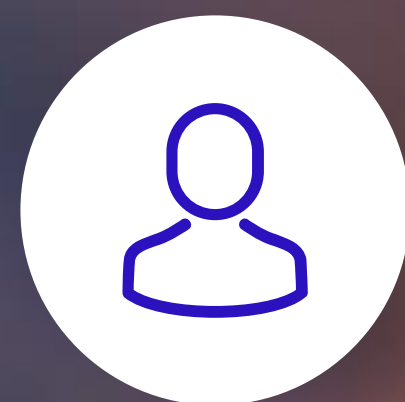


Функционально ориентированные гибридные фотонные интегральные схемы

24, 25 июня 2025 г.



Новиков Валерий Михайлович
Начальник сектора, ФАУ «ГосНИИАС»

Основная информация об организации

Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем — ведущая научно-исследовательская организация авиационной промышленности, обеспечивающая реализацию государственной политики в области развития авиационной техники гражданского и военного назначения, бортового радиоэлектронного оборудования и авиационного вооружения.

Научно-технический задел и уникальная испытательная база института с высокотехнологичными комплексами моделирования позволяют проводить исследования и разработку перспективных технологий авиационного вооружения, в том числе в области интеллектуализации авиационных систем.

Ключевые изделия фотоники, производимые организацией

Бортовая детерминированная
оптическая сеть на фотонной
компонентной базе

Проекты фотонной
компонентной базы на кремнии

Интеллектуальная система
управления бортовой
детерминированной оптической
сети

Направление развития бортовой фотоники

Комплекс бортового оборудования



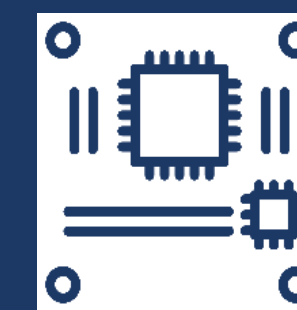
Оптические
бортовые
сети



Контроль
ЛА на базе
оптических
датчиков

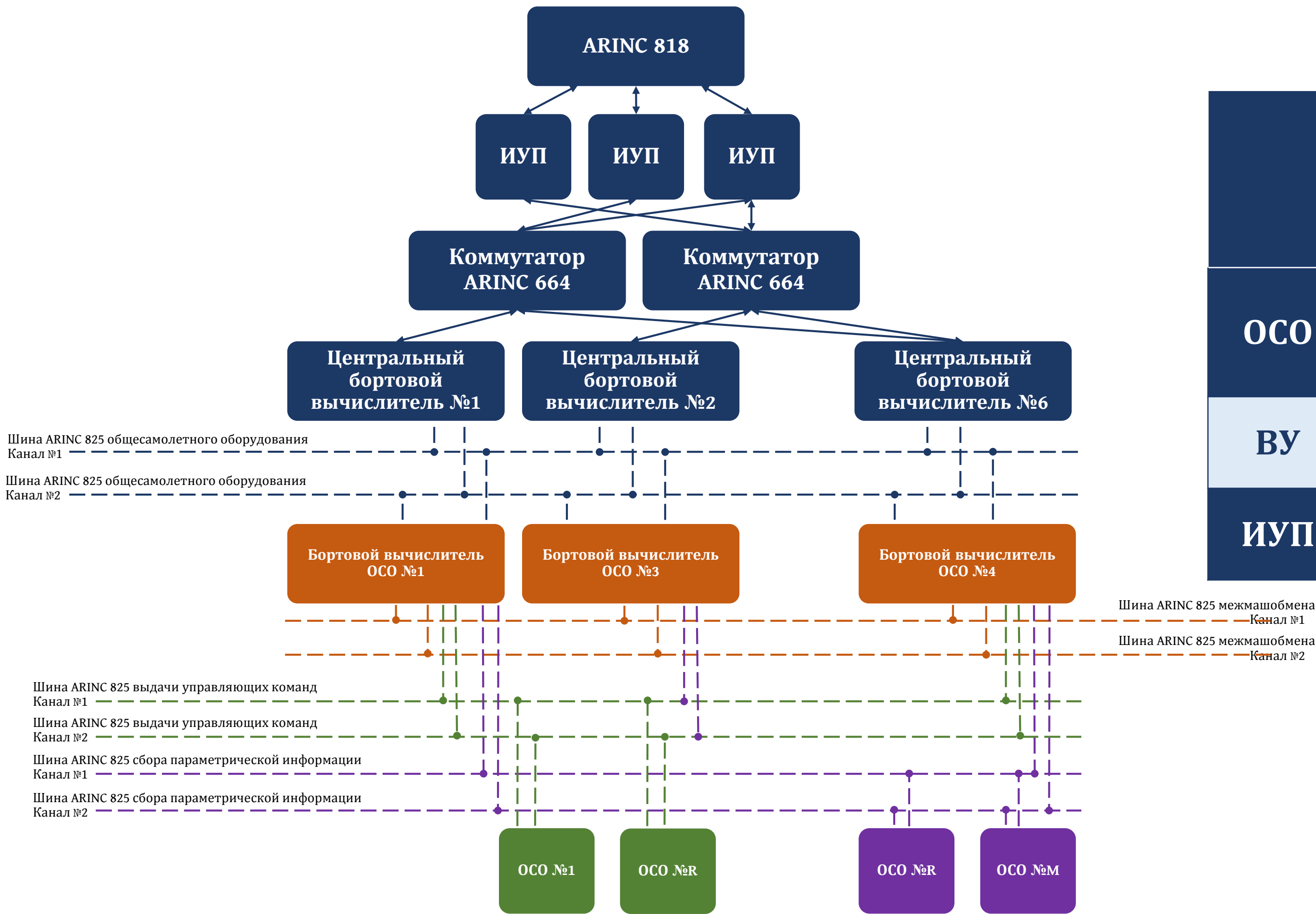


РЛС на базе
оптических
компонент



Оптические
вычислительные
устройства

Сетевые решения комплекса бортового оборудования



	Количество абонентов	Необходима я скорость	Объем передаваемых данных	Физическая среда реализации
ОСО	Сотни разнородных абонентов, десятки систем	Десятки Мбит/сек	Байты, килобайты	Медь
ВУ	≈20	≈1 Гбит/сек	Мегабайты	Оптика, медь
ИУП	≈10	≈10 Гбит/сек	Гигабайты	Оптика

Наличие на борту разных интерфейсов усложняет аппаратуру ввода-вывода, требует постоянного преобразования информации из одной формы в другую. Решением является создание единого интерфейса, объединяющего все функциональные задачи, соединяющего в единую сеть все модули и блоки бортового оборудования.



Недостатки локальной многоуровневой сетевой архитектуры

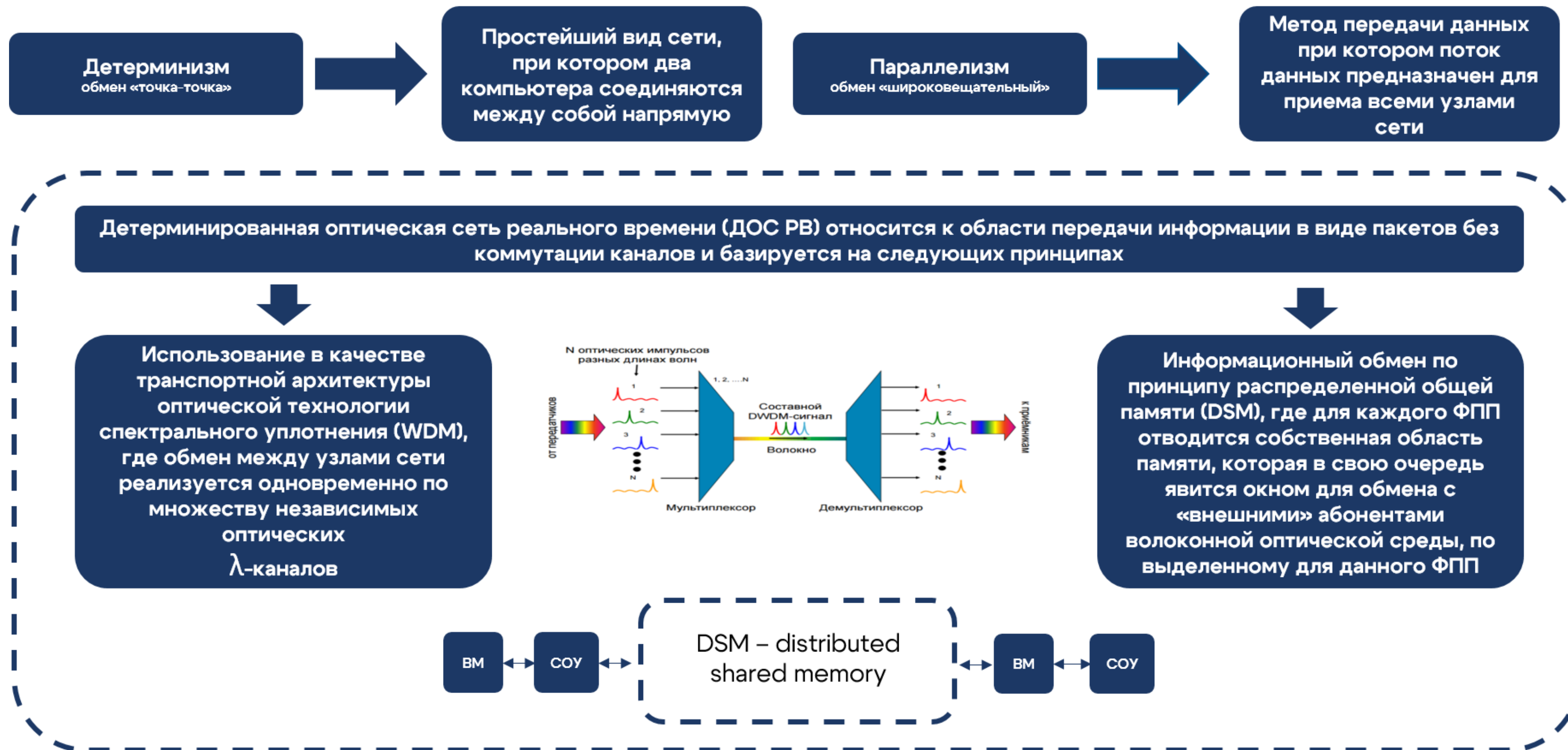
- Различные топологии сетей
- Различная физическая среда
- Различные протоколы
- Различные задержки обмена
- Различные скорости обмена



Основные механизмы детерминированной сетевой архитектуры

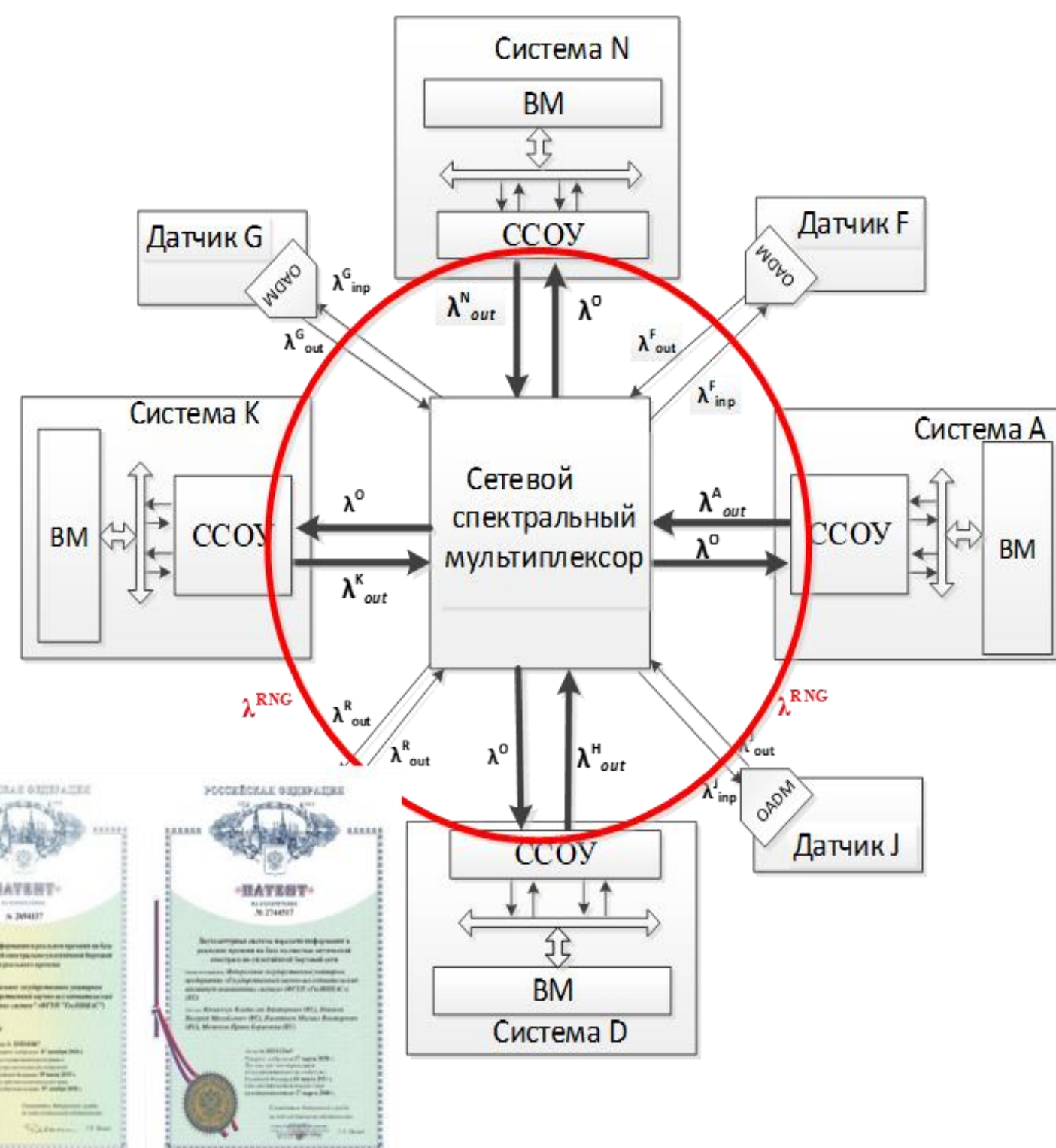
- Планирование обменов как на уровне сетевых оконечных устройств, так и на уровне коммутаторов
- Жесткая временная синхронизация работы всех компонентов бортовой сети
- Арбитраживание запросов функциональных программных приложений на обмен

Требования к детерминированной оптической сети реального времени



Детерминированная оптическая сеть реального времени

К каждой отдельной оптической длине волны ставится в соответствие отдельное функциональное программное приложение ФПП= λ -канал



Двухконтурная реализация ДООС РВ обеспечивает формирование двух основных групп λ -каналов

Информационные каналы – предназначены для передачи информационных пакетов

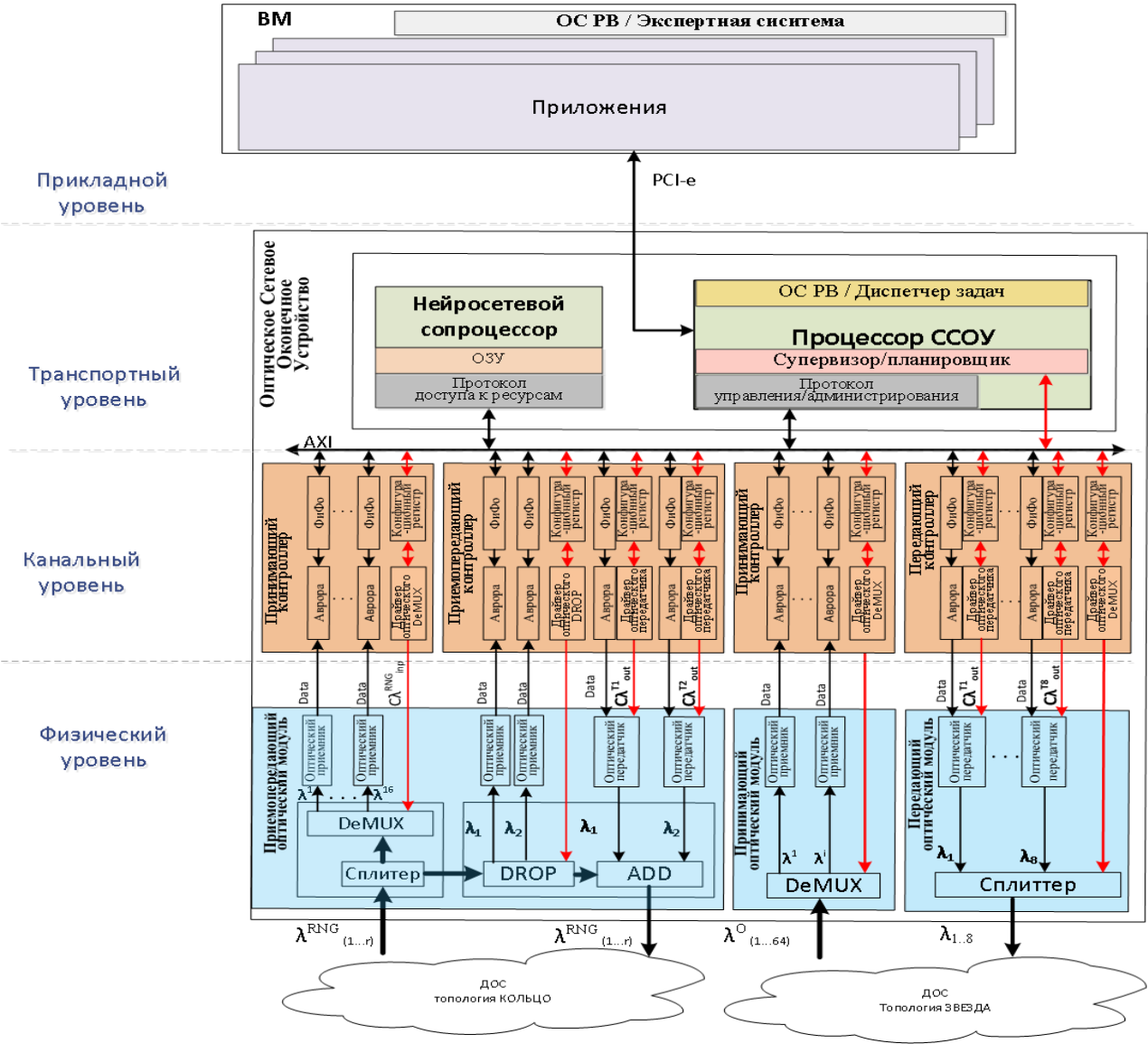
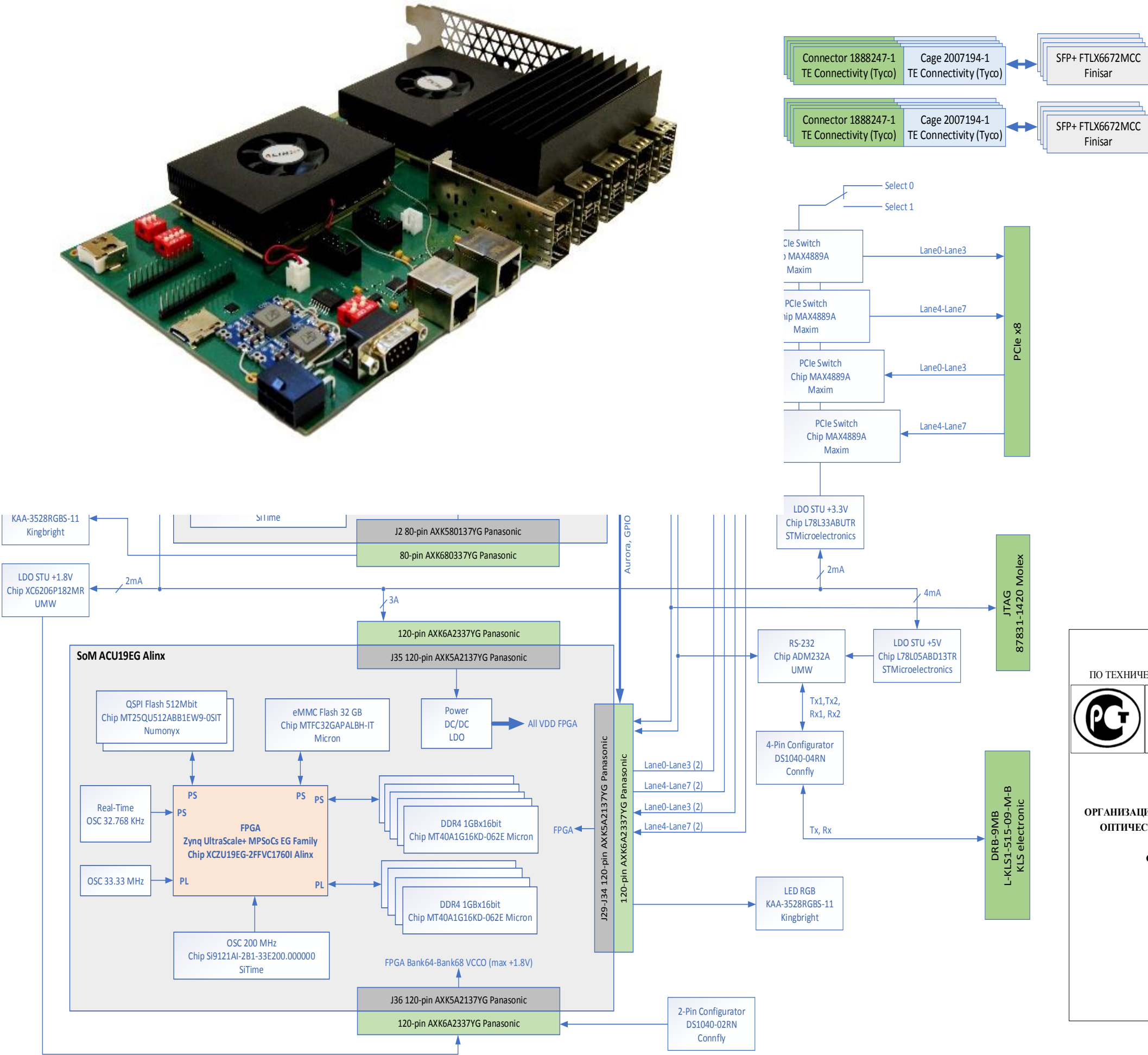
Каналы управления – предназначены для проведения настройки, передачи управляющей информации

Разработка КБО на базе ДООС РВ

- Обеспечивается доступ любого абонента оптической сети к ресурсам любого другого абонента
- Реализуется переход от временного последовательного уплотнения передаваемой информации (требующего постоянного увеличения скорости) к параллельному спектральному уплотнению (не требующего увеличения скорости передачи данных)
- Устраняются проблемы задержек и конфликтов в сети реального времени
- Возможность приведения обмена в бортовой сети к единому протоколу
- Разработка базы для реализации средств интеллектуальной поддержки экипажа

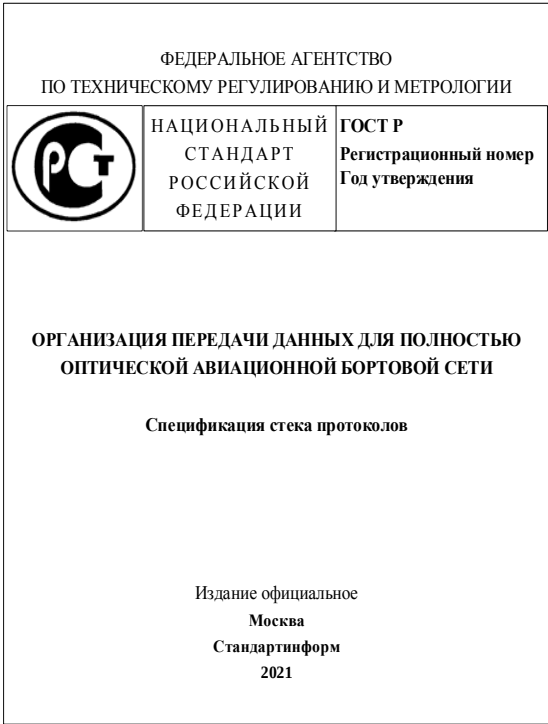
Разработка компонентов ДОС РВ

Разработано оптическое сетевое оконечное устройство



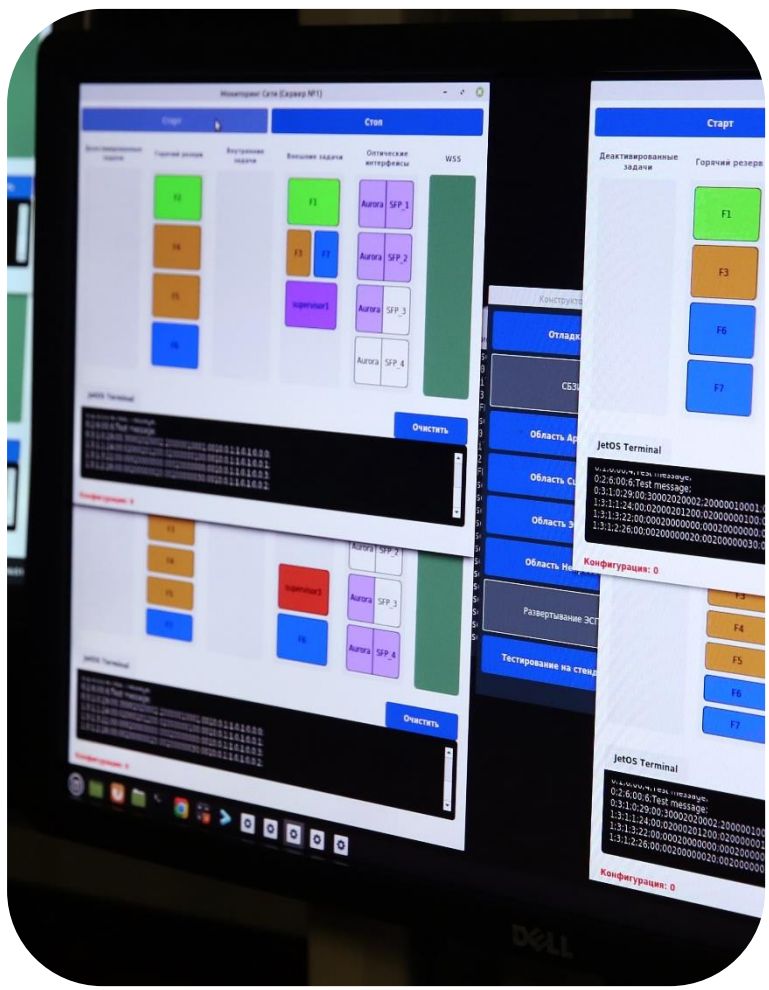
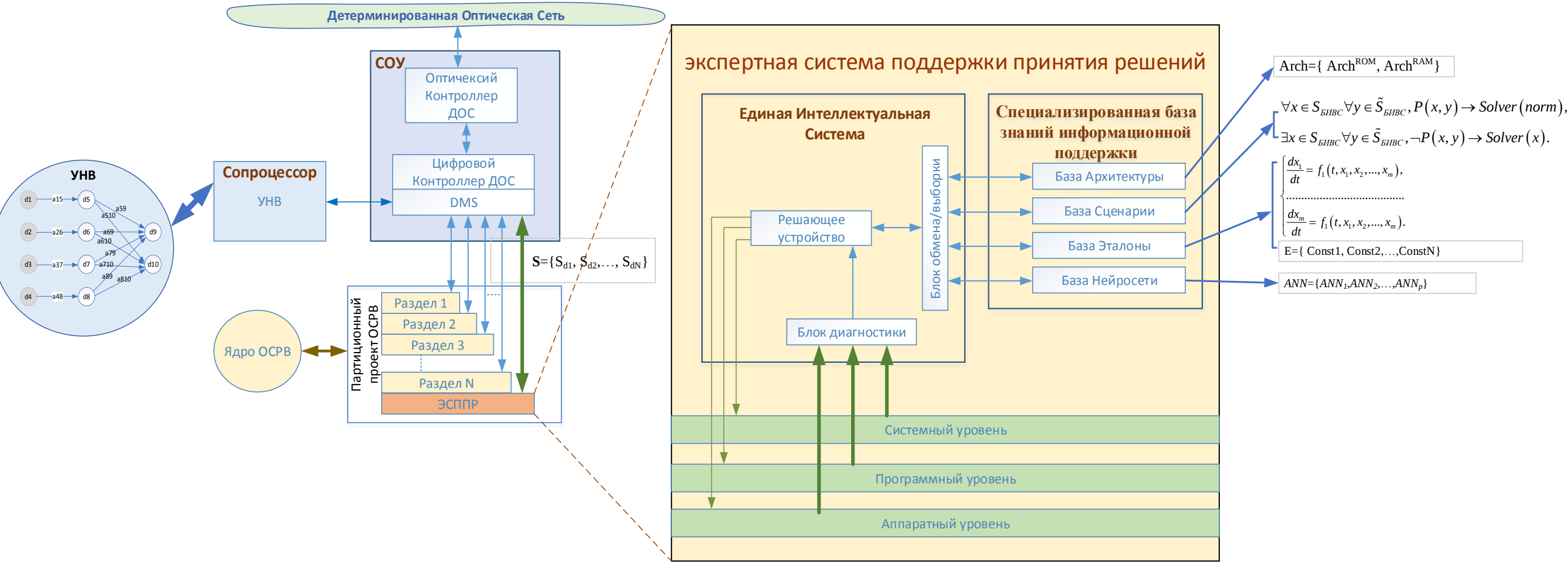
Разработан стек протоколов ДОС РВ:

- Наборы предоставляемых сервисов в соответствии с уровнями протокола
- Поддерживаемые схемы обмена в рамках сетевого взаимодействия, а также обмена точка-точка и широковещательного обмена
- Широковещательная рассылка пакетов
- Принципы передачи пакетов по топологии «звезда»
- Принципы передачи пакетов по топологии «кольцо»



Экспертная система подготовки и принятия решений (ЭСППР)

Предлагается реализовать динамический планировщик сетевого обмена в составе ДОС РВ, за счет добавления специализированных задач, программных, а также аппаратных средств администрирования и мониторинга БРИВС, объединенных в единую экспертную систему подготовки и принятия решений (ЭСППР), базирующуюся на прецедентном подходе



Сертификация требований ДОС РВ

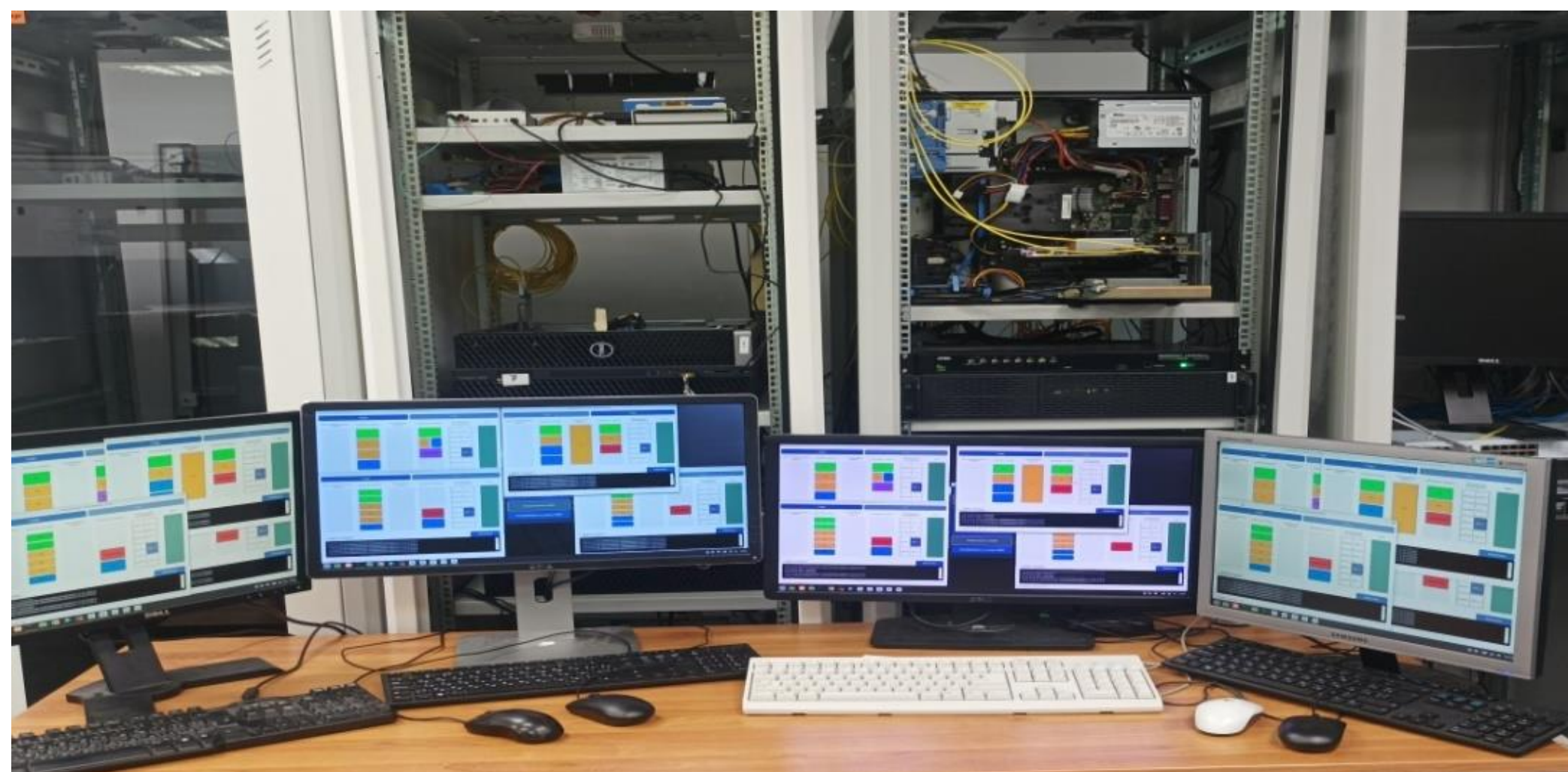
ДОС РВ обеспечивает повышение надежности при выполнении обмена информации между системами в режиме реального времени с гарантированной доставкой сообщений при предоставлении дополнительных сервисов, необходимых для реализации детерминированного управления

→ Обеспечивается доступ любого абонента оптической сети к ресурсам любого другого абонента

→ Реализуется переход от TDM – уплотнения к параллельному спектральному уплотнению не требующему увеличения скорости передачи данных

→ Реализуется безкоммуникационная топология передачи данных устраняющая задержки и коллизии в сети РВ

→ Реализуется информационная среда по принципу DSM, которая создает единственный системный образ доступный всем ФПО БРИВС



- Стенд прототипирования ДОС РВ
- Среда разработки модели КБО
- Среда отработки стека протоколов
- Среда разработки ЭСППР
- Среда обучение нейросети ЭСППР

Потенциальные платформы применения ДОС

	Авиация	Морские суда
Военная сфера	Военно-транспортная Стратегическая Тактическая Вертолёты БПЛА 	 Авианосцы Противолодочные корабли Корабли РЭБ Подводный флот
Гражданская сфера	Большегрузный транспорт Региональные самолёты Малая авиация Вертолёты 	 Пассажирский флот Грузовой флот
Наземные и космические		
Технологические системы реального времени Локальные сети реального времени 		

Фотонная кремниевая технология для изготовления бортовых ФИС

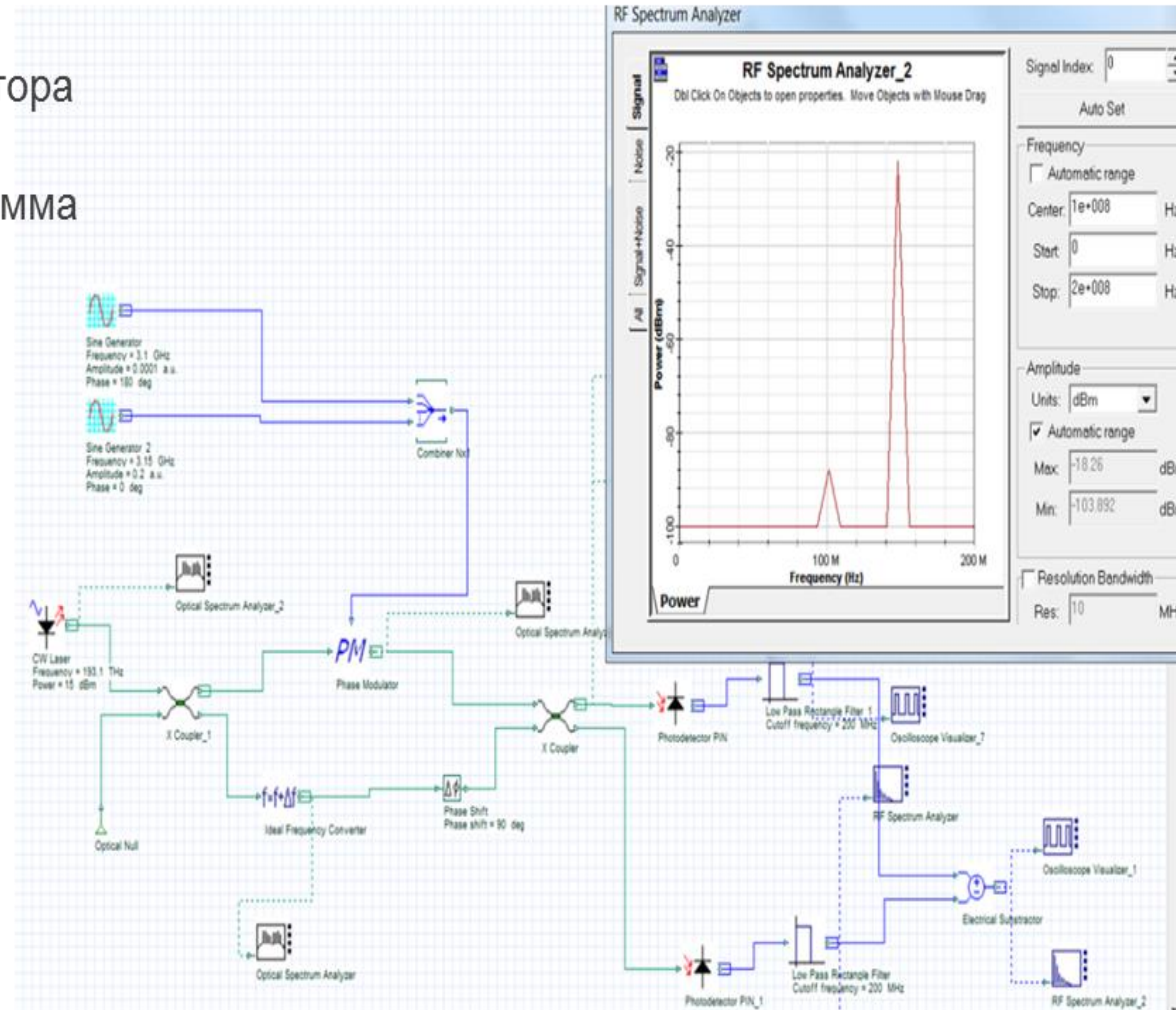
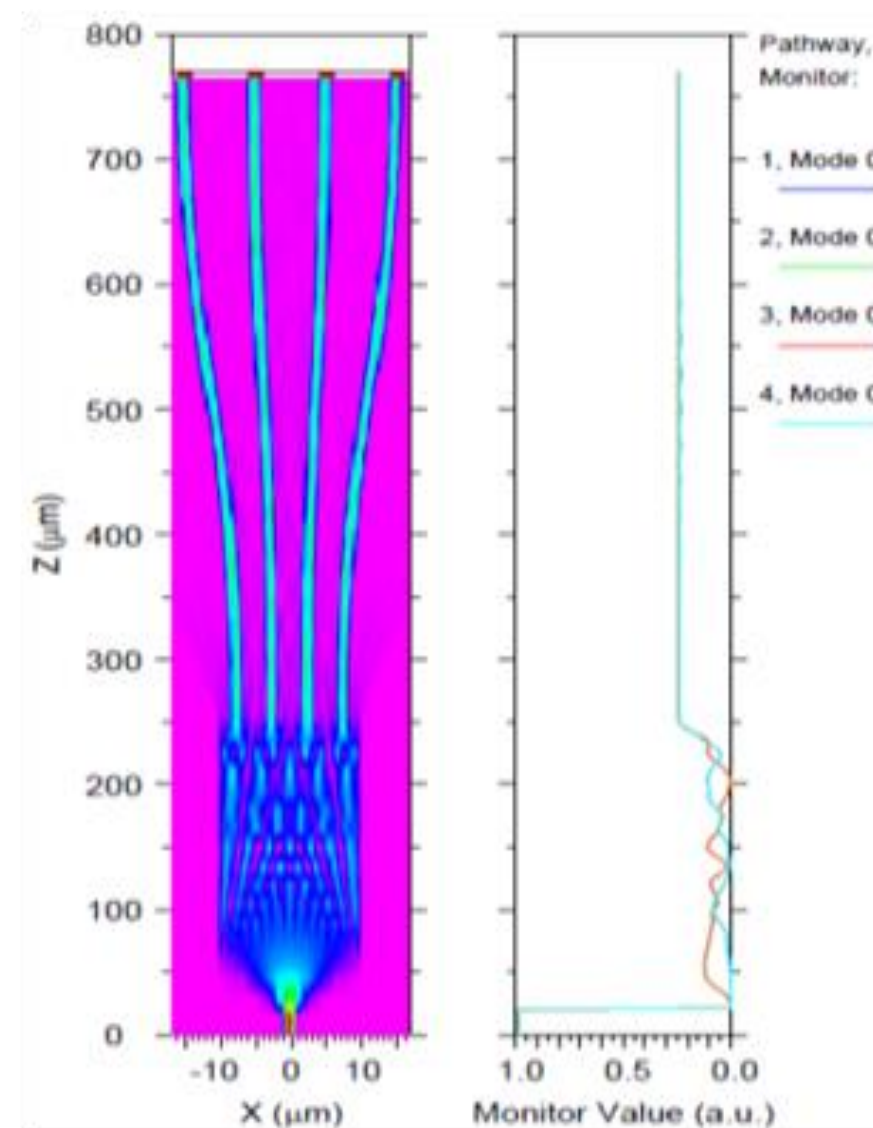
Гибридной технологической платформой (ГТП) называется процесс изготовления ФИС с использованием пассивных оптических элементов на базе кремниевой КНИ платформы с включением активных оптических элементов на базе волноводных слоев InP, а технология ее реализующая – технологией гетерогенной гибридизации (ГГ).

Разработка конструкций пассивных элементов на КНИ платформе:

- Разработка активных оптических компонентов на волноводных слоях типа InGaAsP, таких как лазерные передатчики, полупроводниковые оптические усилители (SOA), модуляторы СВЧ, широкополосные СВЧ фотоприемники.
- Разработка фотонных интегральных схем (ФИС) в целом с осуществлением оптических соединений между оптическими компонентами, контролируя оптические межпересечения и перекрестные помехи между соседними оптическими волноводами.

Сквозное проектирование ФИС

- физическое моделирование (RSoft)
- системное моделирование (OptiSystem)
- физическое моделирование (RSoft)
- графическое представление (ACAD)
- транслятор электроннолучевого генератора
- Для анализа активных материалов с гетероструктурами используется программа “LaserMOD”



Преимущества технологии на толстом КНИ

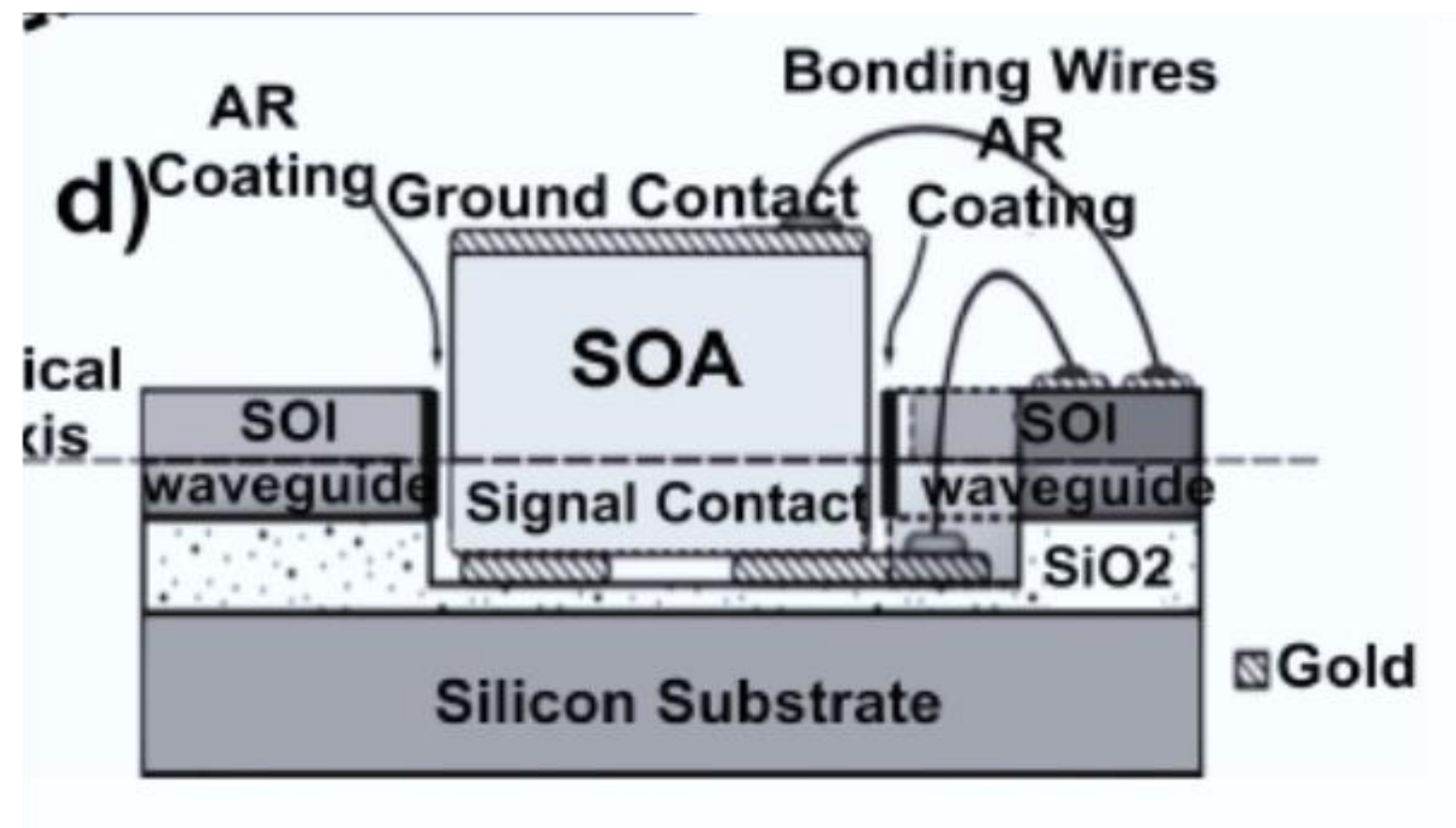
- Компактность изготавливаемых оптических компонентов с малыми радиусами поворотов волноводов, малая толщина подслоя SiO₂ для волноводов
- Наличие необходимой отечественной технологии, материалов, технологического оборудования для реализации
- Относительная простота технологического маршрута,
- Широкие технологические допуски (по сравнению с субмикронными оптическими компонентами),
- Простота согласования с оптическим волокном и активными слоями
- Малая поляризационная зависимость
- Возможность встраивания (гибридизации) полупроводниковых оптических усилителей (SOA), модуляторов и детекторов оптического излучения,
- Относительно небольшие потери в волноводах (около 0.2 дБм/см)
- Совместимость с V-канавками для упрощения операции групповой стыковки с волокном (0.5 дБм)
- Возможность изготовления контрольной и управляющей электроники в едином технологическом цикле
- Значительная оптическая мощность в волноводах (0.4 Вт) в сравнении с субмикронным КНИ – 0.02 Вт

Предлагаемый вариант гетерогенной гибритизации

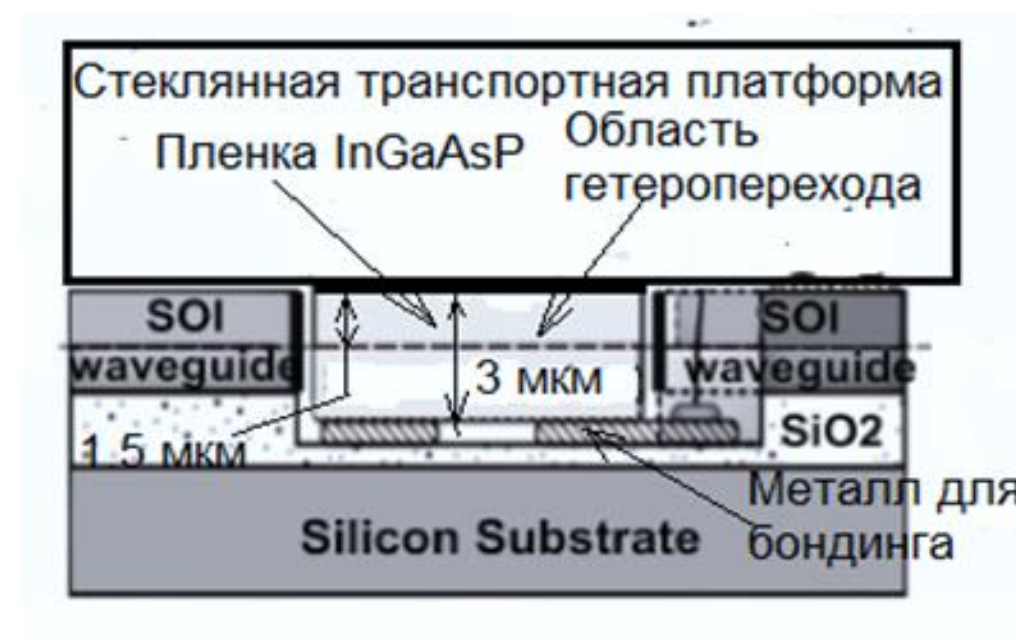
Разрабатывается технология гибридной интеграции, при которой пассивная оптическая разводка изготавливается на КНИ (SOI), а активные компоненты интегрируются на КНИ пластину методом бондинга. Бондинг осуществляется с применением тонких (около 0.1 мкм) слоев Au, наносимых на КНИ платформу в месте предполагаемого бондинга и на чип с активными оптическими слоями, с соединением их методом термокомпрессии при температуре около 300-400 градусов.

После термобондинга происходит формирование оптических планарных волноводов в едином технологическом процессе травления.

Прародителем данной технологии может считаться метод «флип-чип», описанный в [VTT]. Отличие в том, что в методе [VTT] применяются активные чипы с уже готовыми волноводами, которые нужно состыковать пассивным способом стыковки, а в методе гетерогенной гибридации (ГГ) волноводы создаются позже.



Поперечное сечение оптический полупроводниковый усилитель – на – КНИ (SOA-on-SOI) интеграционного концепта с использованием оптического совмещения двух торцов (VTT)



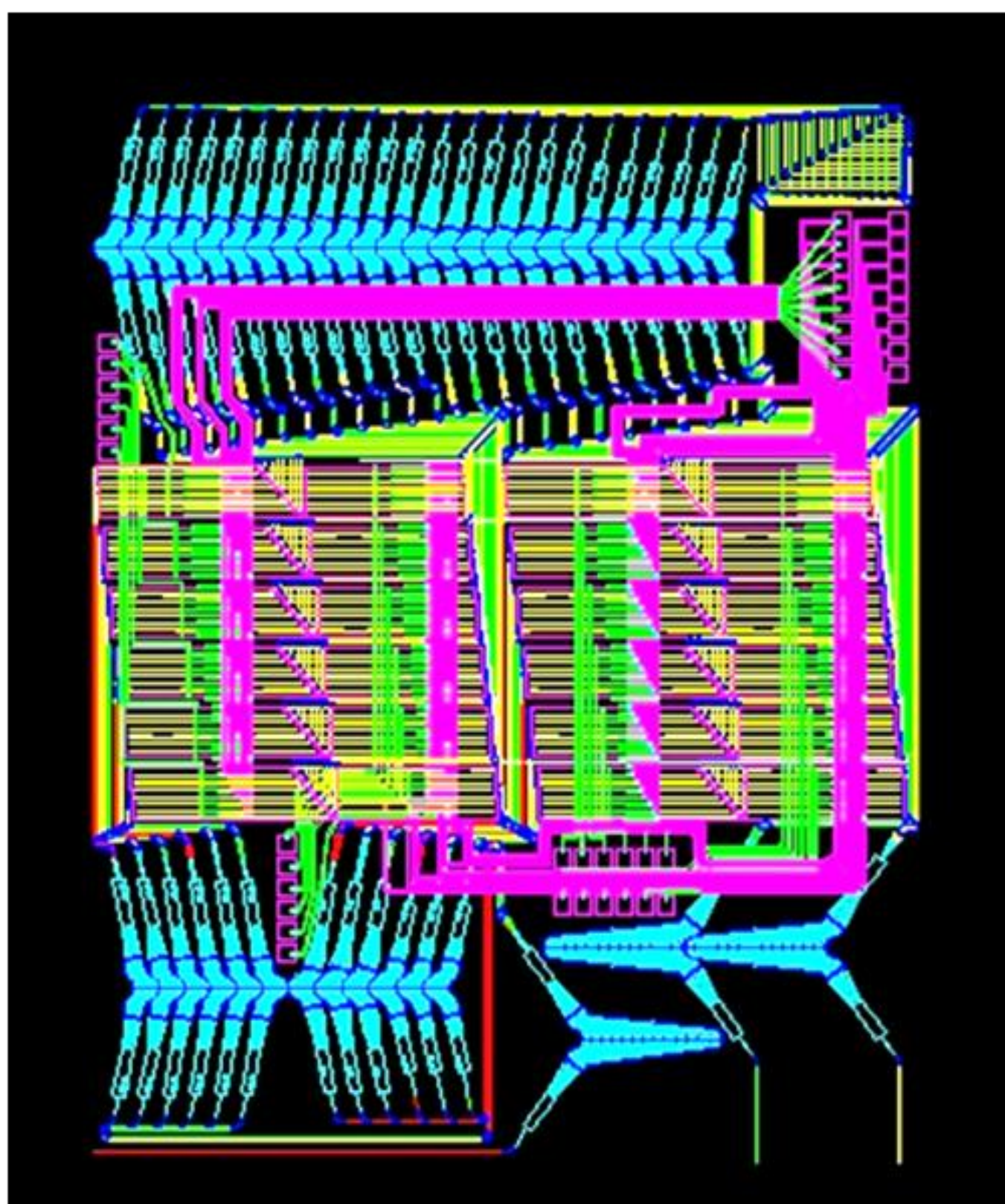
Гетерогенная гибридация пленки активных оптических компонентов на КНИ

Фотонная кремниевая технология для изготовления бортовых ФИС

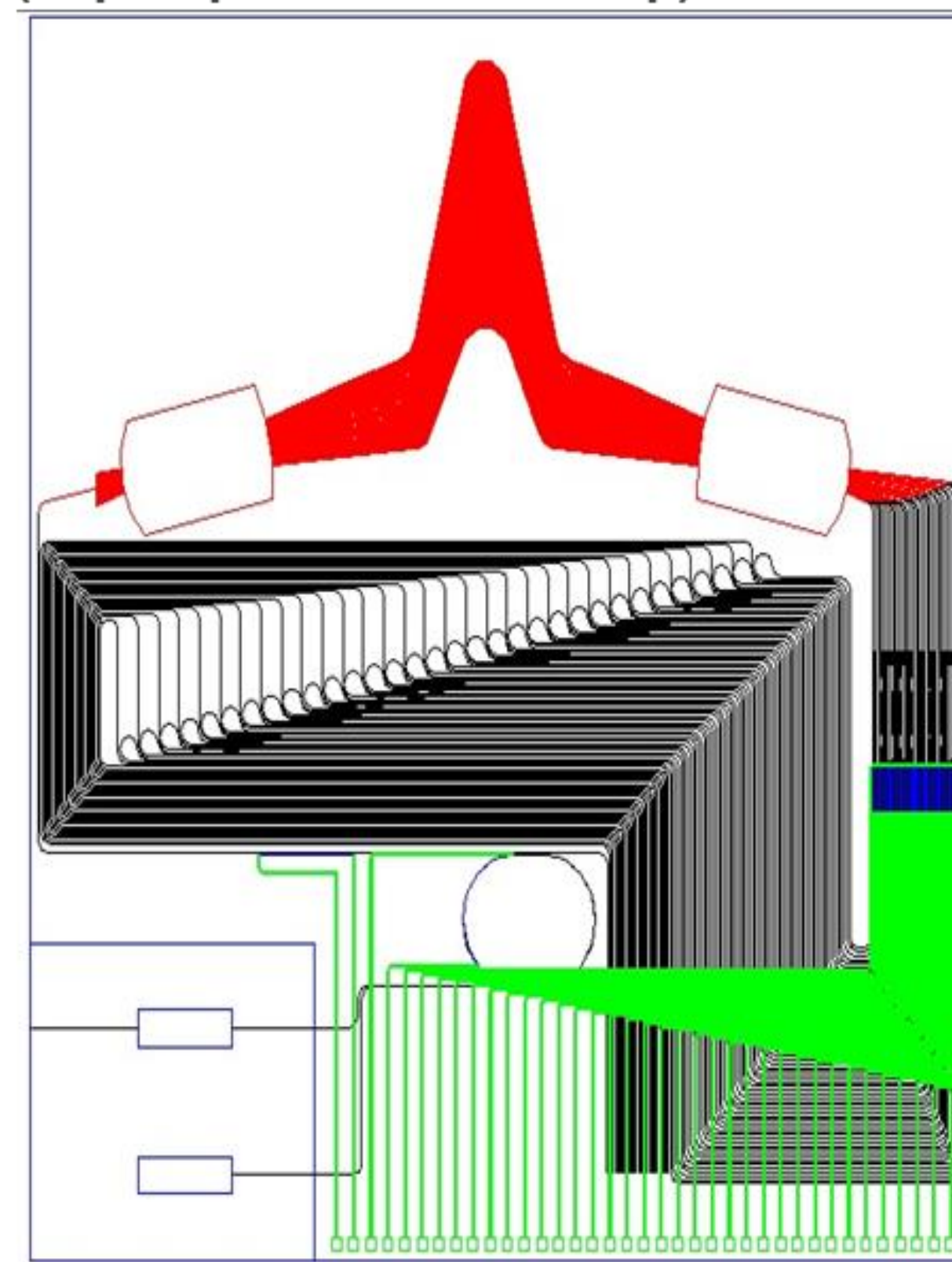
Топология ФИС

- Количество частотных каналов – 96
- Размер чипа ФИС – 22x25 мм
- Топология состоит из входного 96-канального составного AWG, 2x96 канальных переключателей и 2 x выходных 96 канальных составных AWG. Каждый составной AWG состоит из одного 12 канального AWG и 12 восьмиканальных AWG.
- Размер чипа соответствует стандартному фрейму степпера 25x25 мм .
- 5 топологических слоев.

Топология бортового приемного устройства на 96 каналов



Топология бортового перестраиваемого передающего устройства на 8 каналов (перестраиваемый лазер)



Проведённые исследования технических решений по созданию радиофотонных ФИС показали:

1. В результате сравнения предложенного метода гетерогенной гибридизации (ГГ) с методом создания ФИС на базе технологической платформы InP (Oclaro, США) определено, что метод ГГ является предпочтительным в экономическом и реализуемом техническом плане с использованием существующей микроэлектронной технологической базы
2. Метод ГГ позволяет создавать ФИС, использующие когерентную оптическую обработку, и может быть применен для создания как радиофотонных систем, а также других бортовых оптических систем
3. Для метода ГГ используются готовые структуры КНИ и InGaAsP с заданными параметрами,
 - КНИ с толщиной приборного высокоомного кремния 2 мкм для создания пассивных оптических элементов
 - InGaAsP - 3 типов для создания активных оптических элементов

Для успешного развития и изготовления бортовых ФИС на ГГ платформе необходимы разработки:

- конструкций пассивных элементов на КНИ платформе;
- оптических компонентов на волноводных слоях типа InGaAsP, таких как лазерные передатчики, полупроводниковые оптические усилители (SOA), модуляторы СВЧ, широкополосные СВЧ фотоприемники;
- фотонных интегральных схем (ФИС) в целом с осуществлением оптических соединений между оптическими компонентами, контролируя оптические межпересечения и перекрестные помехи между соседними оптическими волноводами;
- технологии изготовления ФИС, включая разработку технологического маршрута и технологических операций;
- метрологического обеспечения с целью контроля работоспособности ФИС как на этапе изготовления («in-situ»), так и после получения готовых кристаллов.

Предложения в дорожную карту развития фотоники и оптоэлектроники на ближайшую и долгосрочную перспективу



Разработать базовый комплект ФИС авиационного применения для решения комплексных задач разработка бортовых систем:

- ФИС для детерминированных оптических сетей;
- ФИС для сенсорных оптических сетей;

Разработать базовый технологический маршрут/процес изготовления ФИС авиационного применения

Определить технологическую фабрику для изготовления ФИС авиационного применения

Отработать конструктивные решения для модулей авиационного применения на базе ФКБ и ЭКБ

Разработка пакета нормативных документов

Спасибо за внимание!



24, 25 Июня 2025 г.



+7 (916)432-82-82



vmnovikov@gosniias.ru



www.gosniias.ru



125319, Москва,
ул. Викторенко, 7к2