



РОССИЙСКИЙ ФОРУМ
МИКРОЭЛЕКТРОНИКА
10 ЛЕТ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ
ТЕРРИТОРИЯ
«СИРИУС»



24-27
сентября 2024

Бурлаков Владислав Игоревич
ГНЦ РФ АО «НПО «Орион»

10 лет
вместе!

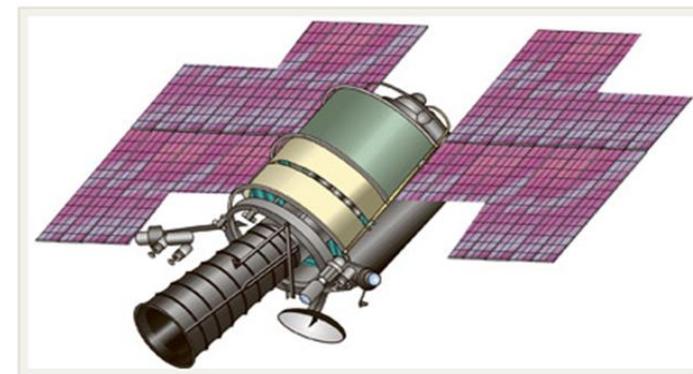
Исследование крупноформатного инфракрасного
фотоприёмного устройства на основе цифровых
фотомодулей для сканирующей аппаратуры



Цель: сравнительные исследования фотоэлектрических, теплофизических и массогабаритных параметров крупноформатного цифрового многорядного фотоприёмного устройства инфракрасного диапазона (ИК ФПУ-Д)

Задачи :

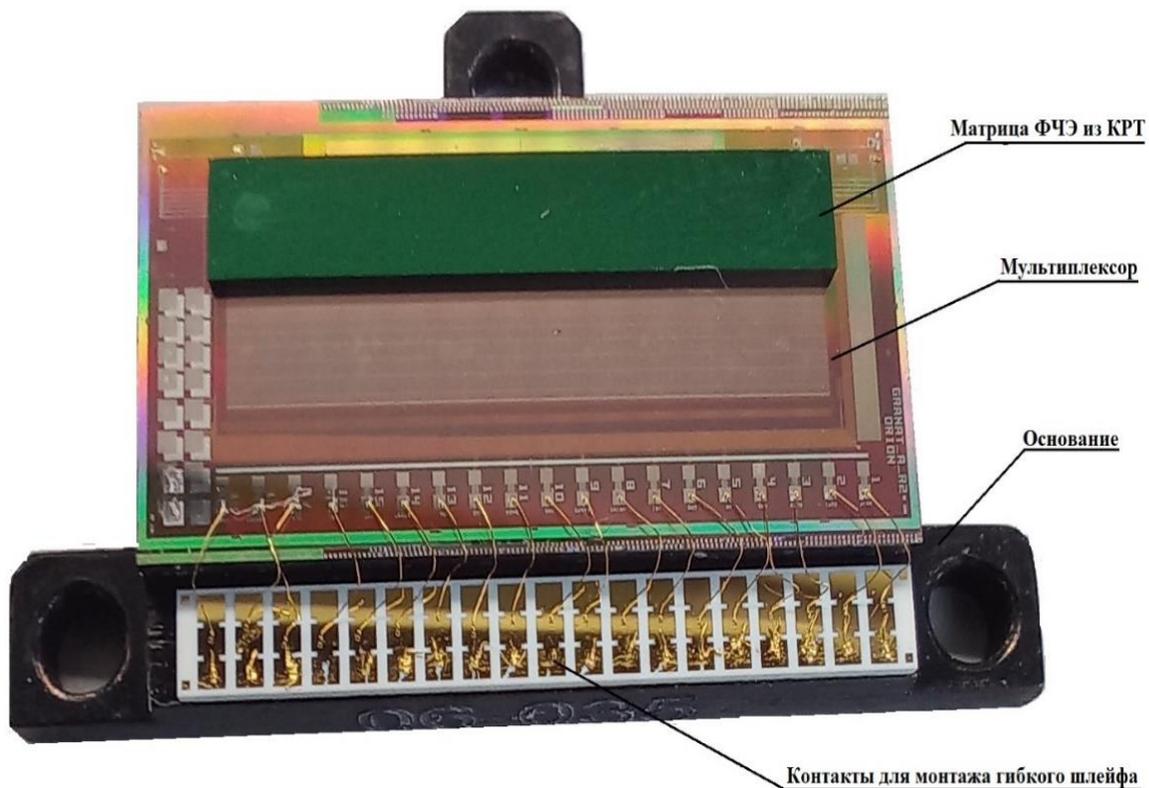
- ▶ Исследование фотоэлектрических параметров фотомодулей с цифровыми (ФМ-Д) и аналоговыми (ФМ-А) выходами;
- ▶ Анализ и сравнение фотоэлектрических параметров ФМ-А и ФМ-Д;
- ▶ Тепловой расчет ФПУ с ФМ-А (ФПУ-А);
- ▶ Анализ теплофизики конструкции ФПУ-А;
- ▶ Тепловой расчет ФПУ с ФМ-Д (ФПУ-Д);
- ▶ Анализ теплофизики конструкции ФПУ-Д;



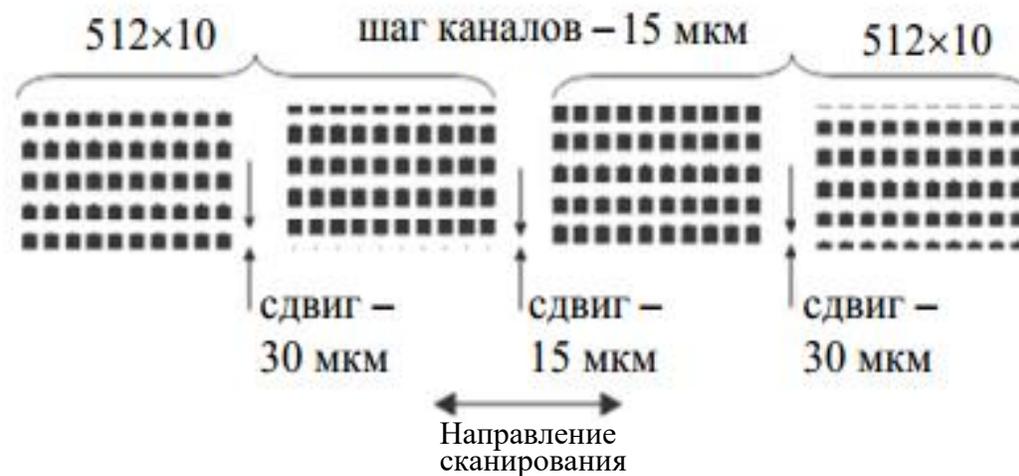
ИК ФПУ



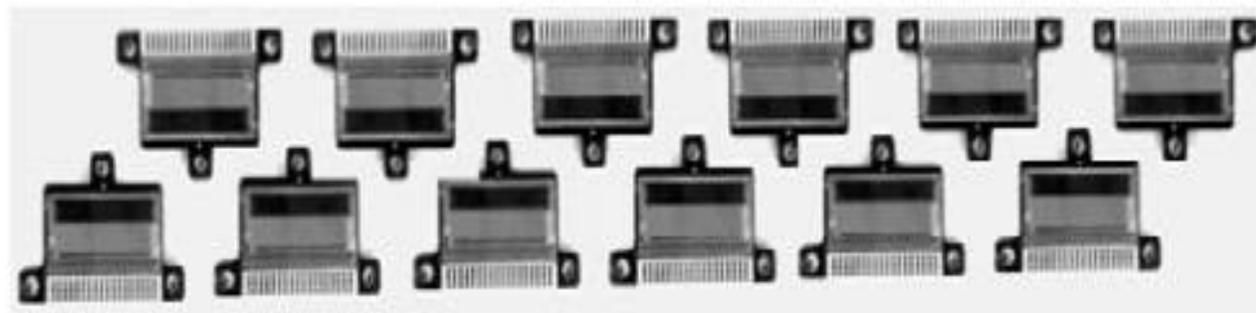
Структура фоточувствительной гибридной линейки крупноформатного многорядного ИК ФПУ



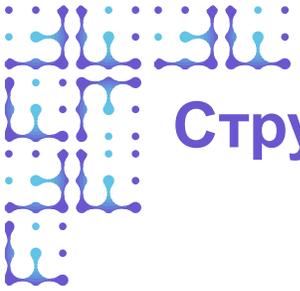
Фотомодуль (ФМ) – основной элемент ИК ФПУ
Формат матрицы ФЧЭ - 1024×10



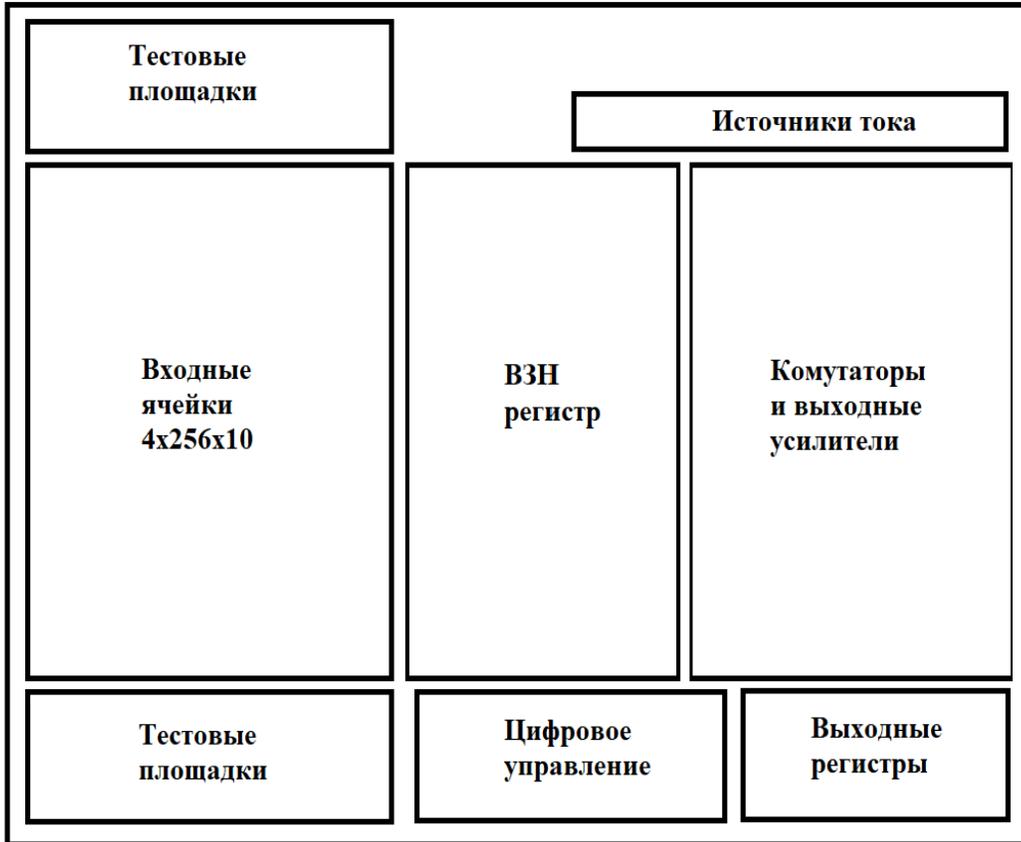
Топология матрицы ФЧЭ формата 1024×10



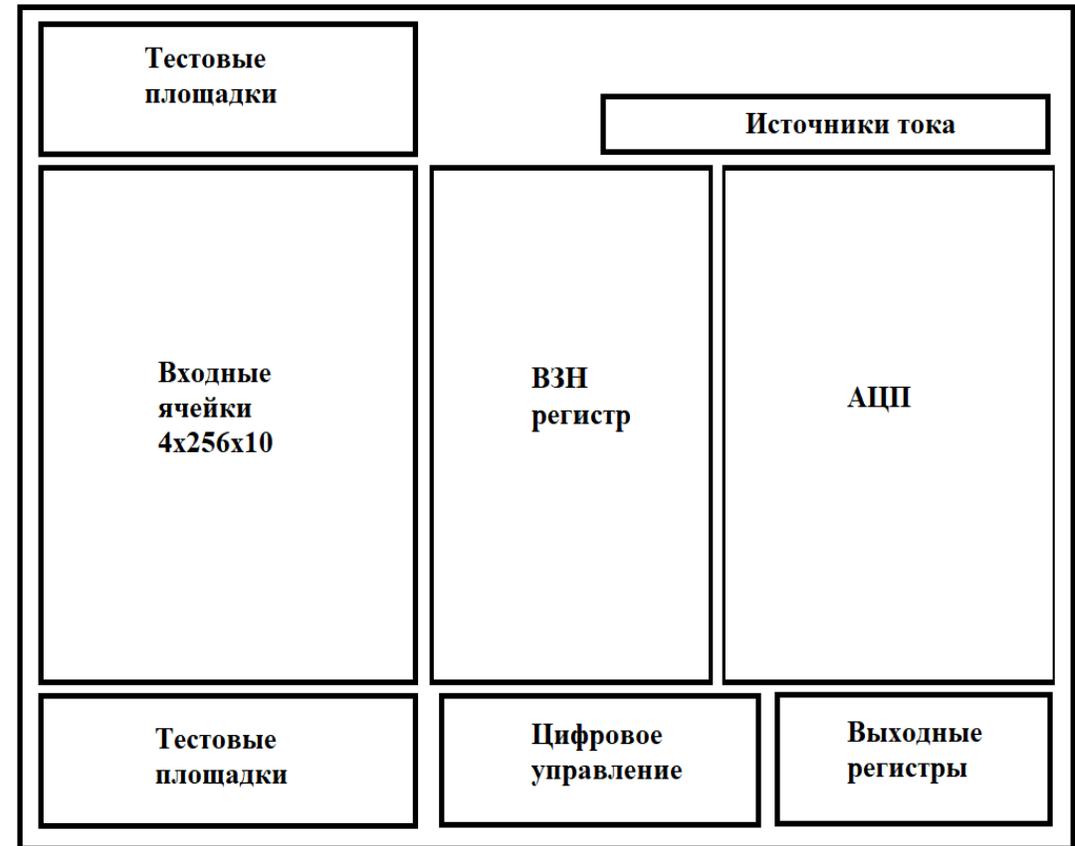
Гибридная фоточувствительная линейка
Формат – 12×(1024×10)



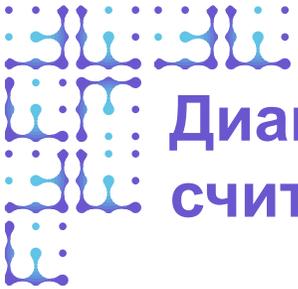
Структурная схема БИС считывания ФМ-А и ФМ-Д



БИС считывания ФМ-А

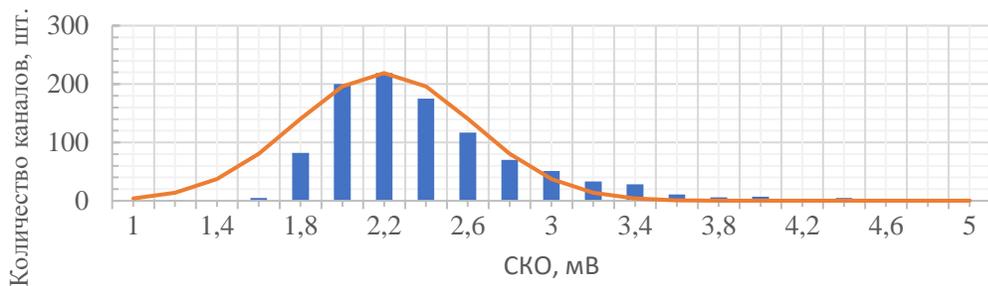


БИС считывания ФМ-Д

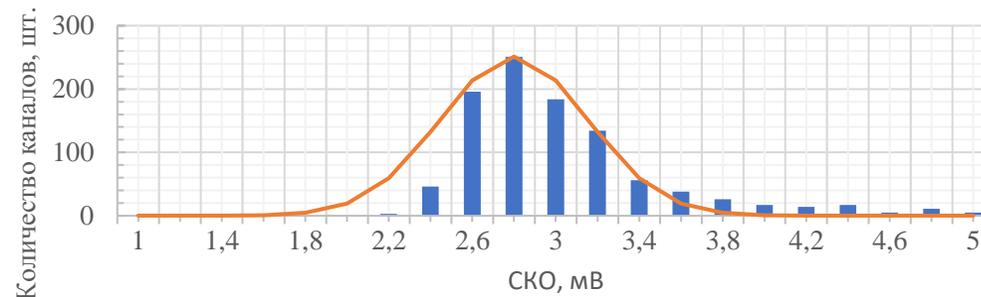


Диаграммы распределения СКО шума каналов БИС считывания

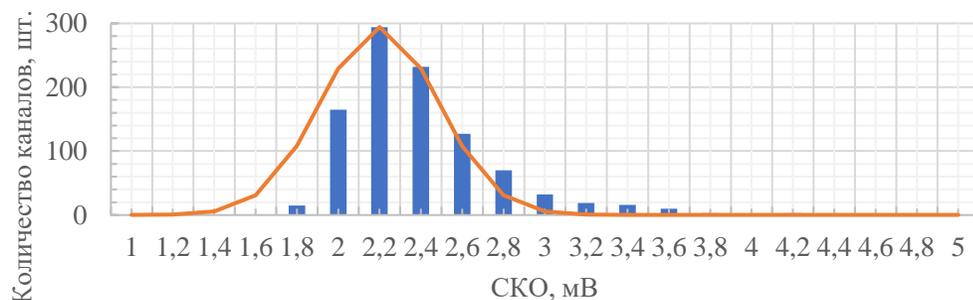
БИС ФМ-Д №1



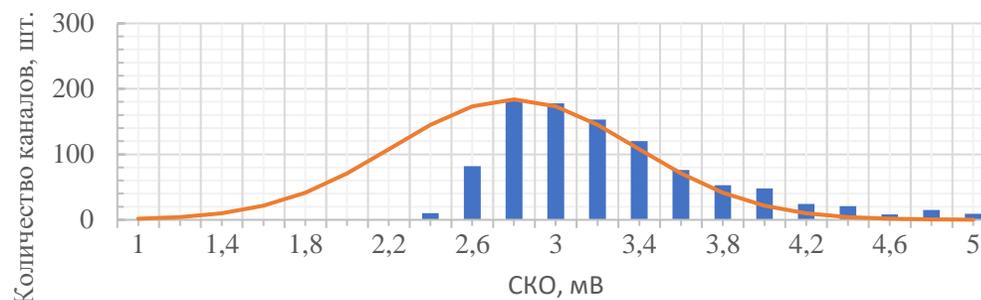
БИС ФМ-А №1



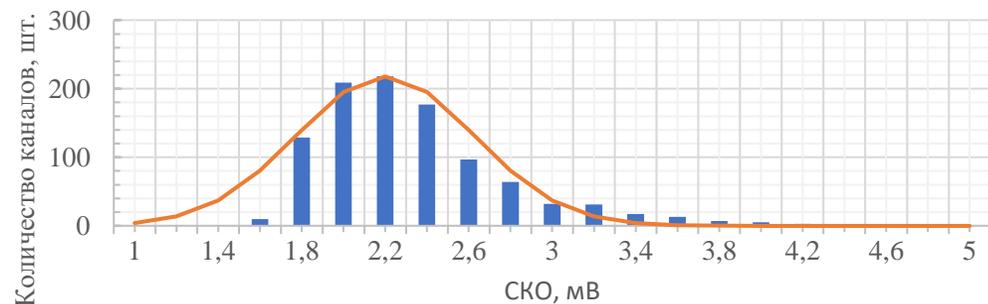
БИС ФМ-Д №2



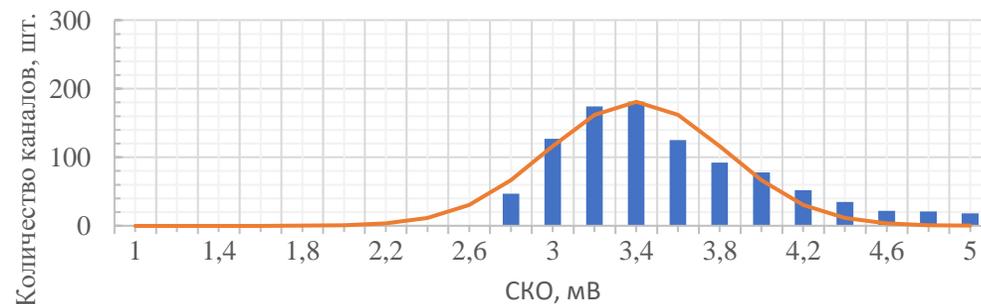
БИС ФМ-А №2

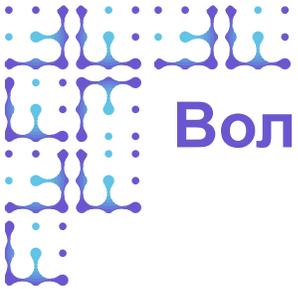


БИС ФМ-Д №3



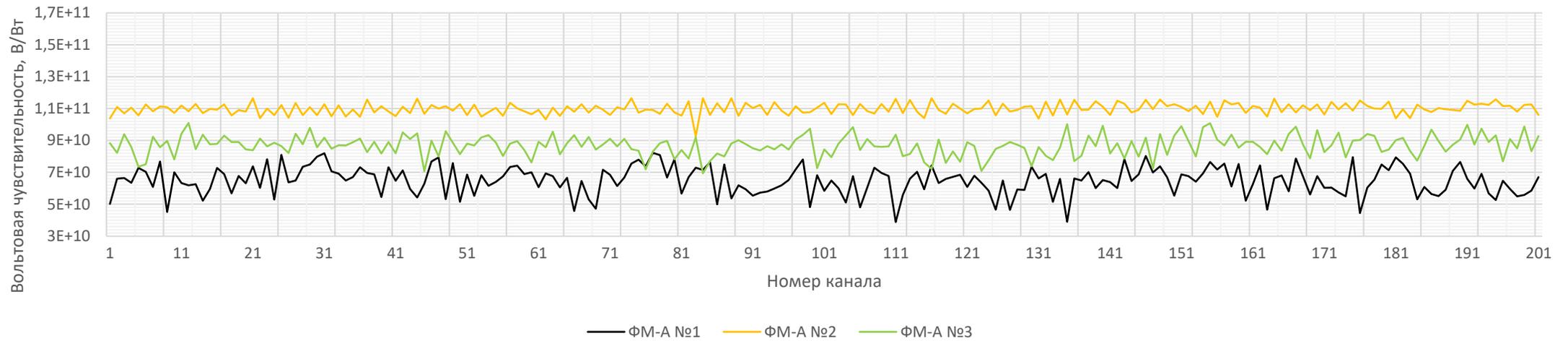
БИС ФМ-А №3



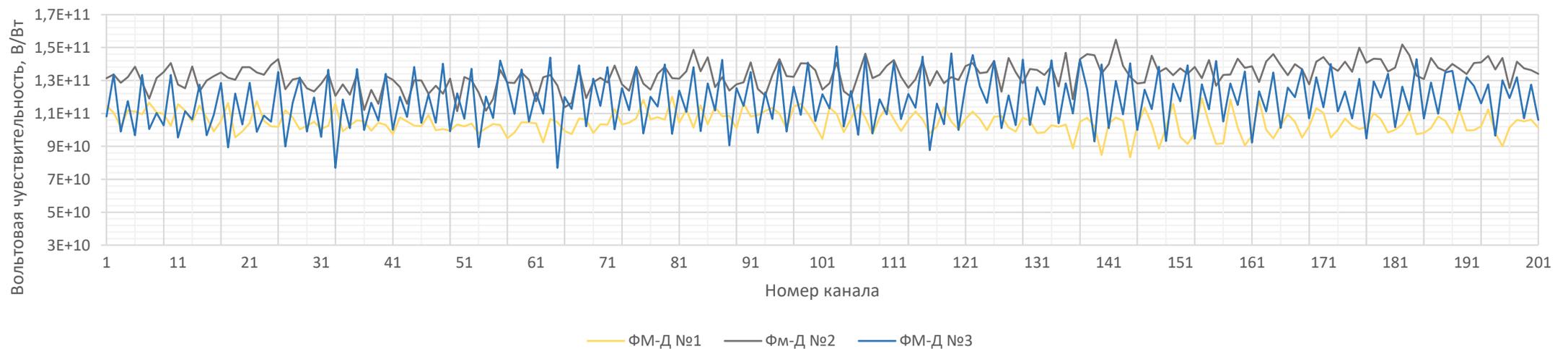


Вольтовая чувствительность по каналам в ФМ-А и ФМ-Д

Вольтовая чувствительность ФМ-А



Вольтовая чувствительность ФМ-Д





Результаты сравнительных экспериментальных исследований

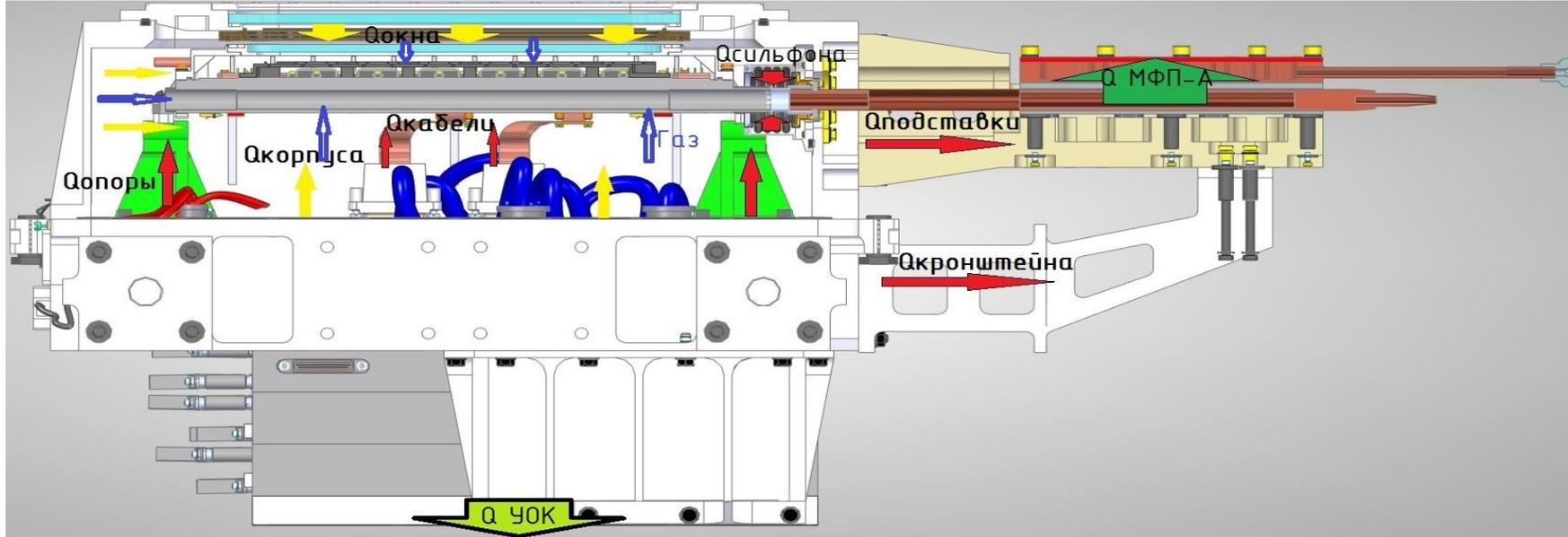
Оцениваемый параметр БИС считывания ФМ	БИС считывания ФМ-Д			БИС считывания ФМ-А		
	№1	№2	№3	№1	№2	№3
Медианное значение СКО шума, мВ	2,2	2,2	2,1	3,0	2,8	3,3
Максимум распределения, мВ	2,2	2,2	2,2	2,8	2,8	3,4
СКО распределения, мВ	0,6	0,6	0,6	0,8	0,5	0,6
Коэффициент корреляции между эмпирическим и нормальным законами распределения	0,96	0,95	0,95	0,91	0,89	0,92
Среднее СКО шума, мВ	2,27	3,61	2,21	3,19	2,91	3,51
Средняя вольтовая чувствительность, 10^9 В/Вт	176,1	211,3	139,6	61,6	107,1	87,6
СКО вольтовой чувствительности, 10^9 В/Вт	17,7	41,1	61,4	12,1	5,93	7,74

Шум каналов БИС считывания в ФМ-Д меньше, чем в ФМ-А.

Вольтовая чувствительность каналов в ФМ-Д в 1,5-2 раза выше, чем в ФМ-А.



Схема и составляющие теплового потока в конструкции ИК ФПУ



По элементам конструкции

$Q_{\text{тепл.констр}}$

- $Q_{\text{каб}}$ - по электрическим кабелям
- $Q_{\text{сильф}}$ - по сильфам от корпуса к ТТ
- $Q_{\text{оп}}$ - по опорам
- $Q_{\text{г}}$ - по ЭВТИ и газу
- $Q_{\text{кр}}$ - по кронштейну
- $Q_{\text{под}}$ - по подставке
- $Q_{\text{изол}}$ - по изоляции

По теплопроводности газа

$Q_{\text{тепл.газа}}$

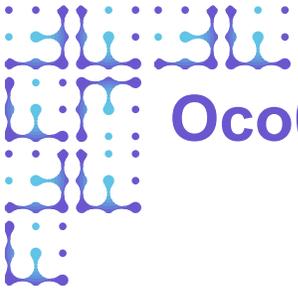
- $Q_{\text{окна}}$ - газом между окнами
- $Q_{\text{ТТ-сильф}}$ - между ТТ и сильфоном
- $Q_{\text{сильф-ст}}$ - между сильфоном и стаканом
- $Q_{\text{корп-ст}}$ - газом между корпусом и стаканом

По излучению $Q_{\text{изл}}$

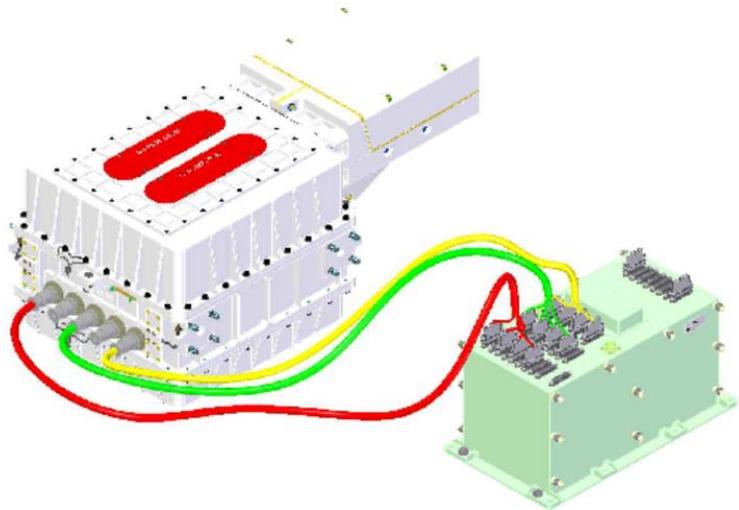
- $Q_{\text{излкор}}$ - между корпусом и фотомодулями
- $Q_{\text{излокна}}$ - между входным окном фотомодулей и окнами корпуса
- $Q_{\text{ТТсильф}}$ - между тепловыми трубами и сильфонами

По конвекции $Q_{\text{конв}}$

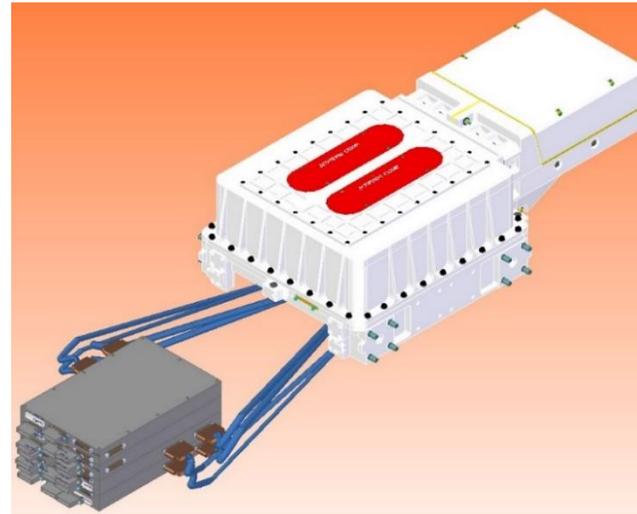
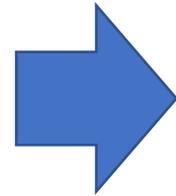
- $Q_{\text{конвекция}}$ - между окнами (в условиях наземной отработки)



Особенности конструкции ФПУ-А и ФПУ-Д



ФПУ-А с блоком АЦП



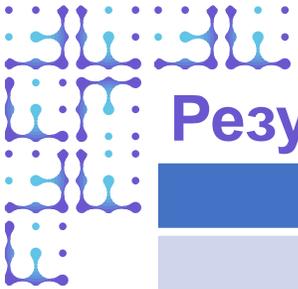
ФПУ-Д с БЭО

- Изменение конструкции сильфонного узла
- Замена аналоговых фотомодулей на цифровые с уменьшенным в два раза потреблением
- Изготовление МФП-А в виде двух блочной конструкции с вынесение БЭО в отдельный блок
- Изменение конструкции изоляции внутри корпуса МФП-А
- Изменение конструкции опоры гибридной линейки, подставки, кронштейна

Параметр	ФПУ-А	ФПУ-Д
Объем	119 дм ³	76 дм ³
Масса	58 кг	43,5 кг

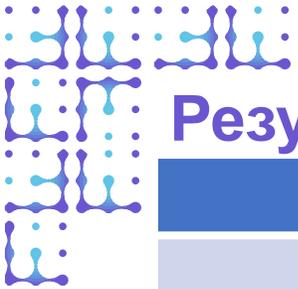


Сильфонный узел



Результаты расчета теплового потока ФПУ-А

Тепловой поток ФПУ при $T_{корп.} = -20^\circ \text{C}$, Вт	
По теплопроводности конструкции	
Сильфон (2 шт.)	$Q_{\text{сильф}} = 0.139 \text{ Вт}$
Опора (2 шт.)	$Q_{\text{опора}} = 0,913 \text{ Вт}$
Эл. кабели	$Q_{\text{каб}} = 0.524 \text{ Вт}$
Кронштейн	$Q_{\text{кр}} = 0.028 \text{ Вт}$
По теплопроводности газа	
Газ между окнами (2 шт.)	$Q_{\text{окна}} = 1.24 \text{ Вт}$
Газ между ТТ и сильфоном (2 шт.)	$Q_{\text{ТТ-сильф}} = 0.43 \text{ Вт}$
Газ между сильфоном и стаканом (2 шт.)	$Q_{\text{сильф-ст}} = 3.35 \text{ Вт}$
Газ между корпусом и стаканом (2 шт.)	$Q_{\text{корп-ст}} = 0.17 \text{ Вт}$
По излучению	
Вх. окно ФПУ – вх. окно ГЛ (2 шт.)	$Q_{\text{излокн}} = 2.536 \text{ Вт}$
ТТ (2 шт.) – сильфон (2 шт.)	$Q_{\text{излтТ-сильф}} = 0.09 \text{ Вт}$
Стакан (2 шт.) – сильфон (2 шт.)	$Q_{\text{излст-сильф}} = 0.09 \text{ Вт}$
По конвекции	
Между окнами (2 шт.)	$Q_{\text{конвекция}} = 4.475 \text{ Вт}$
Тепловыделение 24 фотомодулей $Q_{\text{фм}} = 4.2 \text{ Вт}$	
Тепловыделение блоков электронной обработки $Q_{\text{БЭО}} = 26.8 \text{ Вт}$	
Суммарный тепловой поток $Q_{\text{ФПУ}} = 13,9 \text{ Вт}$	



Результаты расчета теплового потока ФПУ-Д

Тепловой поток ФПУ при $T_{корп.} = -20^{\circ}C$, Вт

По теплопроводности конструкции

Сильфон (2 шт.)	$Q_{\text{сильф}} = 0.172 \text{ Вт}$
Опора (2 шт.)	$Q_{\text{опора}} = 1,82 \text{ Вт}$
Эл. кабели	$Q_{\text{каб}} = 1.96 \text{ Вт}$
Кронштейн	$Q_{\text{кр}} = 0.783 \text{ Вт}$

По излучению

Входные окна ГЛ (2 шт.) – входные окна корпуса МФП-Д (2 шт.)	$Q_{\text{ОКГ-ОК}} = 0,77 \text{ Вт}$
Диафрагмы (2 шт.) – ГЛ (2 шт.)	$Q_{\text{Д-ГЛ}} = 0,314 \text{ Вт}$
Крышка корпуса МФП-Д – крышка ГЛ (2 шт.)	$Q_{\text{КГЛ-К}} = 0,13 \text{ Вт}$
Боковые поверхности крышек ГЛ (2 шт.) – корпус МФП-Д	$Q_{\text{БГЛ-К}} = 0,054 \text{ Вт}$
Нижние поверхности ГЛ (2 шт.) – корпус МФП-Д	$Q_{\text{НГЛ-К}} = 0,25 \text{ Вт}$
ТТ (2 шт.) – корпус МФП-Д	$Q_{\text{ТТ-К}} = 0,071 \text{ Вт}$
Сильфоны - ТТ (2 шт.)	$Q_{\text{Сил-ТТ}} = 0,02 \text{ Вт}$

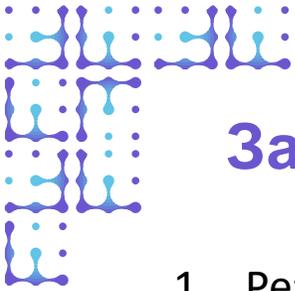
Тепловой поток по остаточному газу

Поверхности ГЛ – корпус МФП-Д	$Q_{\text{конвекция}} = 2,235$
Сильфоны – ТТ	$Q_{\text{сильф.-ТТ}} = 0,028 \text{ Вт}$

Тепловыделение 24 фотомодулей $Q_{\text{фм}} = 1.98 \text{ Вт}$

Тепловыделение блоков электронной обработки $Q_{\text{БЭО}} = 27.8 \text{ Вт}$

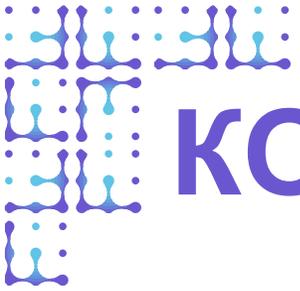
Суммарный тепловой поток $Q_{\text{ФПУ}} = 10,68 \text{ Вт}$



Заключение

1. Результаты экспериментальных сравнительных исследований параметров ФМ-А и ФМ-Д на основе КРТ формата 1024×10 элементов подтвердили предварительные оценки и преимущества ФМ-Д по сравнению с ФМ-А для построения на их основе крупноформатного многорядного ИК ФПУ. ФМ-Д имеют большую в 1,5-2 раза вольтovou чувствительность, а также меньший шум каналов БИС считывания.
2. Применение фотомодулей с цифровыми выходами вместо фотомодулей с аналоговыми выходами и связанные с этим изменения в конструктиве ИК ФПУ позволяют снизить теплоприток, уменьшая нагрузку на систему охлаждения космического аппарата, а также снизить массу и занимаемый объем, определяя перспективность ФПУ-Д для будущих космических систем.

Параметр	ФПУ-А	ФПУ-Д
Суммарный тепловой поток		
Расчетный	13,9 Вт	10,68 Вт
Экспериментальный	15±1,5 Вт	13±1,5 Вт
Массогабаритные параметры		
Объем	119 дм ³	76 дм ³
Масса	58 кг	43,5 кг



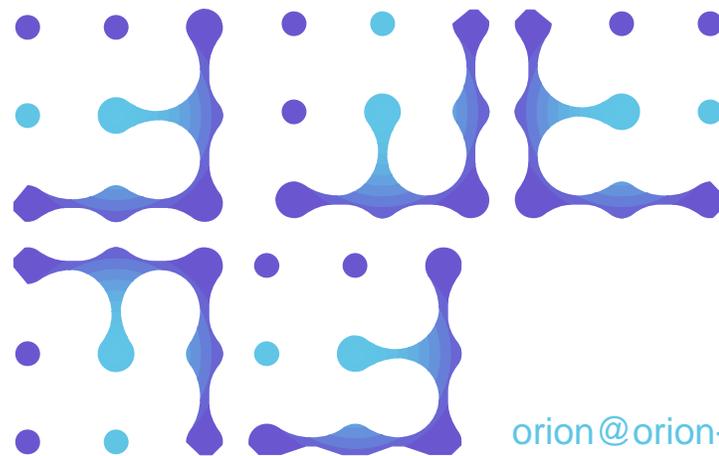
КОНТАКТЫ



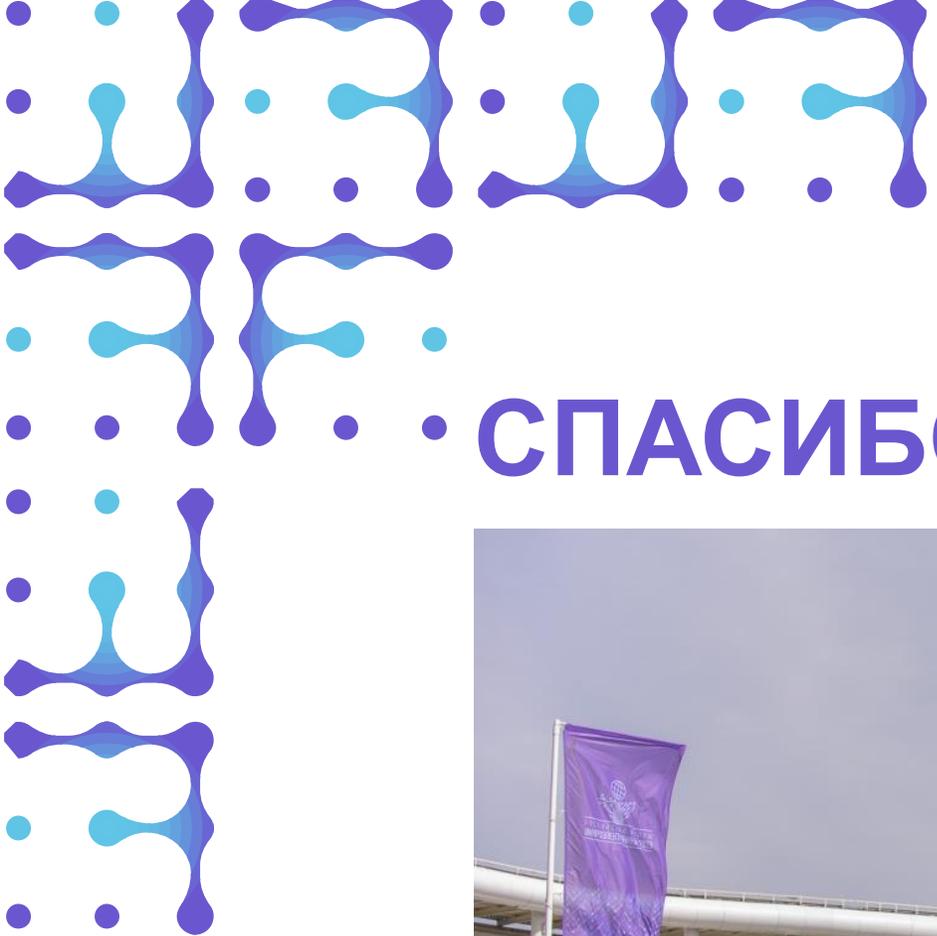
Бурлаков Владислав

Игоревич

И.о. начальника отдела научно-технического центра космической фотоэлектроники АО «НПО «Орион»



orion@orion-ir.ru



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



РОССИЙСКИЙ ФОРУМ
МИКРОЭЛЕКТРОНИКА
10 ЛЕТ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ
ТЕРРИТОРИЯ
«СИРИУС»



23-28
сентября 2024



microelectronica.pro



Подписывайтесь на нас
в телеграм-канале
и будьте в курсе всех
последних новостей!