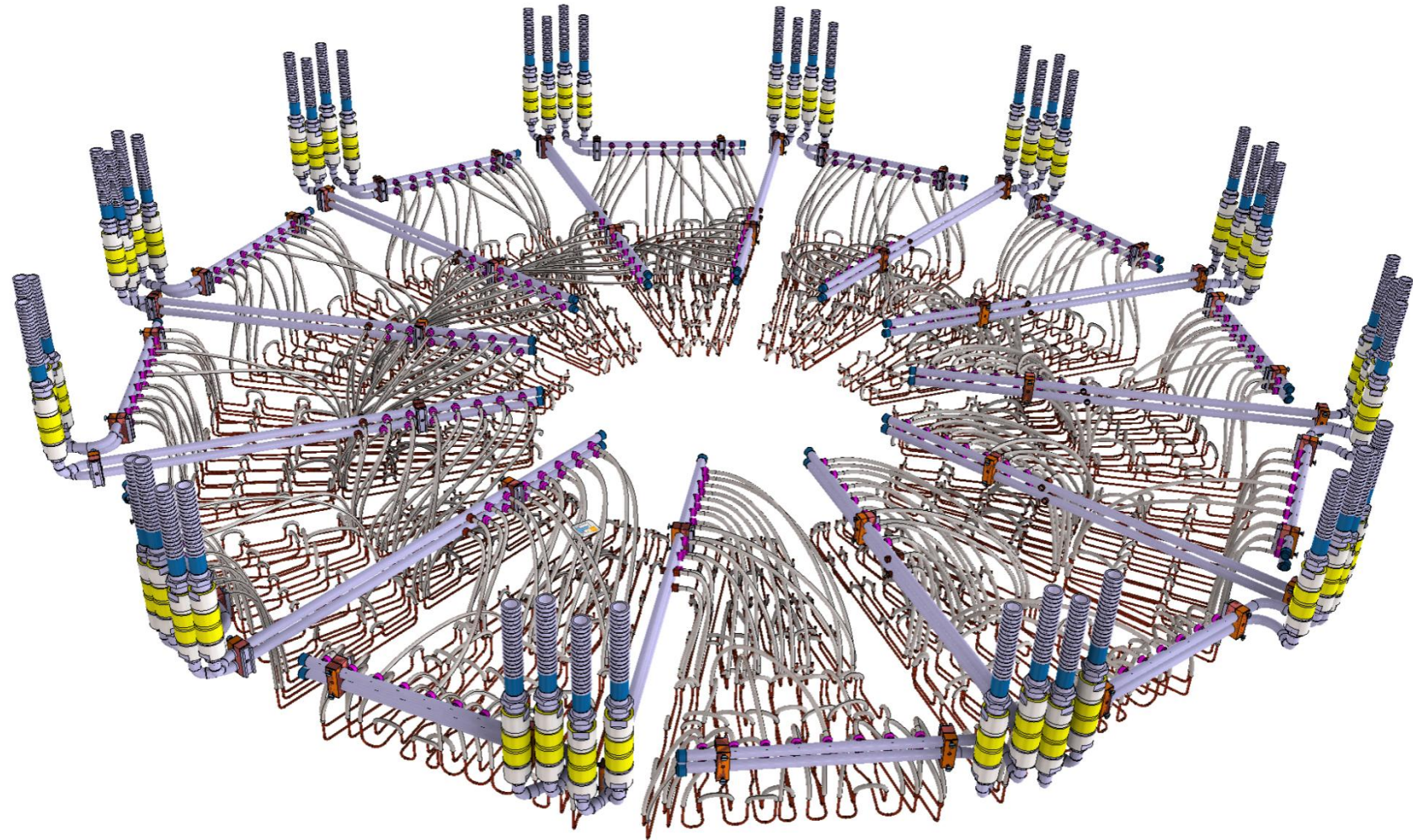
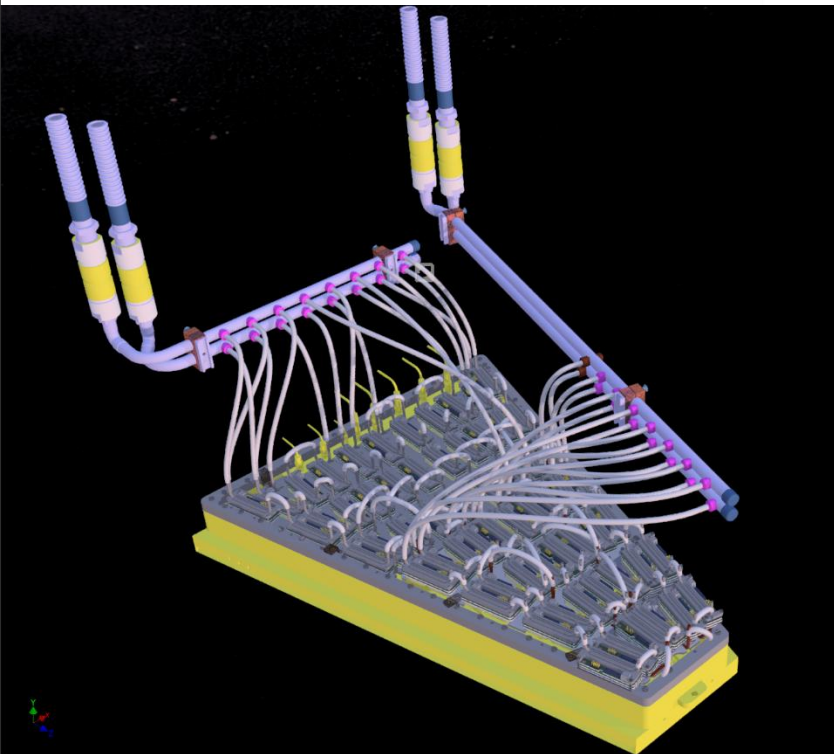
Основные задачи охлаждения и термостабилизации ТРС

- Ограничить поступления тепла от соседних детекторов и других источников тепла
- Отвести тепло от работающей электроники ТРС
- Термостабилизировать рабочую газ. смесь ТРС Ar:CH₄ (90:10) для стабилизации скорости дрейфа электронов в газовом объеме

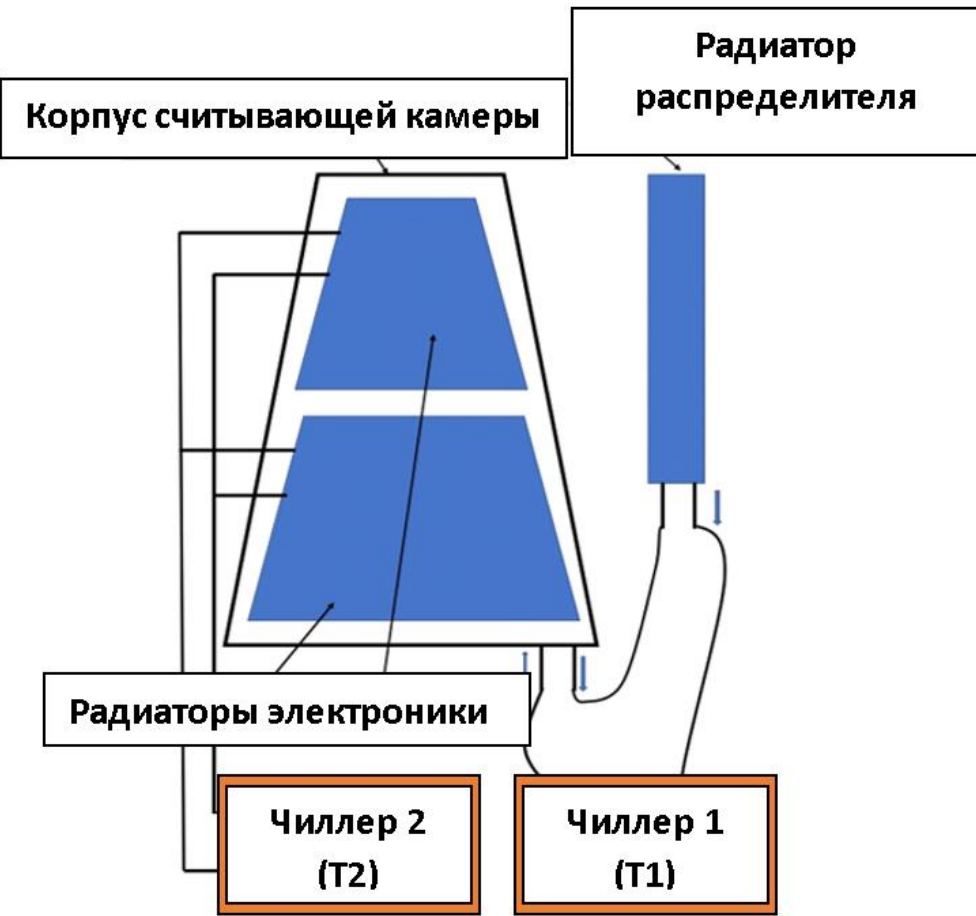


Контра Система охлаждения электроники на одном торце ТРС

Охлаждаемая часть (ROC-камера)

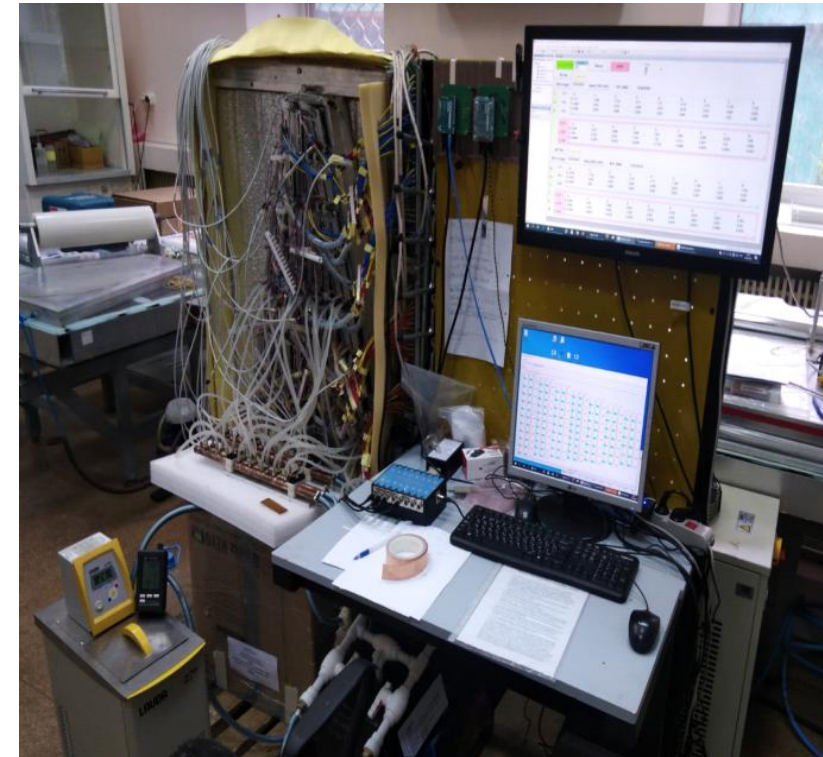
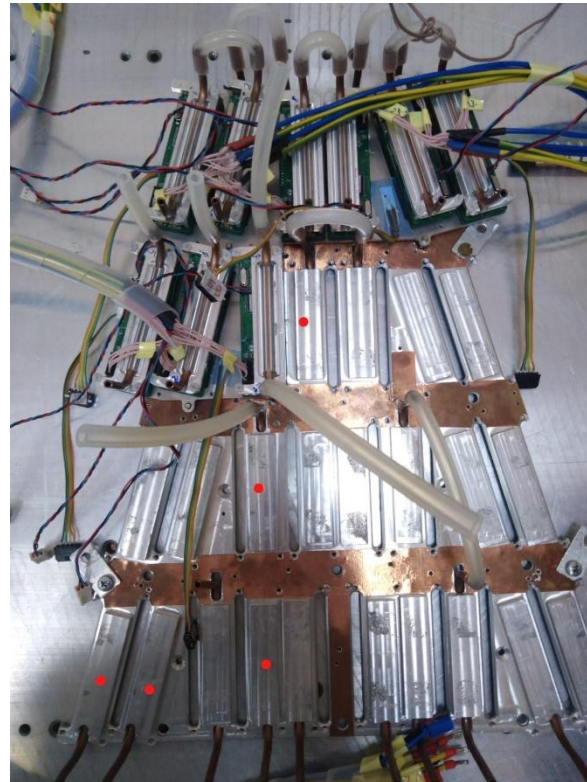
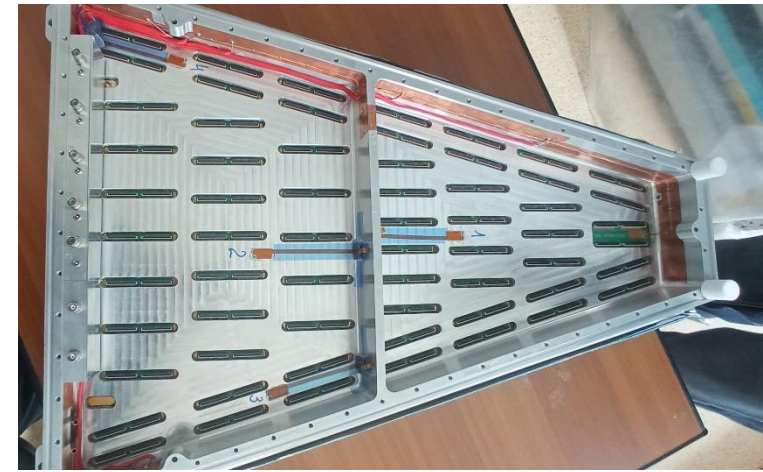


2.Схема стенда



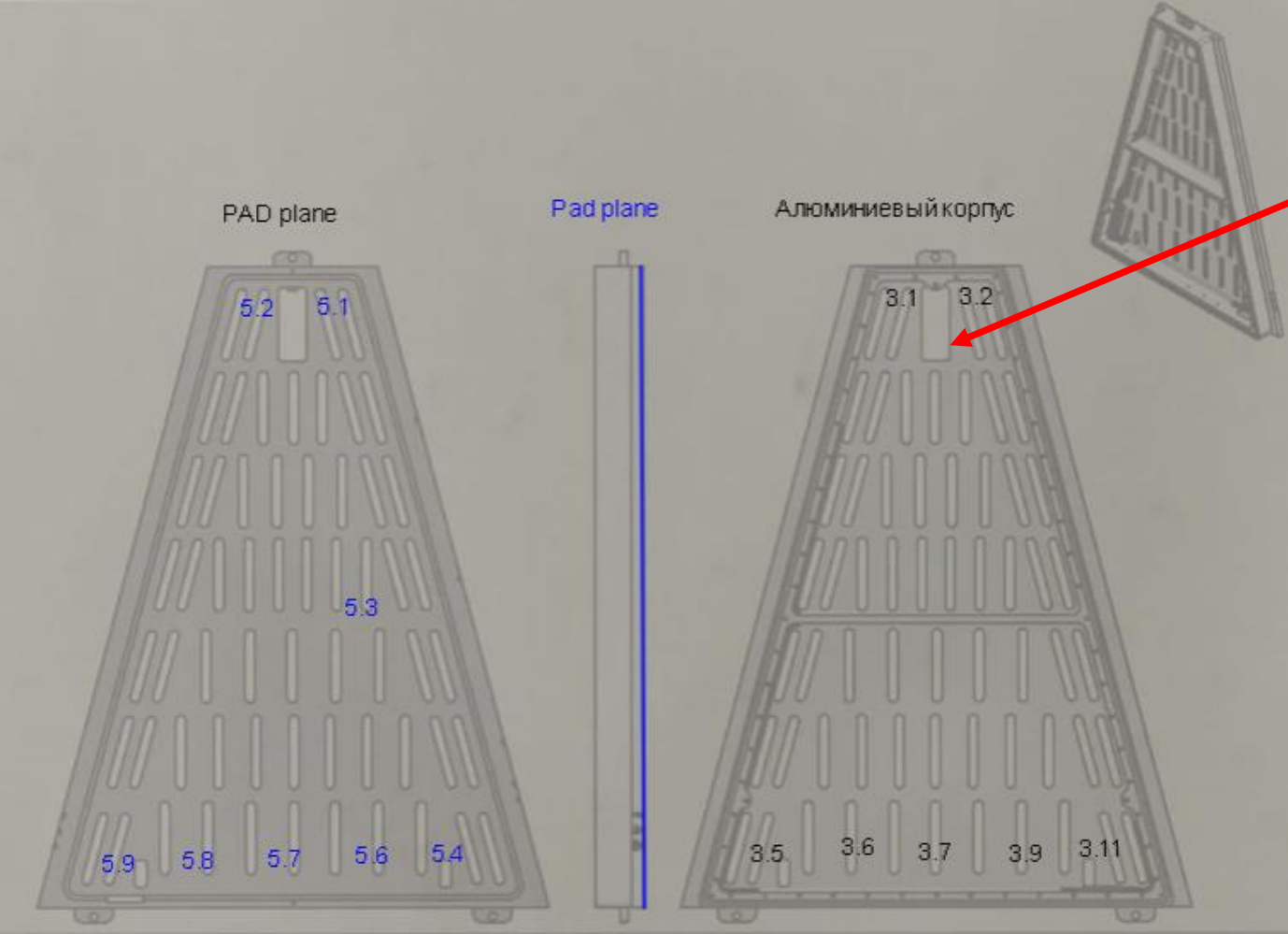
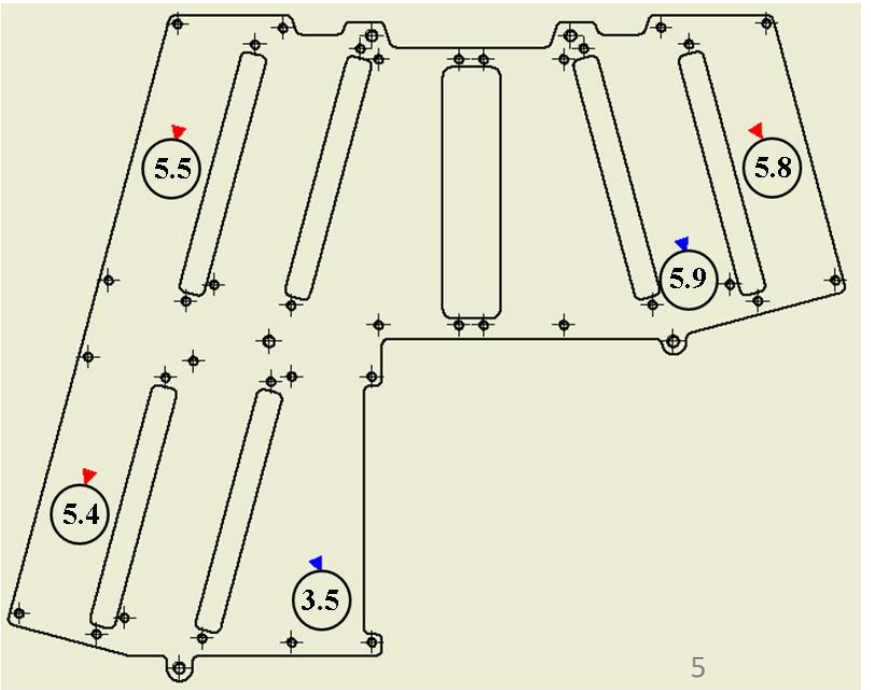
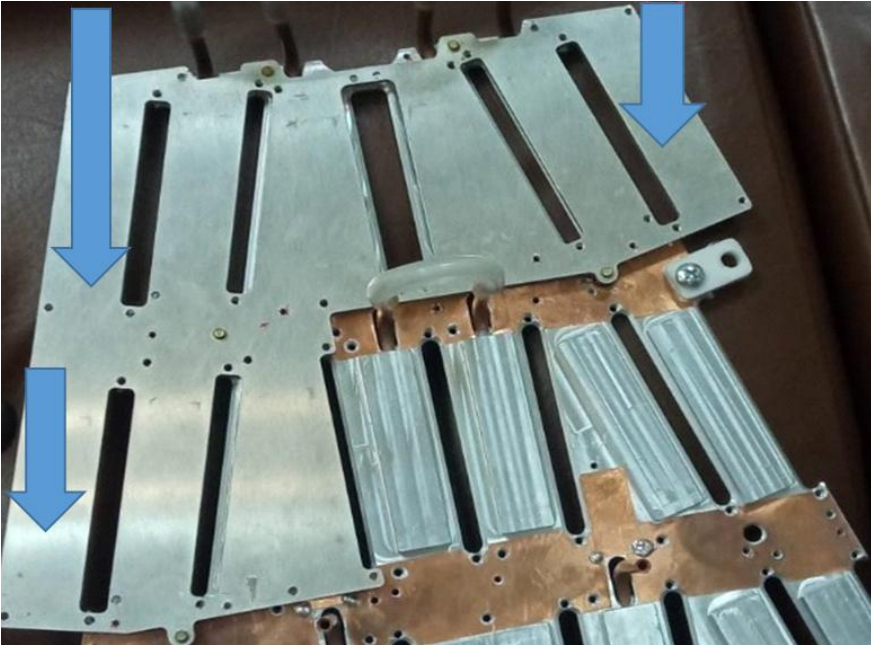
Возможность иметь разную T хладагента на радиаторах электроники и корпусе камеры

Тепловые имитаторы электроники выполнены на основе SMD резисторов в конструктиве рабочих плат.



3.Схема расположения датчиков температуры

PT-100:
класс AA,
точность измерения $\pm (0.1 + 0.0017 |t|) ^\circ\text{C}$.



Дополнительно контролировалась температура самих имитаторов карт электроники. Схема считывания температуры для 62 карт:

Измерения проводились при 2-х разных условиях для определения оптимума:

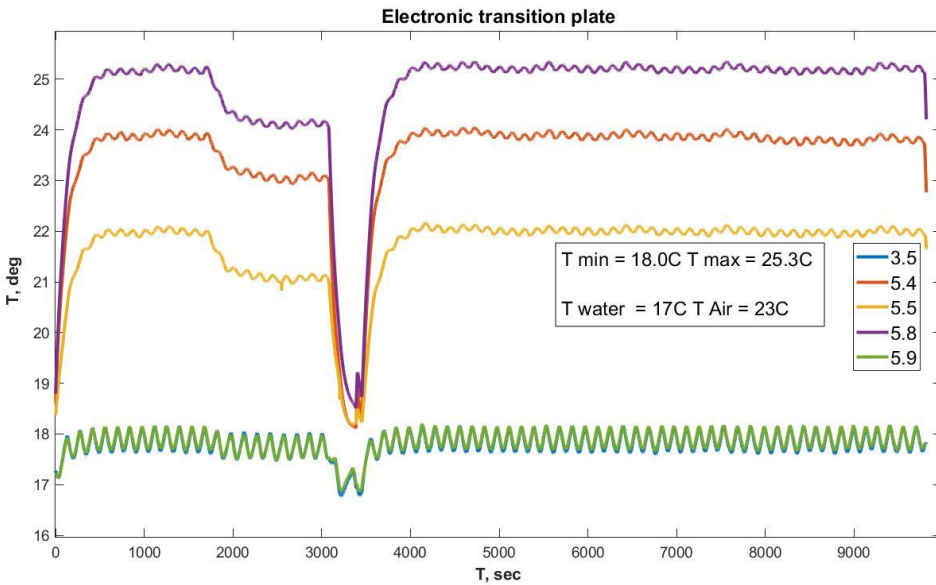
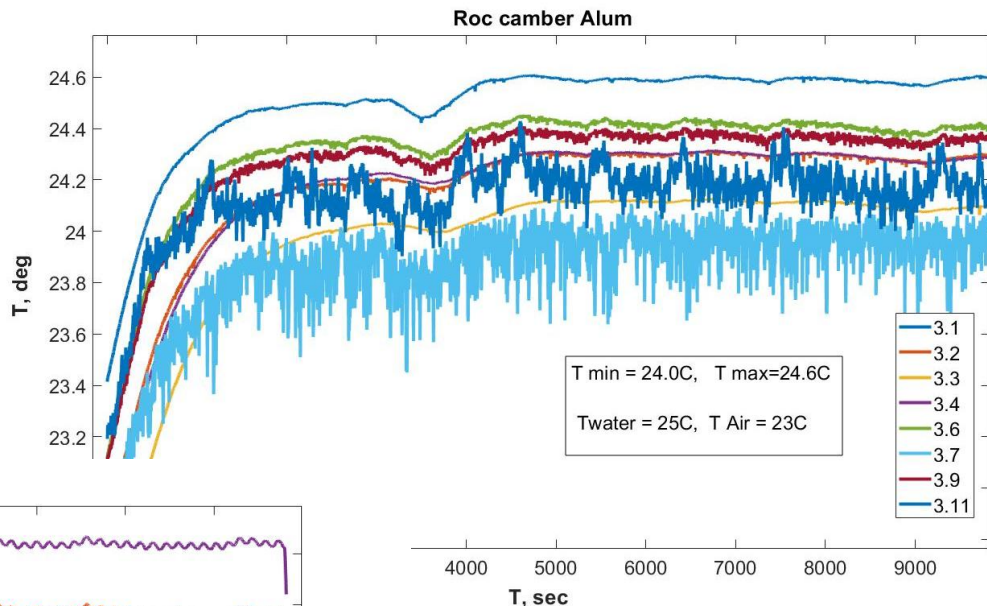
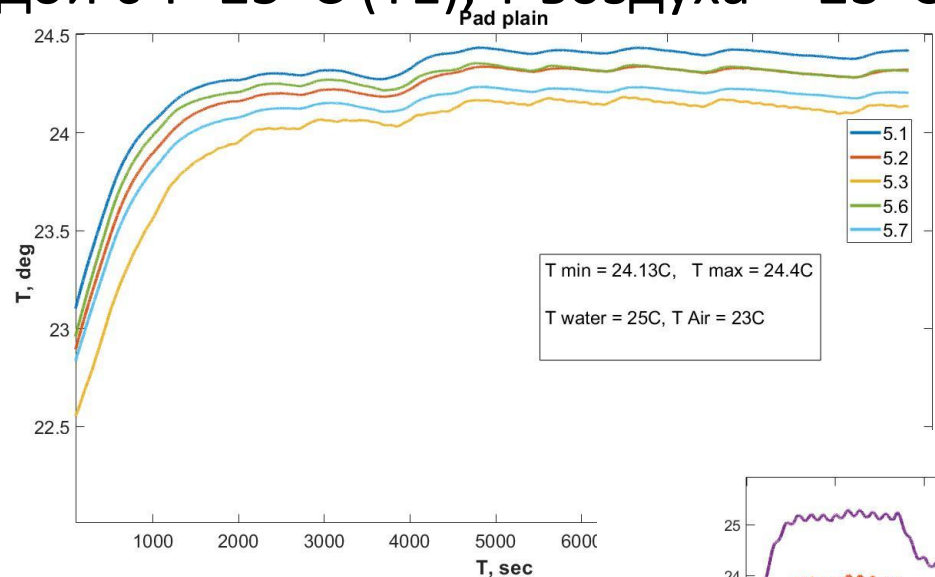
Card	U,В	P,Вт	T,°C	Other
a1	1.5	2.8	3.7	25.9
a2	1.5	2.8	3.7	23.9
a3	2.0	2.2	0.4	24.5
a4	1.6	2.9	3.8	25.9
a5	1.7	2.2	0.4	25.9
a6	1.3	2.7	3.6	25.9
a7	1.7	2.2	0.4	26.3
a8	1.5	2.8	3.7	24.6
a9	1.7	2.2	0.4	24.6
a10	1.5	2.8	3.7	24.6
a11	1.7	2.2	0.4	24.6
a12	1.5	2.8	3.7	24.6
a13	1.7	2.2	0.4	24.6
a14	1.5	2.8	3.7	24.6
a15	1.7	2.2	0.4	24.6
a16	1.5	2.8	3.7	24.6
a17	1.7	2.2	0.4	24.6
a18	1.5	2.8	3.7	24.6
a19	1.7	2.2	0.4	24.6
a20	1.5	2.8	3.7	24.6
a21	1.7	2.2	0.4	24.6
a22	1.5	2.8	3.7	24.6
a23	1.7	2.2	0.4	24.6
a24	1.5	2.8	3.7	24.6
a25	1.7	2.2	0.4	24.6
a26	1.5	2.8	3.7	24.6
a27	1.7	2.2	0.4	24.6
a28	1.5	2.8	3.7	24.6
a29	1.7	2.2	0.4	24.6
a30	1.5	2.8	3.7	24.6
a31	1.7	2.2	0.4	24.6
a32	1.5	2.8	3.7	24.6
a33	1.7	2.2	0.4	24.6
a34	1.5	2.8	3.7	24.6
a35	1.7	2.2	0.4	24.6
a36	1.5	2.8	3.7	24.6
a37	1.7	2.2	0.4	24.6
a38	1.5	2.8	3.7	24.6
a39	1.7	2.2	0.4	24.6
a40	1.5	2.8	3.7	24.6
a41	1.7	2.2	0.4	24.6
a42	1.5	2.8	3.7	24.6
a43	1.7	2.2	0.4	24.6
a44	1.5	2.8	3.7	24.6
a45	1.7	2.2	0.4	24.6
a46	1.5	2.8	3.7	24.6
a47	1.7	2.2	0.4	24.6
a48	1.5	2.8	3.7	24.6
a49	1.7	2.2	0.4	24.6
a50	1.5	2.8	3.7	24.6
a51	1.7	2.2	0.4	24.6
a52	1.5	2.8	3.7	24.6
a53	1.7	2.2	0.4	24.6
a54	1.5	2.8	3.7	24.6
a55	1.7	2.2	0.4	24.6
a56	1.5	2.8	3.7	24.6
a57	1.7	2.2	0.4	24.6
a58	1.5	2.8	3.7	24.6
a59	1.7	2.2	0.4	24.6
a60	1.5	2.8	3.7	24.6
a61	1.7	2.2	0.4	24.6
a62	1.5	2.8	3.7	24.6

- 1) охлаждение электроники водой с $T=17^{\circ}\text{C}$ (T_2), охлаждение корпуса ROC камеры водой с $T=25^{\circ}\text{C}$ (T_1), T воздуха $\sim 23^{\circ}\text{C}$ (случай 1);
- 2) охлаждение электроники водой с $T=19^{\circ}\text{C}$ (T_2), охлаждение корпуса ROC камеры водой с $T=22^{\circ}\text{C}$ (T_1); T воздуха $\sim 23^{\circ}\text{C}$ (случай 2).

4. Результаты измерений

4.1 Случай 1

охлаждение электроники водой с $T=17^{\circ}\text{C}$ (T_2), «охлаждение» корпуса ROC камеры водой с $T=25^{\circ}\text{C}$ (T_1), T воздуха $\sim 23^{\circ}\text{C}$



Pad plane: $dT=0.3^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T=(24.4-24.1)^{\circ}\text{C}$)
 ROC: $dT=0.6^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T=(24.6-24.0)^{\circ}\text{C}$)
 Plate: $dT=7.3^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T=(25.3-18.0)^{\circ}\text{C}$)

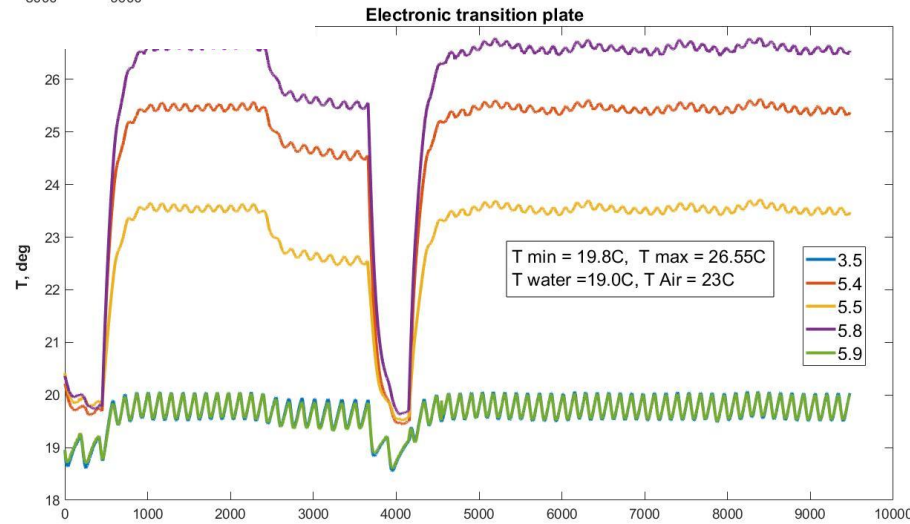
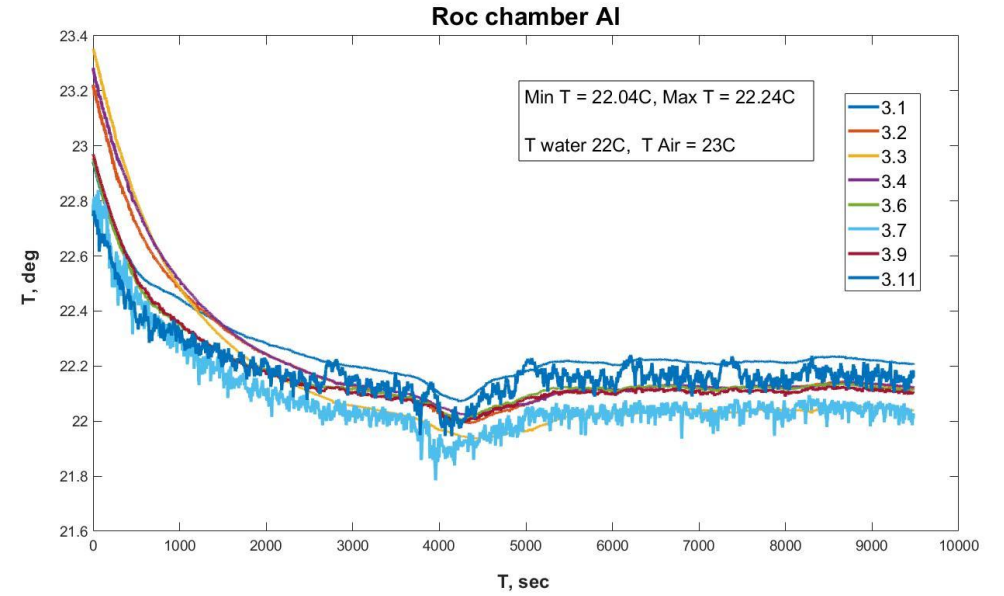
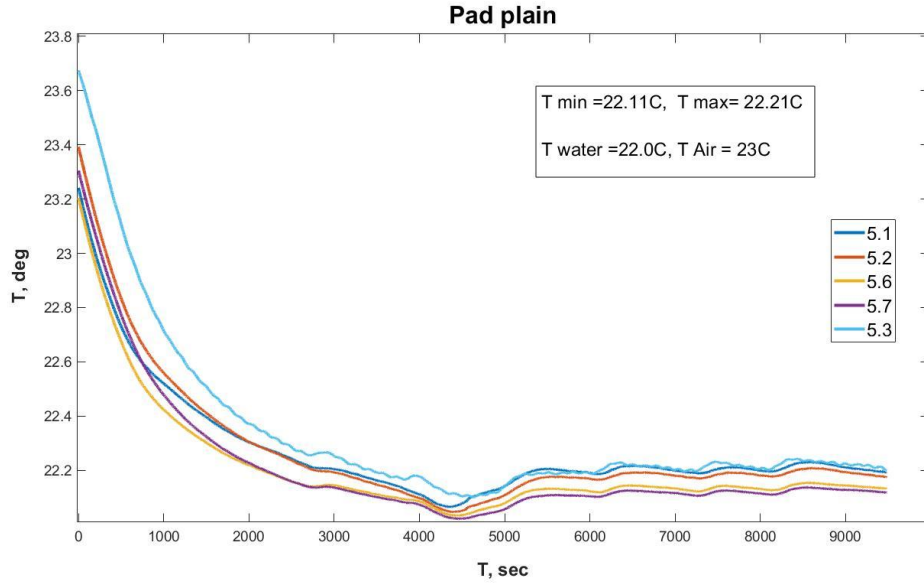
 $T_{\text{water}}=17^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{waterROC}}=25^{\circ}\text{C}$,
 $T_{\text{air}}=23^{\circ}\text{C}$

T плат электроники:
 SAMPA $dT=8^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T_{\text{SAMPA}}=29-21^{\circ}\text{C}$)
 $T=17^{\circ}\text{C}$ - $dT=4^{\circ}\text{C}$ ($21-17^{\circ}\text{C}$)

 FPGA $dT=7^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T_{\text{FPGA}}=33-26^{\circ}\text{C}$)
 $T=17^{\circ}\text{C}$ - $dT=9^{\circ}\text{C}$ ($26-17^{\circ}\text{C}$)

4.2 Случай 2

охлаждение электроники водой с $T=19^{\circ}\text{C}$ (T_2), охлаждение корпуса ROC
камеры водой с $T=22^{\circ}\text{C}$ (T_1): T воздуха - $\sim 23^{\circ}\text{C}$



Pad plane: $dT=0.1^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T=(22.2-22.1)^{\circ}\text{C}$)

ROC: $dT=0.2^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T=(22.2-24.0)^{\circ}\text{C}$)

Plate: $dT=6.7^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T=(26.5-19.8)^{\circ}\text{C}$)

$T_{\text{water}}=19^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{waterROC}}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{air}}=23^{\circ}\text{C}$

T плат электроники:

SAMPA $dT=6^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T_{\text{SAMPA}}=28-22^{\circ}\text{C}$)

$T=19^{\circ}\text{C}$ - $dT=3^{\circ}\text{C}$ ($22-19^{\circ}\text{C}$)

FPGA $dT=9^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T_{\text{FPGA}}=35-26^{\circ}\text{C}$)

$T=19^{\circ}\text{C}$ - $dT=7^{\circ}\text{C}$ ($26-19^{\circ}\text{C}$)

4.3 Выводы

Точность измерений $T^0 \pm 0.05C$

№ случая	T1 град. С	T2 град. С	ΔT_{SAMPA} град. С	ΔT_{FPGA} град. С	ΔT_{PAD} град. С	ΔT_{ROC} град. С	$\Delta T_{\text{панели}}$ град. С	T _{max} град. С	T _{min} град. С
1	25	17	8 (21-29, max=30)	7 (26-33) max=33)	0.3 (23.1- 24.4)	0.6 (24.0- 24.6)	7.3 (18.0- 25.3)	33	20
2	22	19	6 (22-28, max=31)	9 (26-35) max=35)	0.1 (22.1- 22.2)	0.2 (22.0- 22.2)	6.75 (19.8- 26.5)	35	22

Видно, что чем ближе температура воды для охлаждения корпуса ROC-камеры к температуре окружающей среды, тем меньше разброс температур на пэдовой плоскости.

5. Расчётная часть

Расчёты для стационарного теплового режима проводились в Autodesk Inventor Nastran. Все граничные условия в расчётной части соответствуют экспериментальным.

Случай 1:

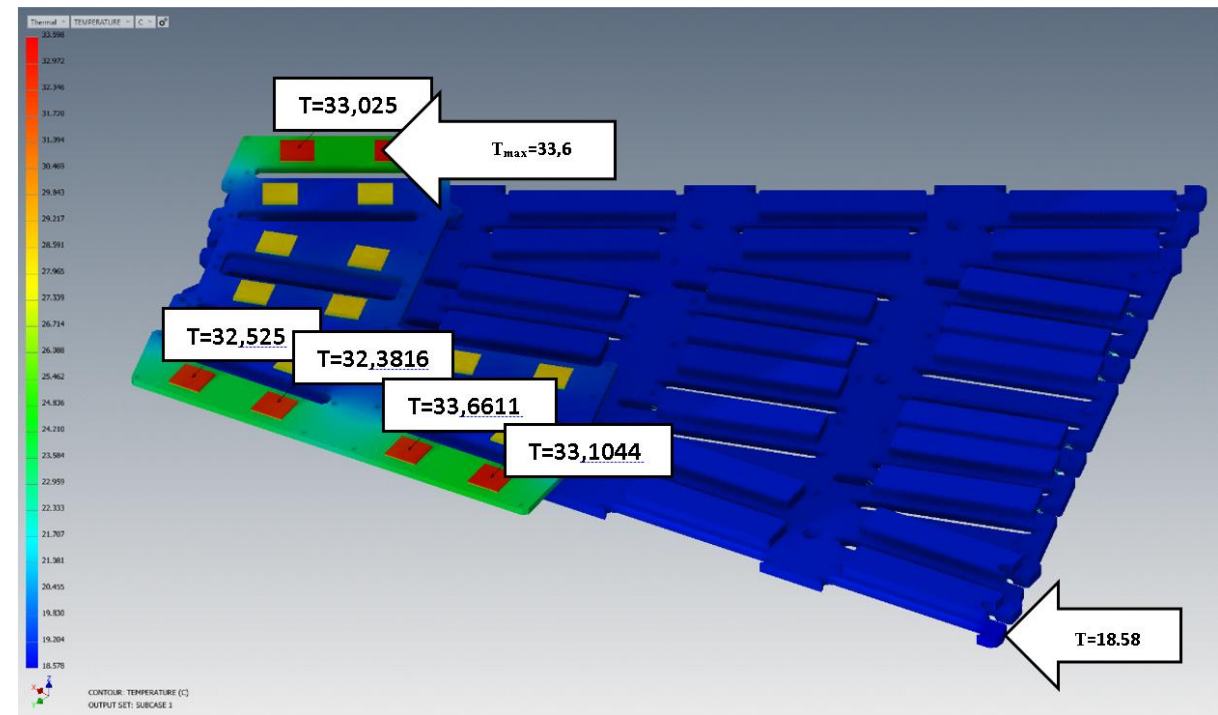
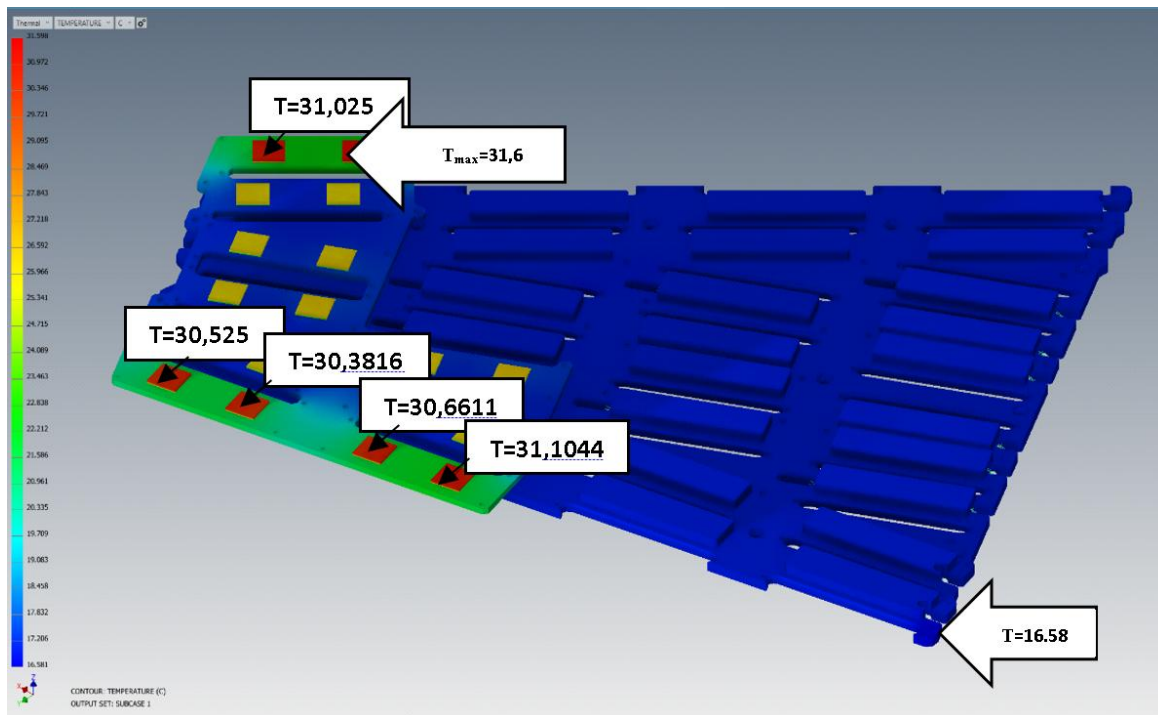
Water ROC $T=25^{\circ}\text{C}$ (T1), Water FEC $T=17^{\circ}\text{C}$ (T2) Air $T=23^{\circ}\text{C}$

→ $T_{\min} = 30.4^{\circ}\text{C}$, $T_{\max} = 31.6^{\circ}\text{C}$; $\Delta T = 1,2^{\circ}\text{C}$

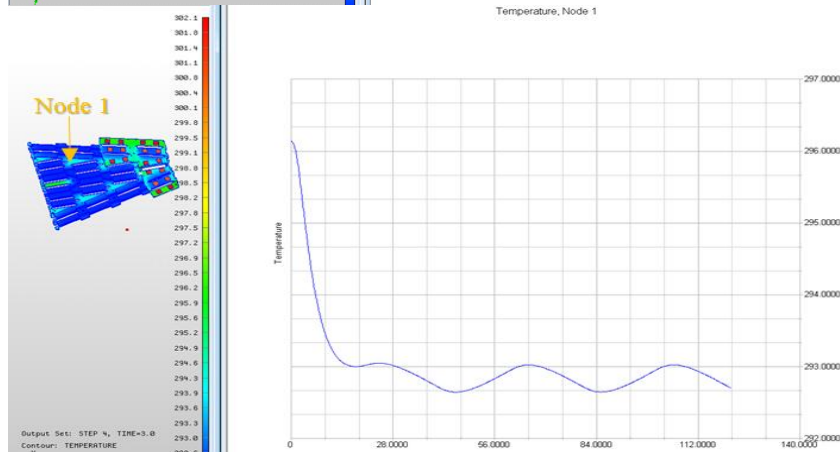
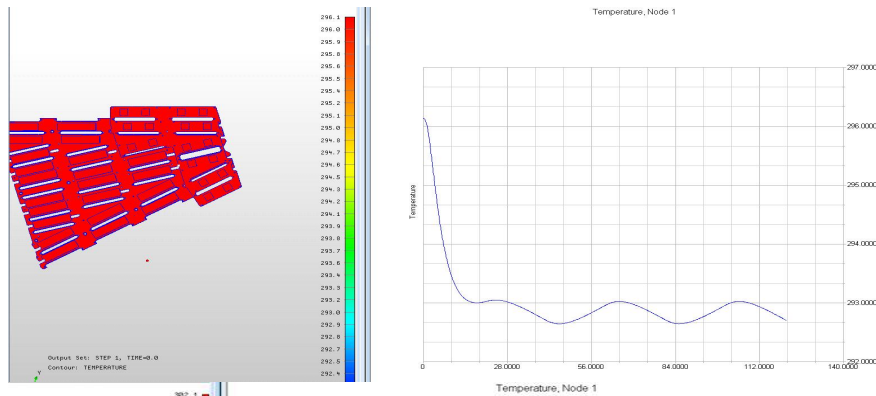
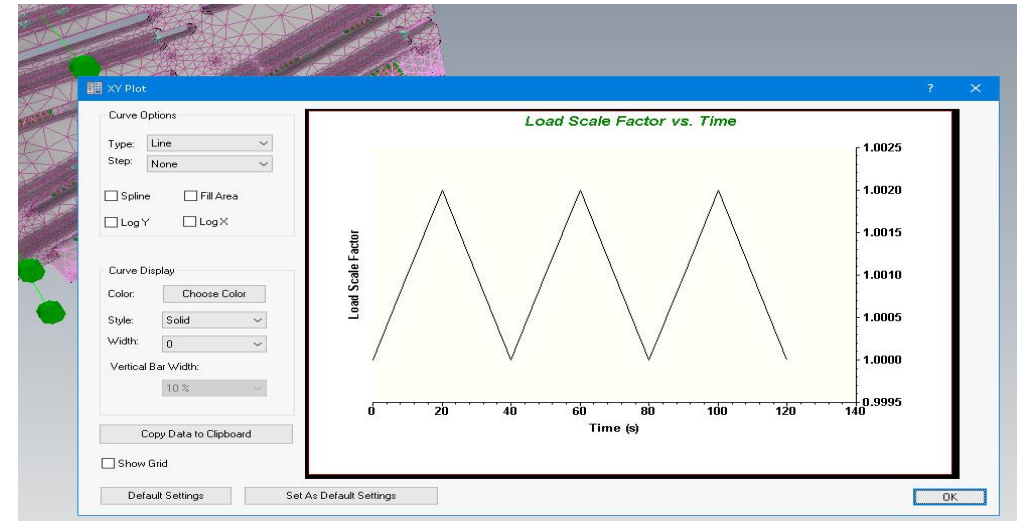
Случай 2:

Water ROC $T=22^{\circ}\text{C}$ (T1), Water FEC $T=19^{\circ}\text{C}$ (T2) Air $T=23^{\circ}\text{C}$

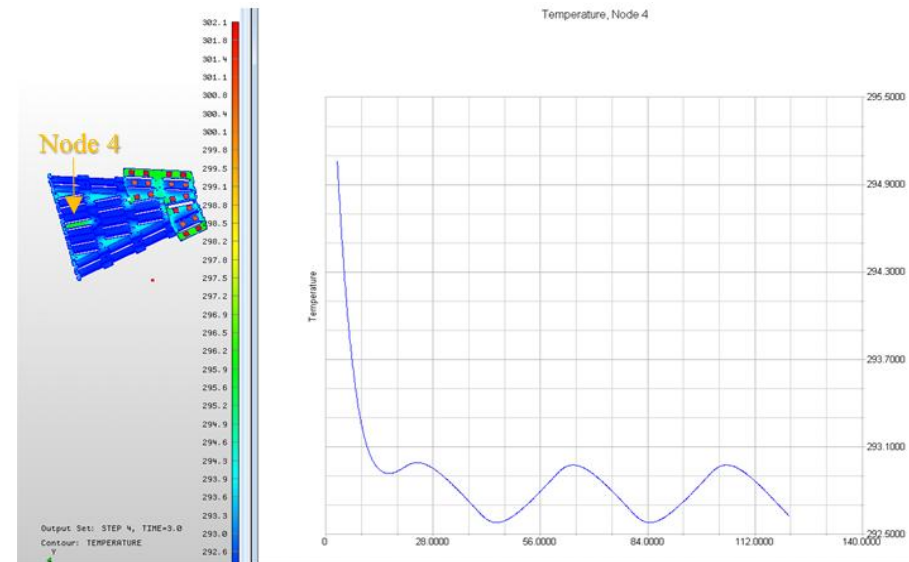
→ $T_{\min} = 32.5^{\circ}\text{C}$, $T_{\max} = 33.6^{\circ}\text{C}$; $\Delta T = 1,1^{\circ}\text{C}$



Большой интерес представляют расчёты для нестационарного теплового режима с попыткой оценить влияние колебания температуры на входах контуров водяного охлаждения, связанного с режимом работы чиллера. Граничные условия на входах были заданы упрощённо по определенному алгоритму, имитирующего работу чиллера.



За минимум принята T воды охлаждения $FEC = 19^{\circ}C$, нагрев до срабатывания чиллера $1^{\circ}C$, период колебаний составляет 40 сек.



6. Заключение

- минимальный перегрев плат с микросхемами SAMPA при хорошем качестве их монтажа составляет величину $dT=(3-4)^{\circ}\text{C}$ относительно температуры воды
- минимальный перегрев плат с микросхемами FPGA при хорошем качестве их монтажа составляет величину $dT=(7-9)^{\circ}\text{C}$ относительно температуры воды
- карты на переходной пластине (на ее краях) нагреваются до температуры 35°C (max), что не влияет на их работоспособность и не сильно влияет на величину теплового потока от них на пэдтовую плоскость самой камеры
- Показана эффективность применения двухконтурной системы охлаждения: один контур - для карт электроники считывания (с более низкой температурой воды), а второй – для корпуса ROC-камеры
- Показано, что в этом случае распределение температуры по пэдтовой плоскости камеры не превышает $dT \leq 0.1^{\circ}\text{C}$ (при *приближении температуры хладагента для термостабилизации корпуса камеры к температуре окружающего её воздуха*), что удовлетворяет требованиям на разброс температуры газовой смеси Ar/CH₄ (90:10) в дрейфовом объеме TPC ($\leq 0.5^{\circ}\text{C}$).