



Пермские разработки в области фотоники

Докладчик: Криштоп В.В., доктор ф.-м.н., профессор

Главный научный сотрудник, НИИРФиОЭ,
Пермская научно-производственная приборостроительная
компания



Системы и комплексы

- МРОГ
- ГЛОБИС
- Метеорная связь
- Гражданские ИНС

Специализированное оборудование

- Аппаратно-программный комплекс (АПК) стыковки оптических компонентов
- АПК монтажа кристаллов
- АПК лазерной герметизации корпусов

Услуги

- НИОКР
- Производственные услуги (сборка, изготовление, контроль)
- Разработка методик контроля

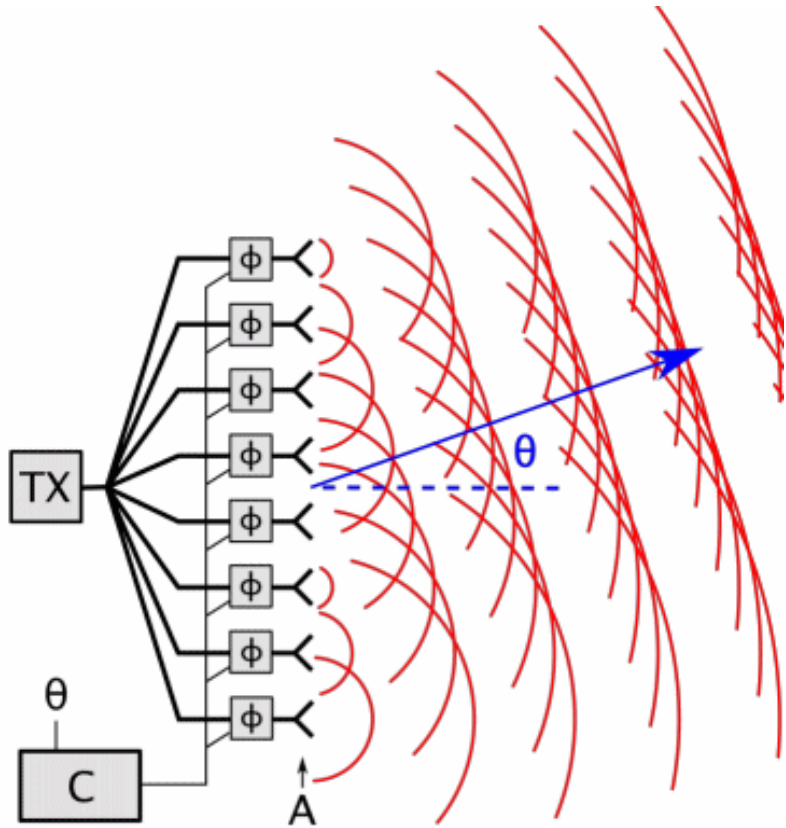
Компонентная база

- ✓ Модуляторы (ИОФМ, ИОМ)
- ✓ ПОМ
- ✓ ЭЧ датчиков и датчики физических величин
- ✓ Резонаторы оптические, линии задержки
- ✓ Фотоприемники
- ✓ Линзованные волокна, гермосборки
- ✓ Кристаллы ФИС (как компоненты), в том числе для КАСВОД

Технологии

- ✓ Технологический цикл производства ФИС и дискретных компонентов фотоники (частично освоен)

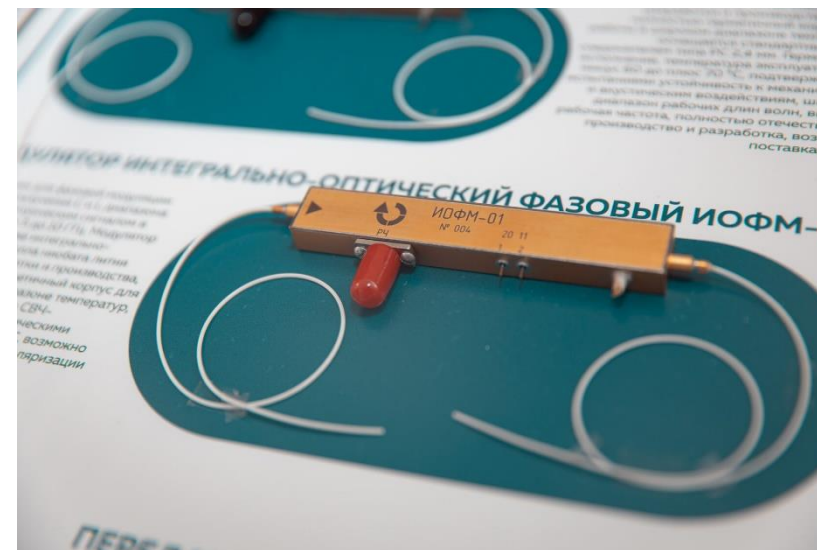
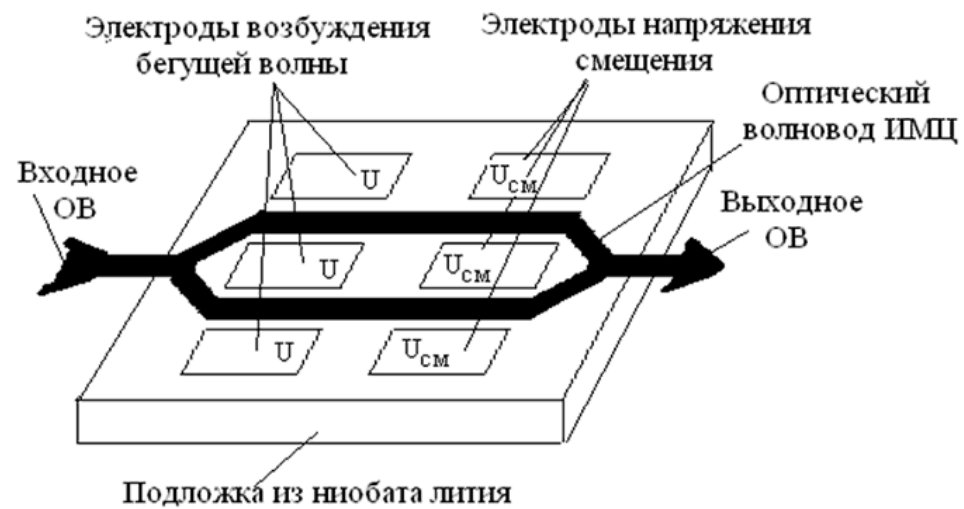
Оптическая фазированная антенная решетка



Модуль хранения времени и частоты



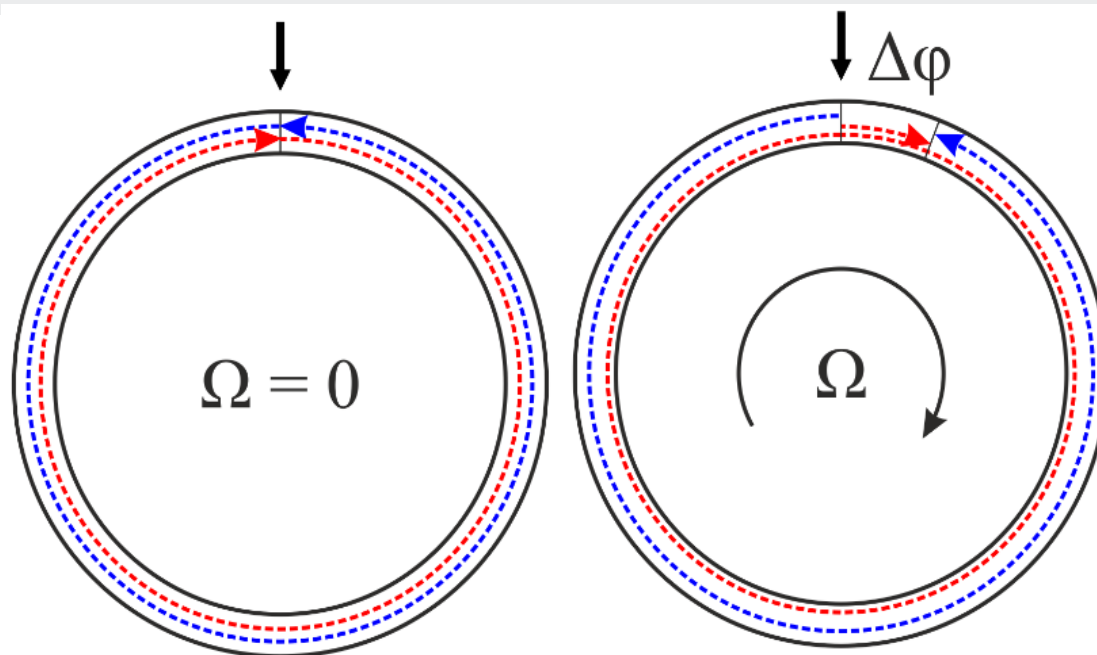
Интегральные оптические модуляторы



Оптический гироскоп

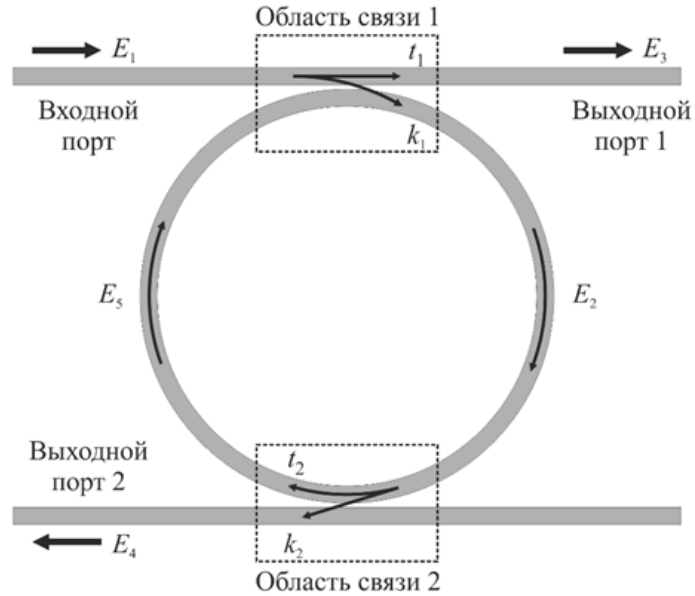


Эффект Саньяка

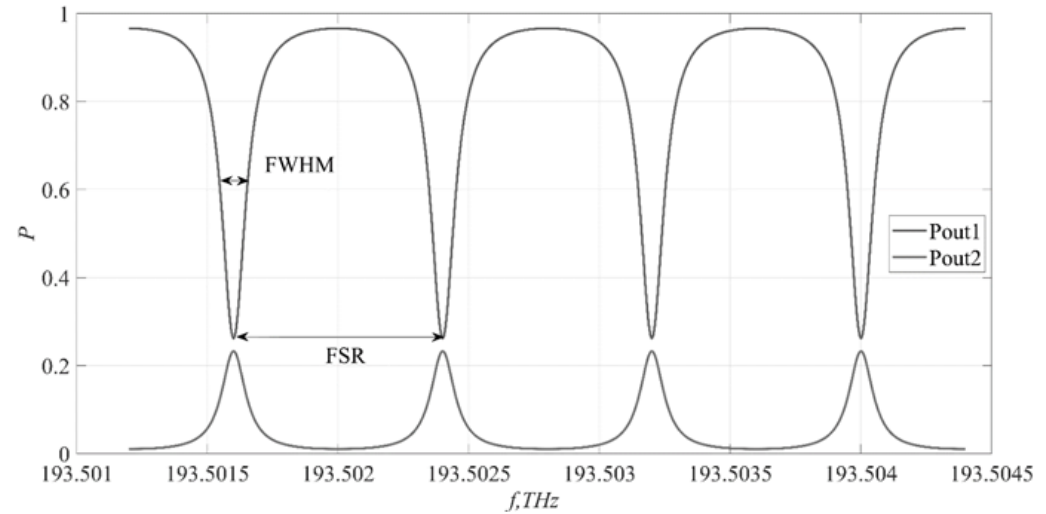


Схематическое пояснение эффекта Саньяка: красная стрелка – световая волна, совпадающая с направлением вращения; синяя стрелка – волна, с противоположным направлением распространения

Кольцевой оптический резонатор



E_n – распространяющиеся электромагнитные волны ($n = 1, 2, 3, 4, 5$),
 R – радиус кольца, k_1 – коэффициент связи в первой области связи,
 t_1 – коэффициент прохождения в первой области связи, k_2 –
 коэффициент связи во второй области связи, t_2 – коэффициент
 прохождения во второй области связи



$$FSR = \frac{c}{nL}$$

$$FWHM = \frac{(1-t)c^2}{\pi n L f^2 \sqrt{t}}$$

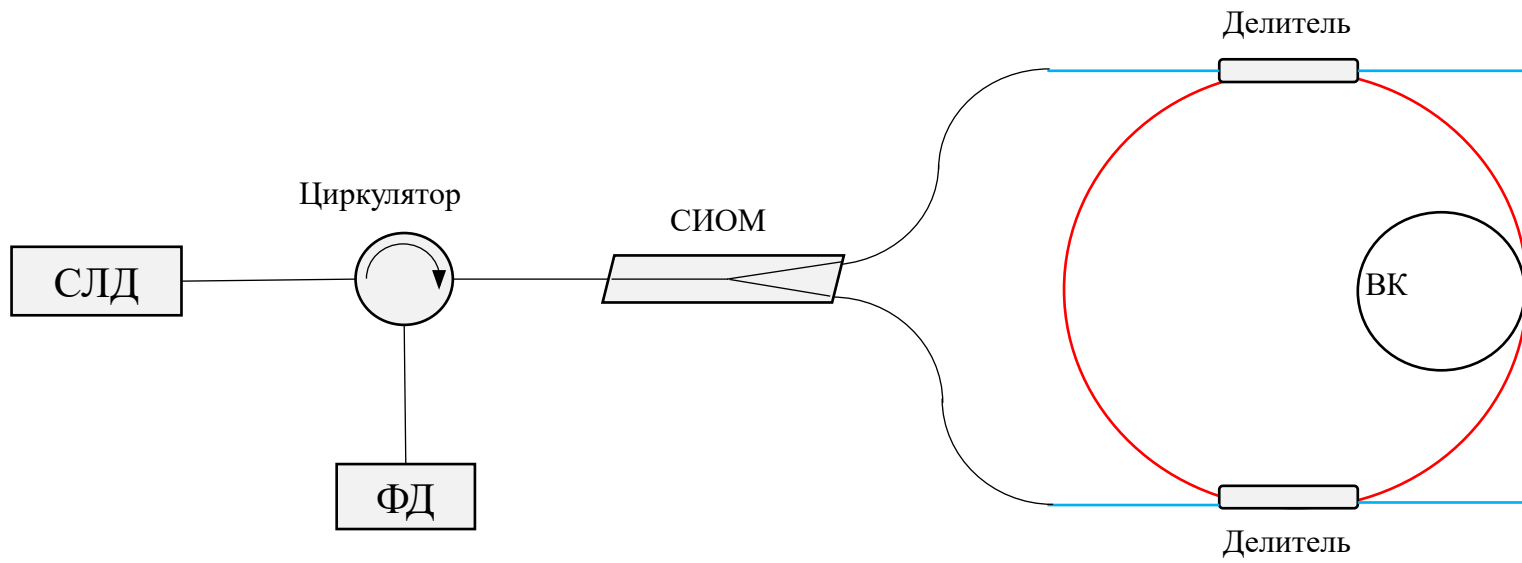
$$F = \frac{FSR}{FWHM}$$

Крутизна, изящество

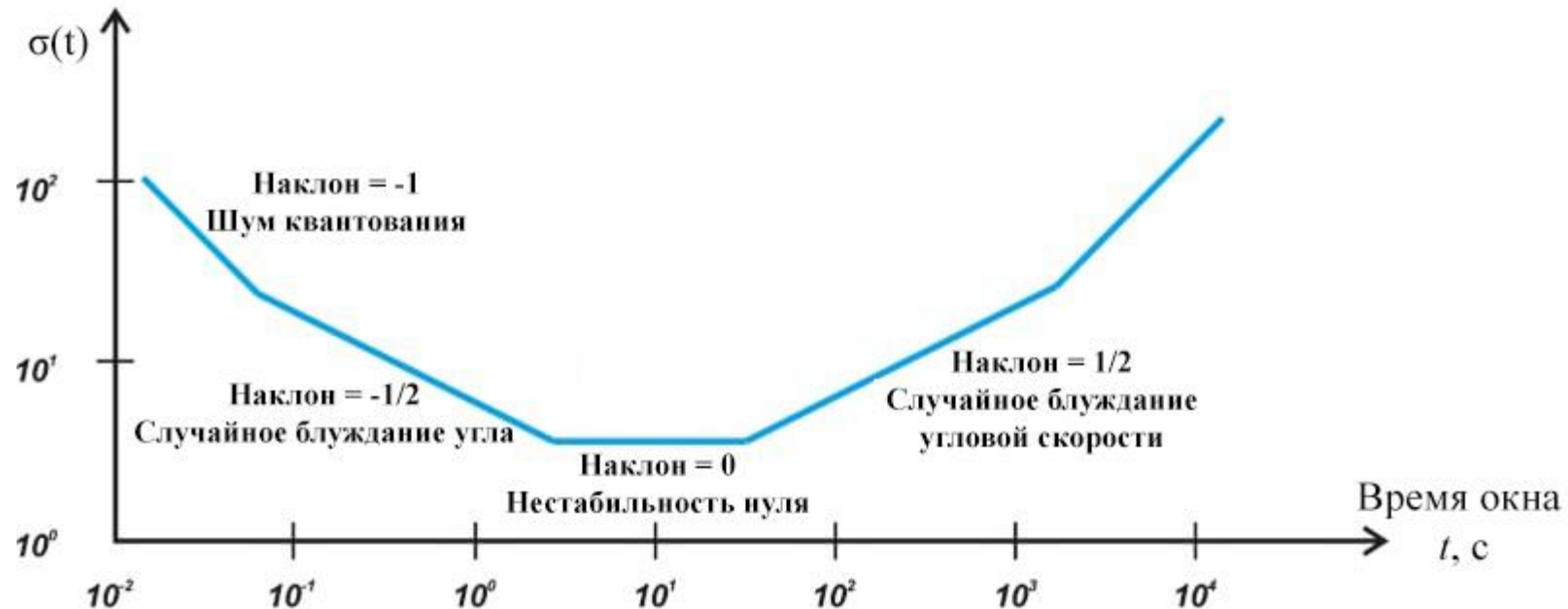
$$Q = \frac{f}{FWHM}$$

Добротность

Схема оптической части



Отклонение Аллана

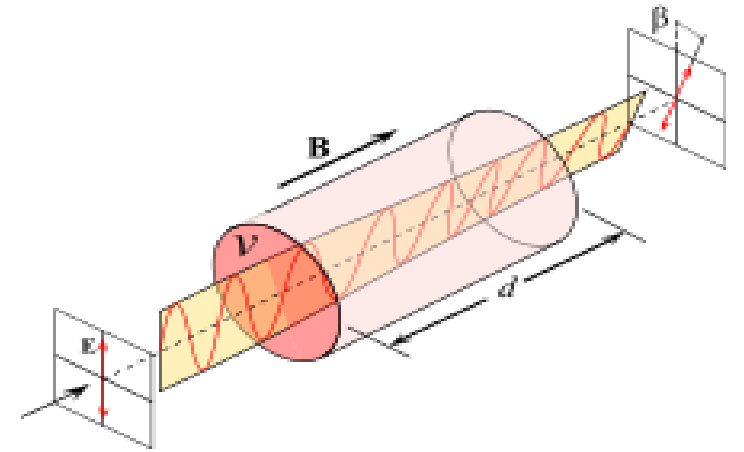


Отклонение Аллана для различных шумовых составляющих и временные окна, на которых они проявляются

Для оптических гироскопов важно определять уровни случайного углового дрейфа и неустойчивость нуля, которые определяют погрешность измерения угловой скорости на определенном времени осреднения выходного сигнала. Значение уровня ARW можно определять на наклоне минус $1/2$ по величине отклонения Аллана $\sigma(t_0)$ на определенном времени осреднения t_0 на данном участке:

Эффект Фарадея

Вращение плоскости поляризации вследствие воздействия продольного магнитного поля



Сравнение воздействия магнитного поля на волну с линейной поляризацией и на две встречных волны с круговой поляризацией

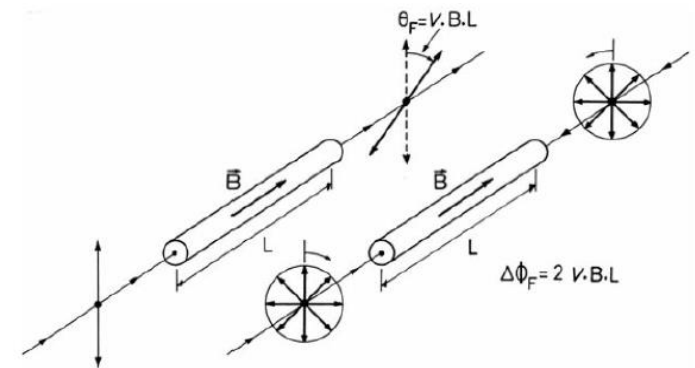
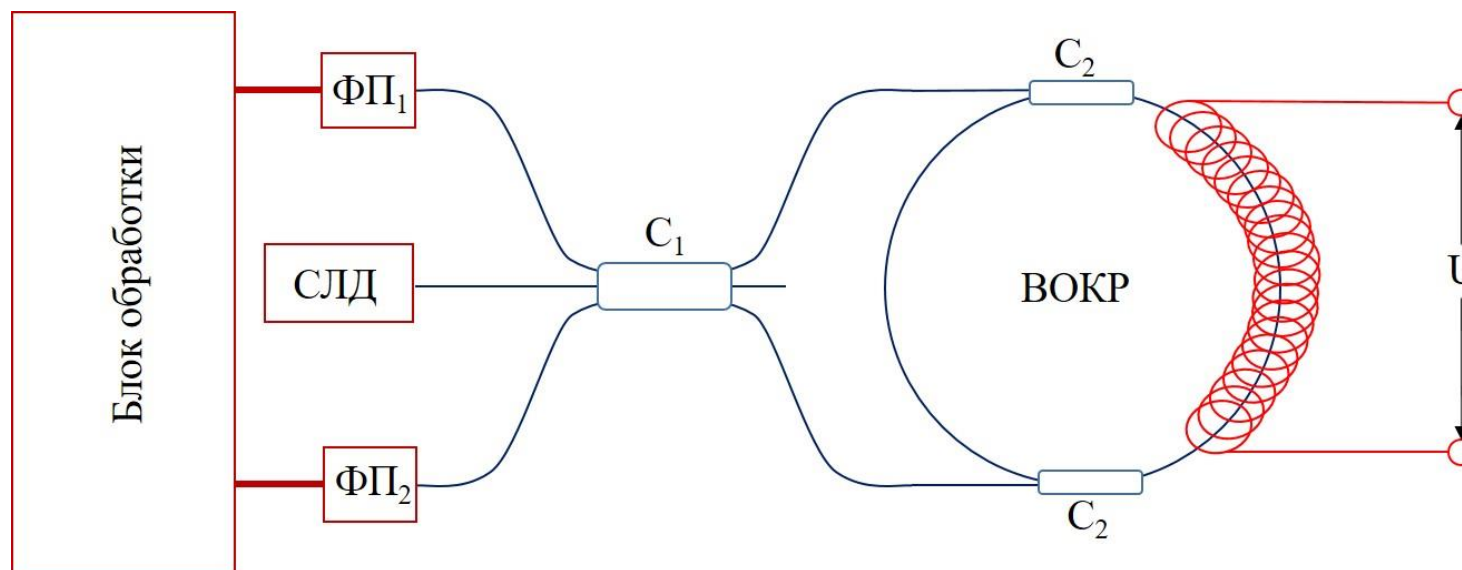


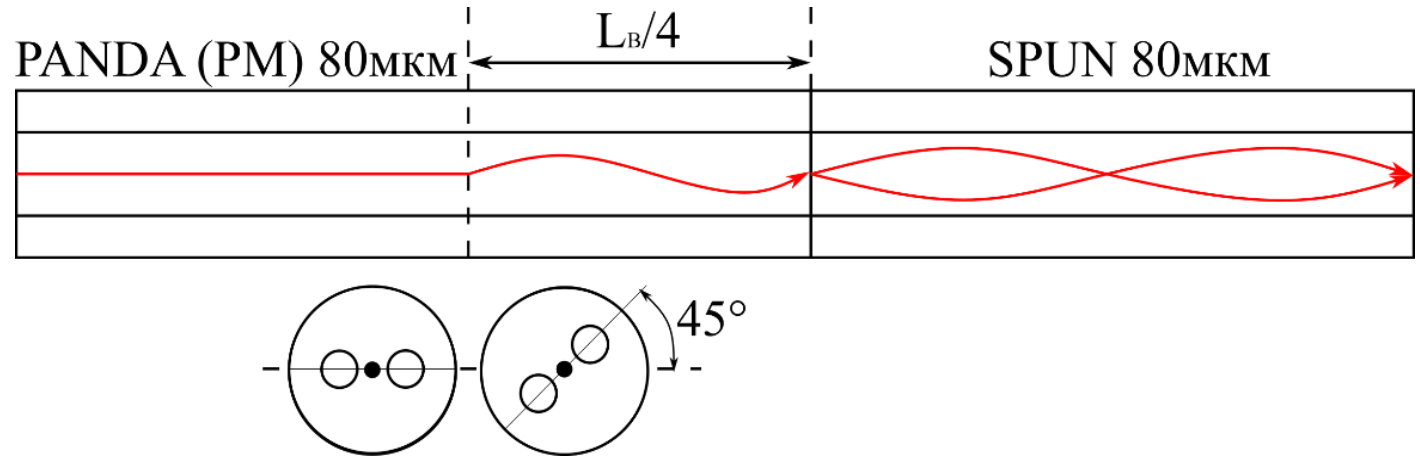
Схема волоконно-оптического магнитометра на основе интерферометрической схемы



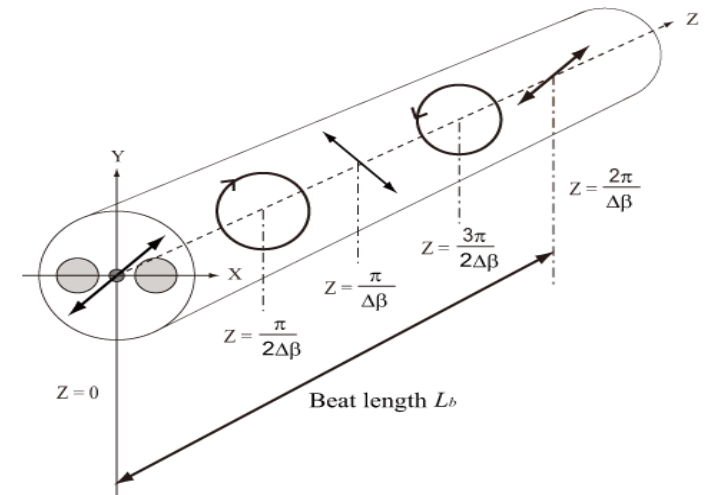
Волоконно-оптический датчик тока на основе интерферометра Саньяка, в котором волоконно-оптический замкнутый контур (катушка) заменен на волоконно-оптический кольцевой резонатор (ВОКР) из *spun*-волокна. В схеме применяется волоконный разветвитель 3x3 для детектирования разности фаз между двумя каналами

Spin волокно Пластинка $\lambda/4$

Для формирования круговой поляризации из линейной требуется специальный волоконно-оптический элемент, преобразующий линейно-поляризованный свет в свет с круговой поляризацией

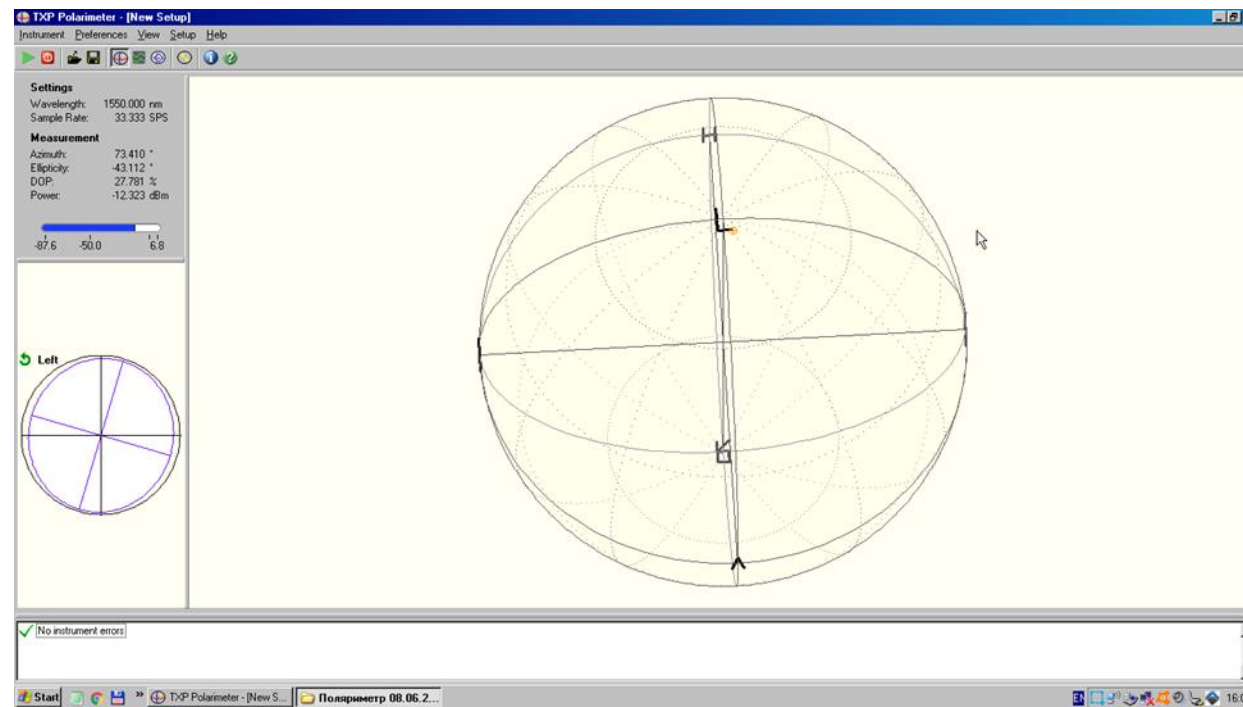


Круговая поляризация образуется за счет возникновения биения поляризаций в волокне типа Panda из-за несовпадения поляризации с собственными состояниями поляризации из-за анизотропного строения волокна

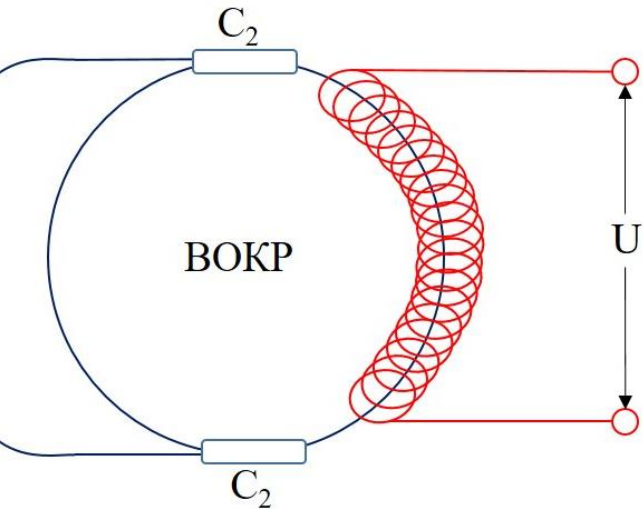


Контроль состояния поляризации

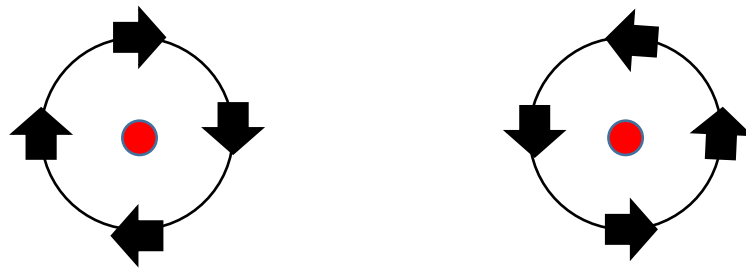
При сварке пластинок $\lambda/4$ с намоткой из spun-волокна производится контроль состояния поляризации на выходе катушек при помощи поляриметра



Эксперимент



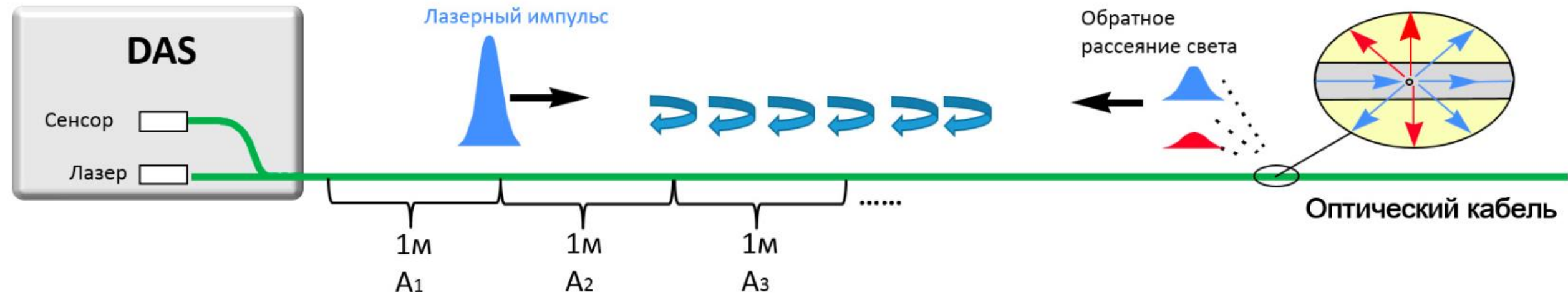
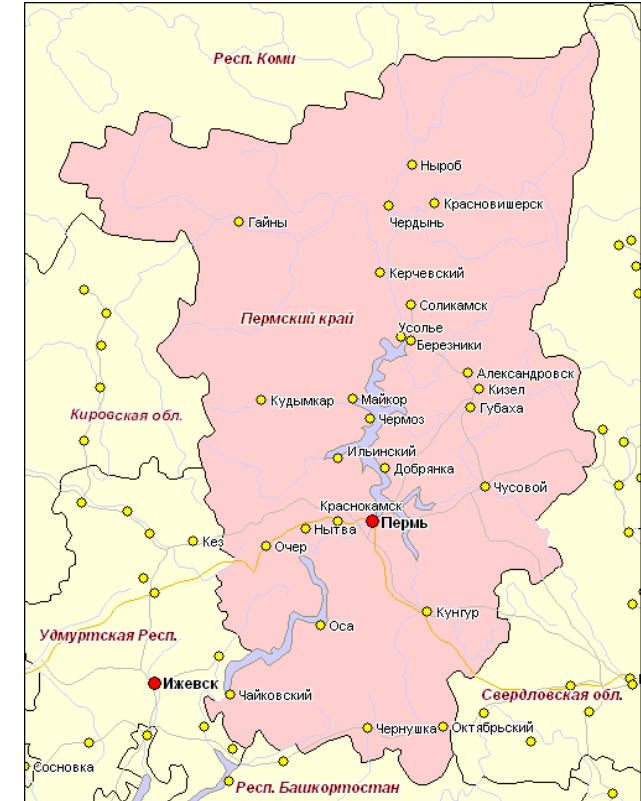
Для вычисления создаваемого магнитного поля на расстоянии R применяется формула Био-Савара-Лапласа для бесконечного проводника с током $B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$, μ_0 – магнитная постоянная, I – сила тока, проходящего по проводнику, R – расстояние на котором наблюдается магнитное поле



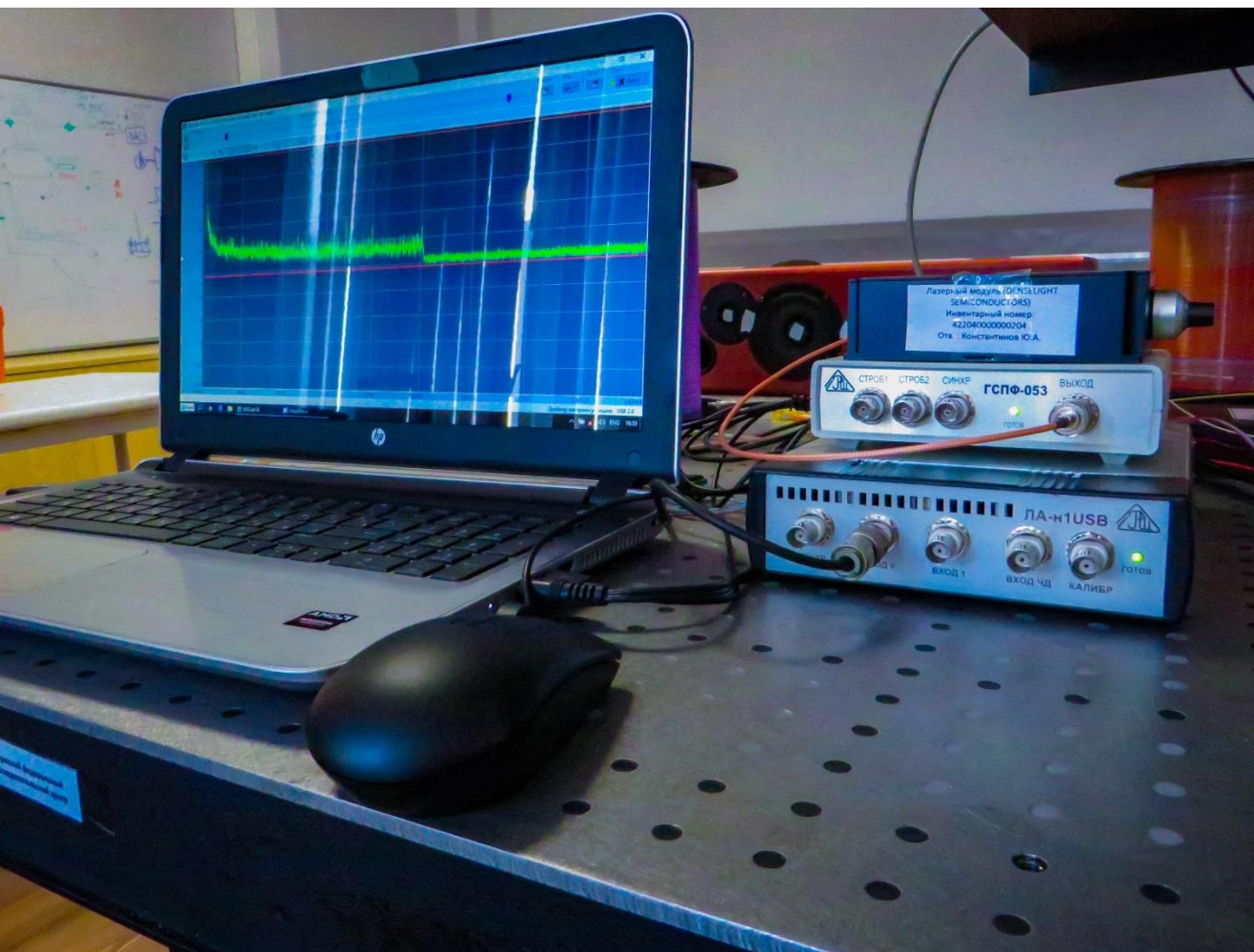
При воздействии ток на волокно с круговой поляризацией, распространяющейся в SPUN волокне, образующееся магнитное поле вокруг проводника будет поворачивать поляризацию на больший угол, тем самым изменяется фаза

Распределенный акустический мониторинг (DAS) в Перми и крае

- ПАО «ПНППК»
- ПФИЦ УрО РАН
- «Инно Технолоджи»
- НОЦ ПНИПУ и Лукойл
- Росгеология
- «Противокарстовая и береговая защита»

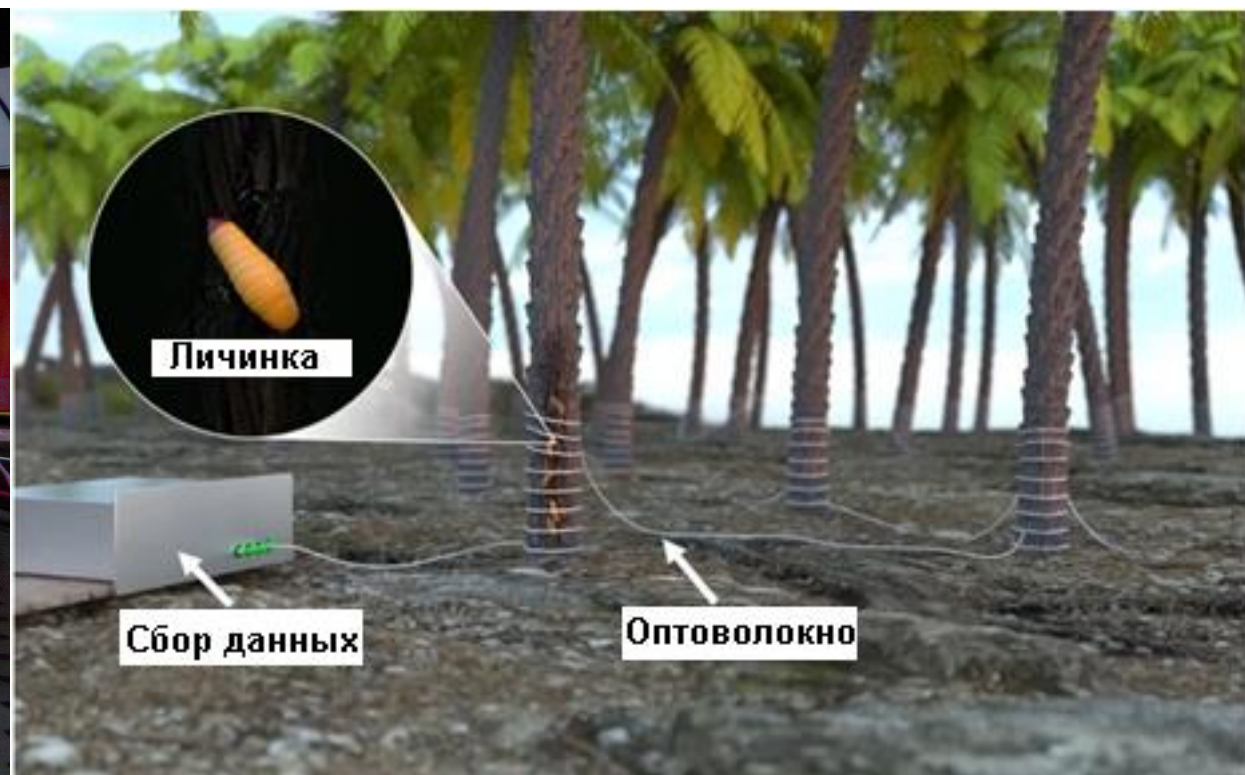


Лаборатория фотоники



- Сельское хозяйство
- Биология
- Экология (виброэкология)

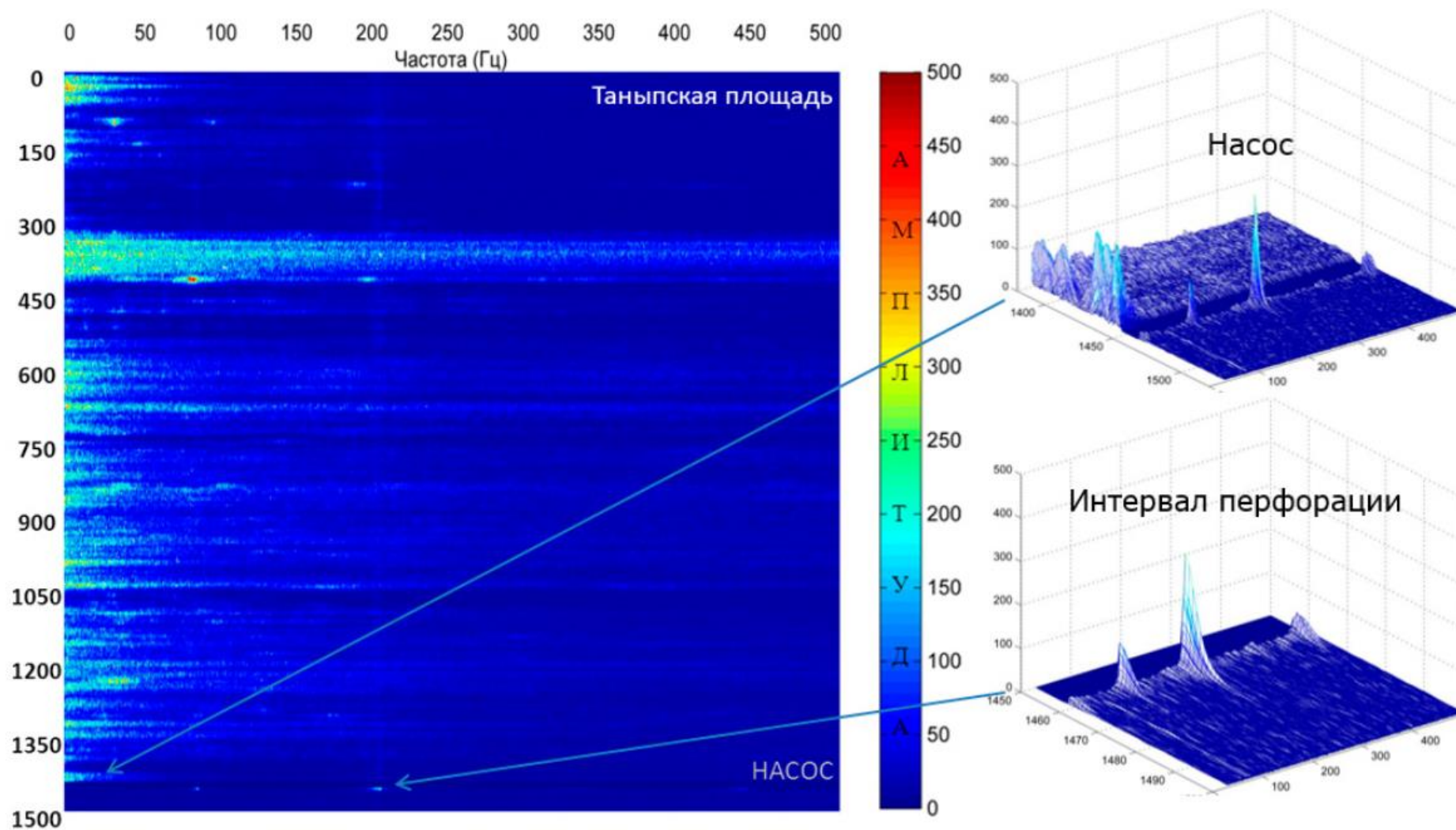
Лаборатория агробифотоники



- Регистрация вредителей
- Мониторинг виброобстановки
 - Контроль таяния ледников
 - Контроль состояния посевов
 - Охрана угодий

ООО «Инно Технолоджи»

Обработка акустических данных



ООО «Противокарстовая и береговая защита»

Высокоскоростная железнодорожная магистраль
Москва – Санкт-Петербург (ВСЖМ-1)

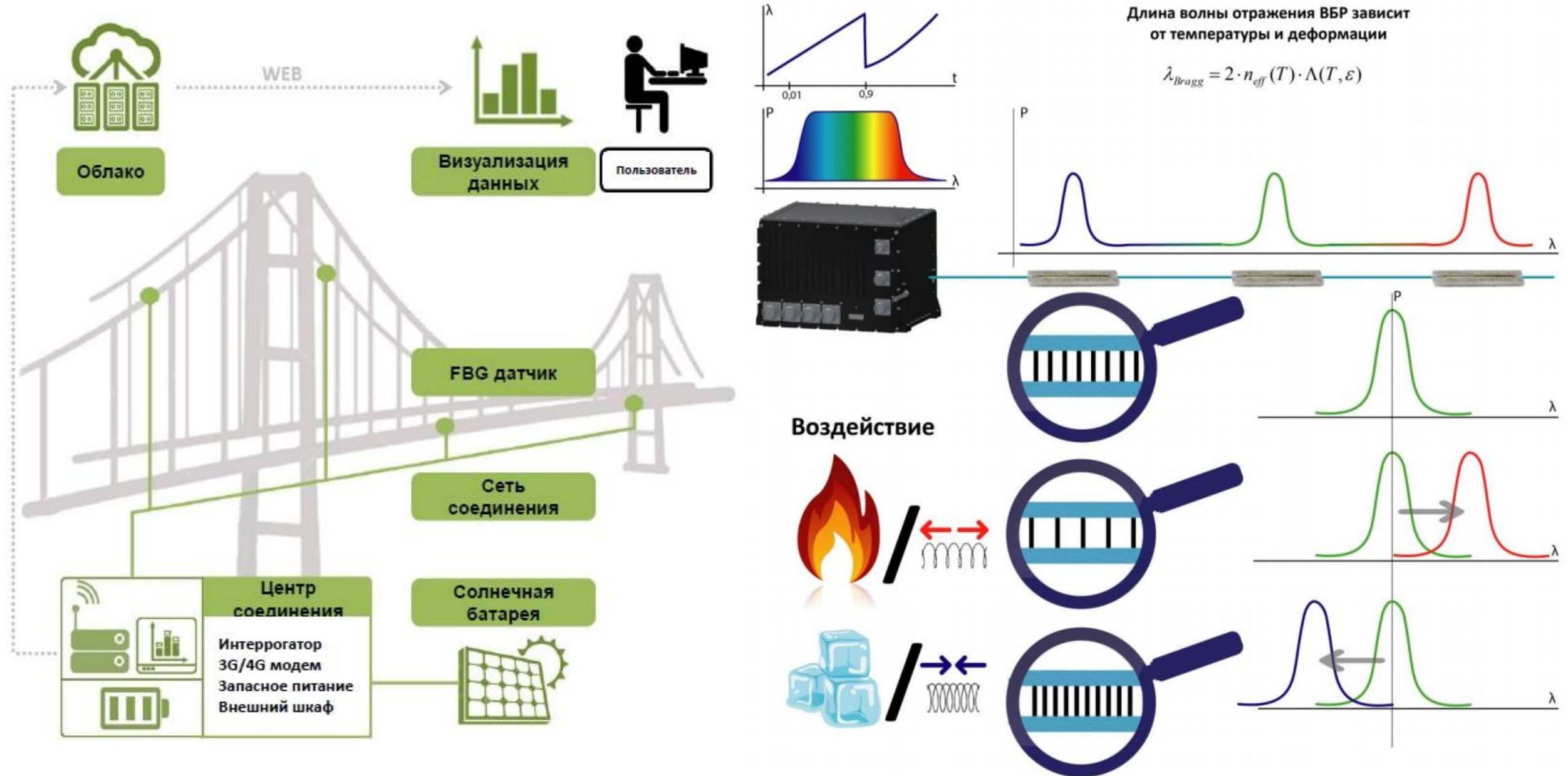


Карты карстоопасности



Изучение и оценка опасных геологических
процессов

Проектирование систем на основе фотоники



Моделирование и проектирование элементов ФИС

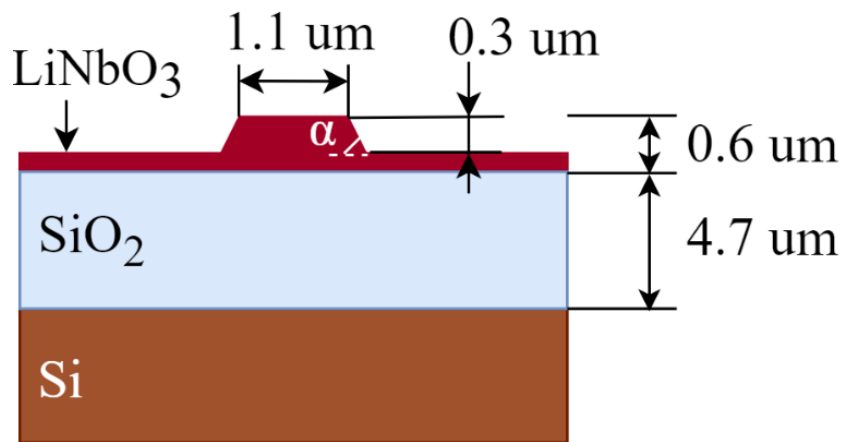
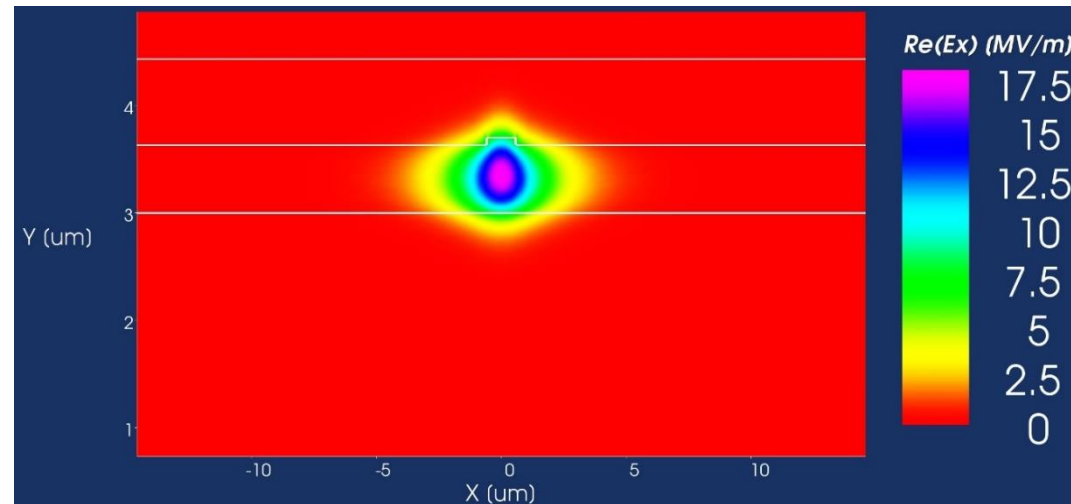
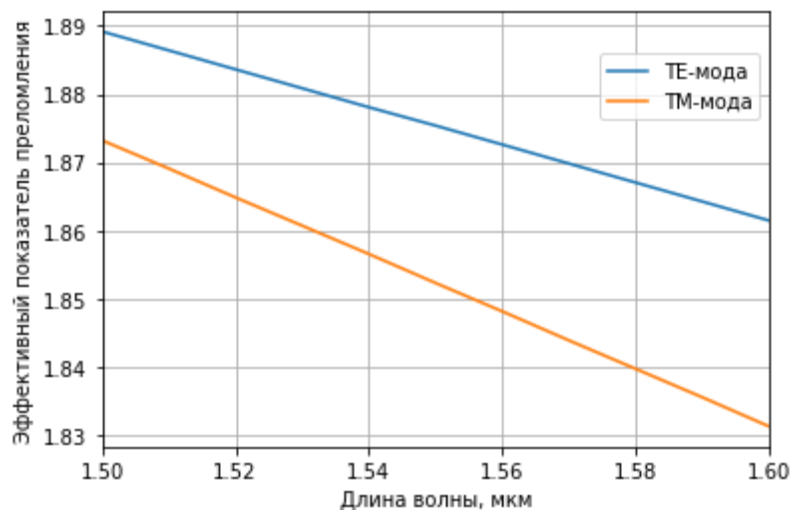


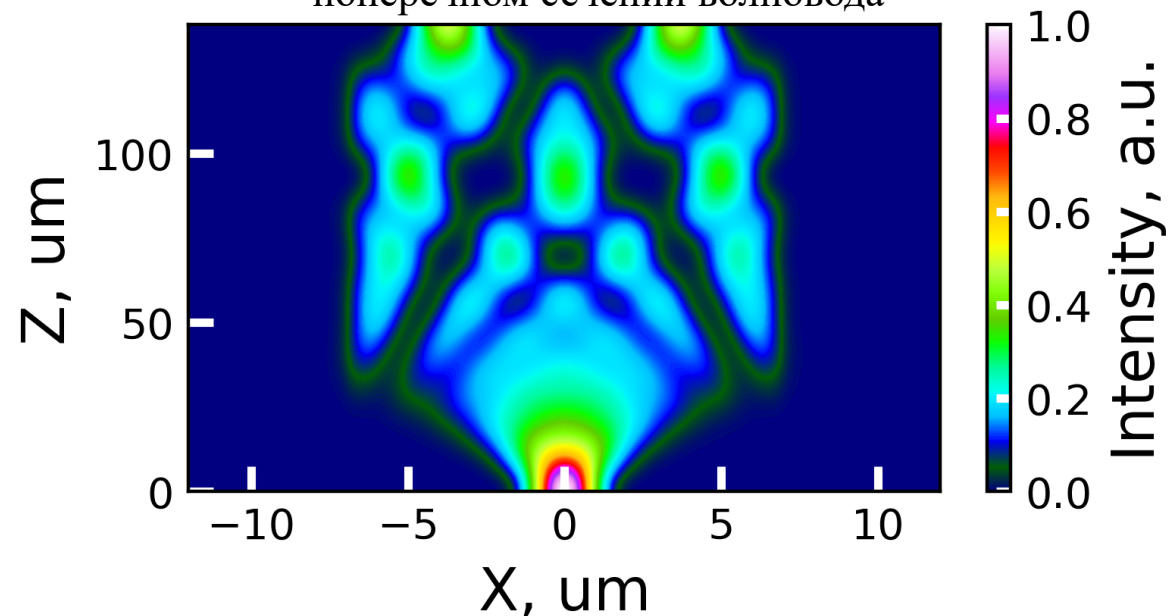
Схема поперечного сечения волновода



Распределение реальной части напряженности электрического поля в поперечном сечении волновода



Зависимость эффективного показателя преломления от длины волны



Распределение интенсивности излучения в топологии MMI-делителя

Разработка технологии формирования фотонных интегральных схем на основе Si/LiNbO₃

a-Si

LiNbO₃

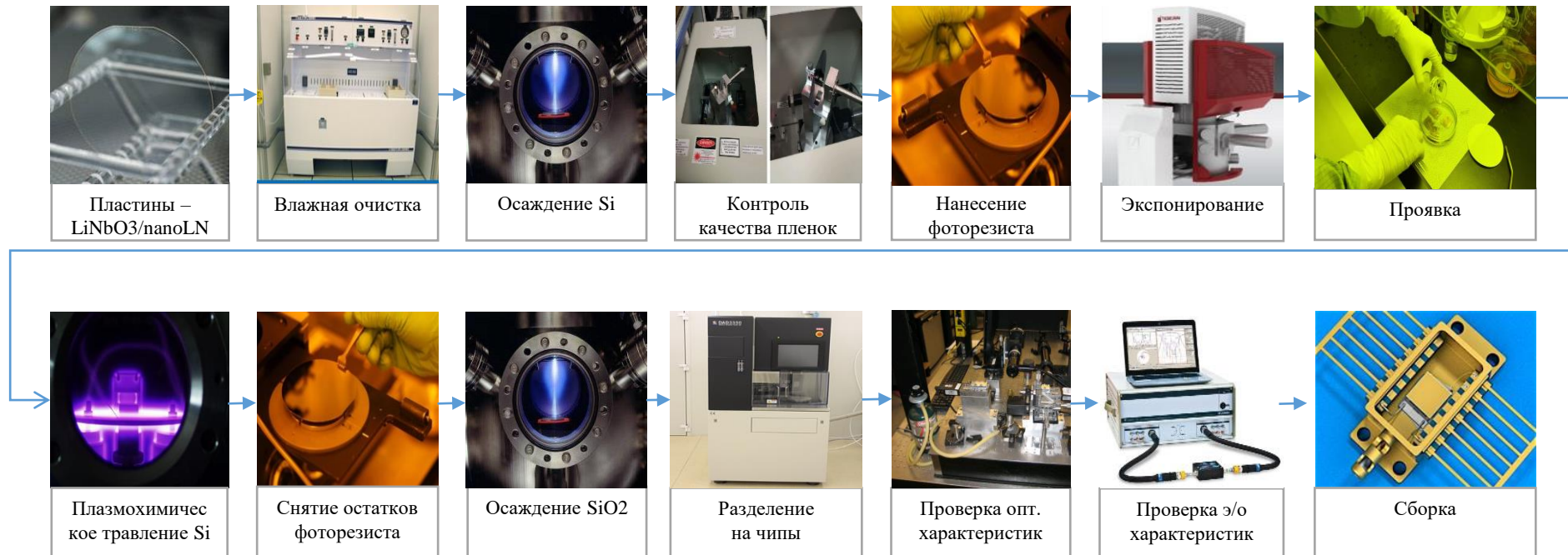
Преимущества:

- Высокая контрастность;
- Низкие потери на ввод/вывод излучения;
- Высокая плотность элементов на чипе;
- Малые радиусы кривизны (менее 150 мкм);
- Возможность разработки компактных СВЧ модуляторов

Разрабатываемые устройства

- Переключатель 1 ГГц
- Датчик слабых электрических потенциалов
- Линии задержки
- Другие пассивные элементы со скоростями управления 1 ГГц

Основные технологические операции:







Обзор рынка применений технологии PoF в России



№		Компания		
		АО "ПРОФОТЕК"	ПАО "Россети"	ООО "АВТЕЛ"
1	Название	АО "ПРОФОТЕК"	ПАО "Россети"	ООО "АВТЕЛ"
2	Логотип			
3	Основная сфера деятельности	Разработка волоконно-оптических измерительных трансформаторов тока и электронных трансформаторов напряжения	Обеспечение энергоснабжения потребителей путем организации максимально эффективной инфраструктуры и внедрении современных инновационных и цифровых технологий	Проектирование, монтаж, обслуживание оптических телекоммуникационных сетей
4	Тематика работ, связанная с передачей оптической энергии удалённым потребителям	Передача энергии на фотоприёмник по оптоволокну с целью питания удалённых маломощных потребителей по оптоволокну	Системы сбора данных с датчиков физических величин для высоковольтных линий передачи электроэнергии	Передача энергии на фотоприёмник по оптоволокну с целью питания героп-модемов в многоквартирном доме
5	Направление	Сенсоры и системы в высоковольтных применениях	Сенсоры и системы в высоковольтных применениях	Телекоммуникационная и IT-система
6	Характеристики объекта для внедрения PoF	Расстояние: 1 500 м Измерение: напряжение, ток, температура	Постоянный ток: от 1000 до 3000 А Потенциал: от 100 до 200 кВ	Расстояние: от 50 м до 5 км
7	Основные требования к системе	Мощность: 500 мВт Расстояние: 1 500 м Скорость передачи данных: 200 кГц Температура: от -60 до +60 Срок эксплуатации: 30 лет	Мощность: от 5 до 10 Вт Напряжение питания: 5 В Срок эксплуатации: 30 лет	Питание: DC 12 V - 0,5 A Волокно: G.652.D Расстояние: от 50 м до 5 км
8	Оптимальная стоимость системы	2 000 \$	Минимально возможная	Минимально возможная
9	Численность	63	-	2
10	Доход	192 млн. руб.	182 968 млн. руб.	7,67 млн. руб.
11	Прибыль	133 млн. руб.	11 641 млн. руб.	389 тыс. руб.

Обзор рынка применений технологии PoF в России

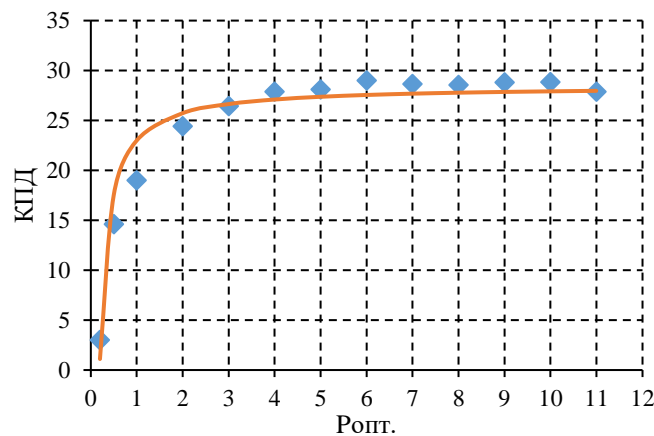
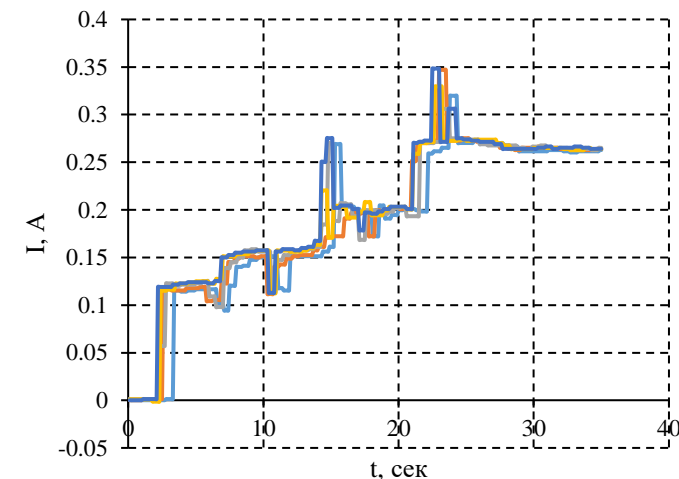
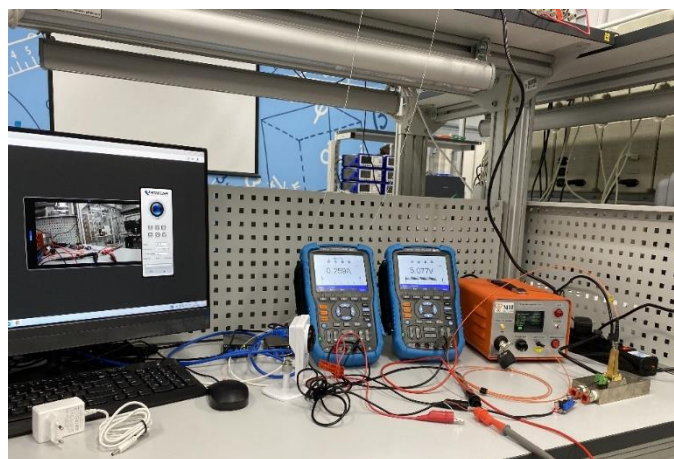
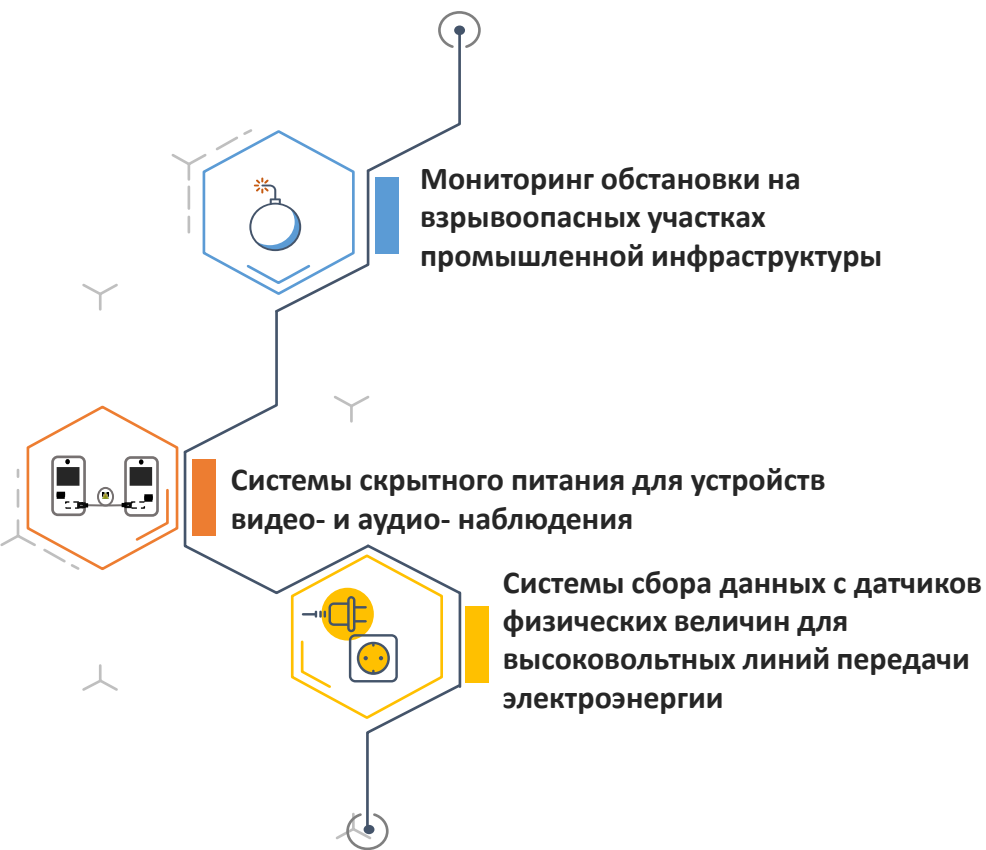


№		Компания			
1	Название	ООО "ОПТЕЛ"	ПАО "РКК Энергия"	PowerInSpace	ООО "Инверсия-Сенсор"
2	Логотип				
3	Основная сфера деятельности	Новые способы передачи энергии и информации по оптическим волокнам Новые приборы для исследования оптических поверхностей	Разработка космических аппаратов и автоматических космических систем	Беспроводная передача энергии лазерным излучением	Серийное производство волоконно-оптических средств измерения
4	Тематика работ, связанная с передачей оптической энергии удалённым потребителям	Передачи энергии и информации по оптическим волокнам Беспилотный	Беспилотный Передача оптической энергии в космосе между космическими аппаратами	Беспроводная передача энергии лазерным излучением	Передача энергии по оптоволокну для управления соленоидами узлов подключения компрессорных станций транспортировка нефти и газа по трубопроводу
5	Направление	Прецизионные датчики и системы на их основе	Прецизионные датчики и системы на их основе	Прецизионные датчики и системы на их основе	Система на пожаро- и взрывоопасном производстве
6	Характеристики объекта для внедрения PoF	Данные уточняются	Данные уточняются	Данные уточняются	Данные уточняются
7	Основные требования к системе	Данные уточняются	Данные уточняются	Данные уточняются	Данные уточняются
8	Оптимальная стоимость системы	Минимально возможная	Минимально возможная	Минимально возможная	Минимально возможная
9	Численность	19	-	-	62
10	Доход	77,7 млн. руб.	30 534 млн. руб.	-	179 млн. руб.
11	Прибыль	270 тыс. руб.	2 179 млн. руб.	-	8,14 млн.руб.

Направления, прорабатываемые в ЛИИ НОЦ по технологии PoF



После анализа возможных сфер применения технологии PoF, наиболее перспективными для дальнейшей проработки выбраны 3 направления:



Структурная схема системы PoF



Рисунок 1 – Структурная схема системы PoF

Основными элементами системы PoF являются:

1. Источник лазерного излучения (810, 980, 1064, 1550 нм и др.);
2. Волоконно-оптический кабель;
3. Фотоэлектрический преобразователь (конвертер оптической энергии).
4. Управляющая электроника

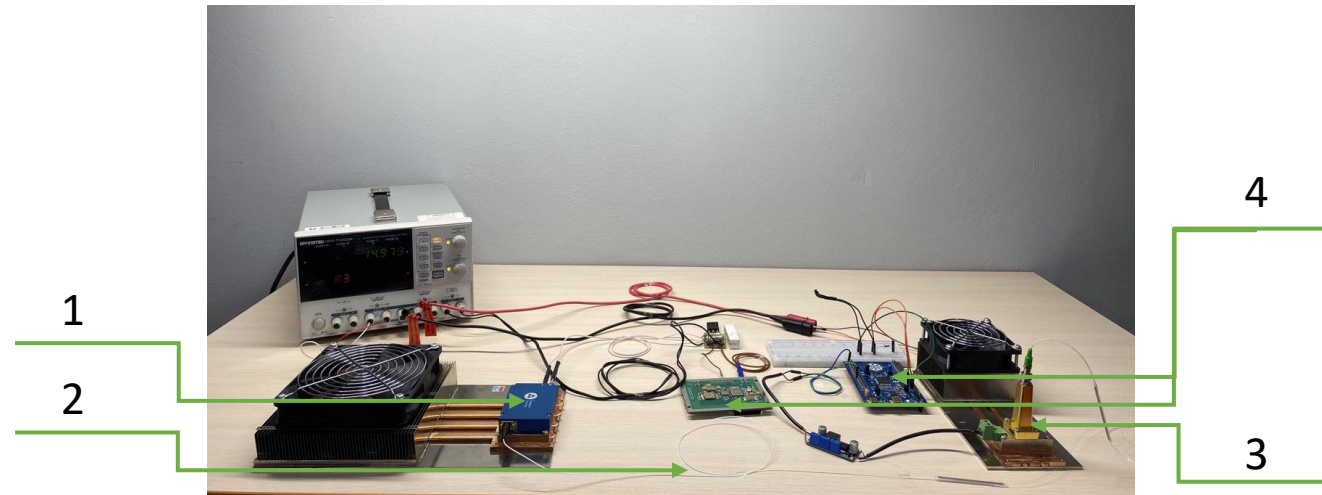


Рисунок 2 – Фотография прототипа системы PoF собранный в ЛИИ НОЦ

Система PoF для мониторинга обстановки

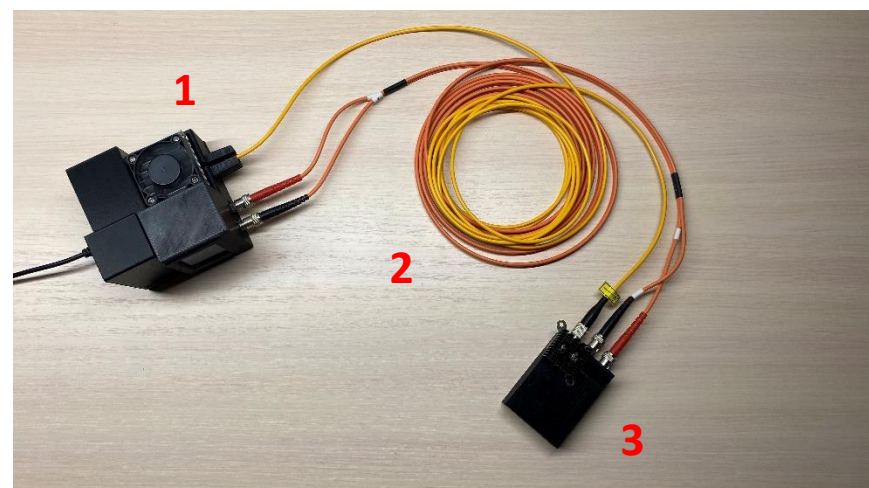


Характеристики PoF Platform

Характеристики	Значения
Длина оптического волокна, м	2
Длина волны, нм	980
Потребляемая мощность, Вт	< 15
Скорость передачи данных, бит/с	115 200
Мощность на стороне потребителя, мВт	Общая: 250 Для нагрузки: 200
Подключение датчиков	Угарный газ (CO ₂) и метан (CH ₄)
Интерфейс	Дисплей

Основные части системы:

1. Модуль PIM с дисплеем;
2. Три оптических волокна: 1 – передача питания, 2 – передача данных в обе стороны;
3. Модуль PIM с датчиками газов (метан (CH₄), угарный газ (CO₂) и т.д.)





БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ