



**«Создание научно-технического задела в области построения унифицированной миниатюрной бортовой радиолокационной нагрузки малоразмерных беспилотных летательных аппаратов для мониторинга ледовой обстановки при строительстве и эксплуатации нефтегазовых платформ»**

При поддержке Минобрнауки РФ.  
Соглашение о предоставлении субсидии № 14.577.21.0226

Руководитель проекта:

директор НЦ СРМ МАИ, зав. кафедрой 410, профессор, д.т.н.

Канащенков Анатолий Иванович

Докладчик: зам. директора НЦ СРМ МАИ, доцент, к.т.н.

**Расторгуев Владимир Викторович**

## Цель ПНИЭР:

комплекс научно-технических решений, предназначенных для **создания унифицированной миниатюрной бортовой радиолокационной целевой нагрузки (МБРЛЦН)** малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (МБЛА) для мониторинга ледовой обстановки при строительстве и эксплуатации нефтегазовых платформ.

Исполнитель: Московский авиационный институт (МАИ),  
Научный центр специальных радиоэлектронных систем и менеджмента

Индустриальный партнёр: ООО «Финко»

## Финансирование:

Бюджетное - 31 млн. рублей;

Внебюджетное - 39 млн. рублей

## Проблема:

Обеспечение безопасности строительства и эксплуатации нефте- и газодобывающих платформ в условиях Крайнего Севера, характеризующихся чрезвычайно-сложными погодными условиями и **необходимостью постоянного мониторинга складывающейся вокруг зачастую динамично изменяющейся ледовой обстановки**, что требует регулярного наблюдения и принятия соответствующих мер обеспечения безопасности.

## Метод решения задач мониторинга ледовой обстановки:

**разработка миниатюрной радиолокационной системы (РЛС)**, отличительной особенностью которой являются **малый вес и габаритные размеры**, которая устанавливается на БЛА малоразмерного класса, работающих в условиях полярных широт (арктический шельф), независимо от времени суток и сложных метеоусловий.

# Мониторинг ледовой обстановки (МЛО)

Защищаемые объекты



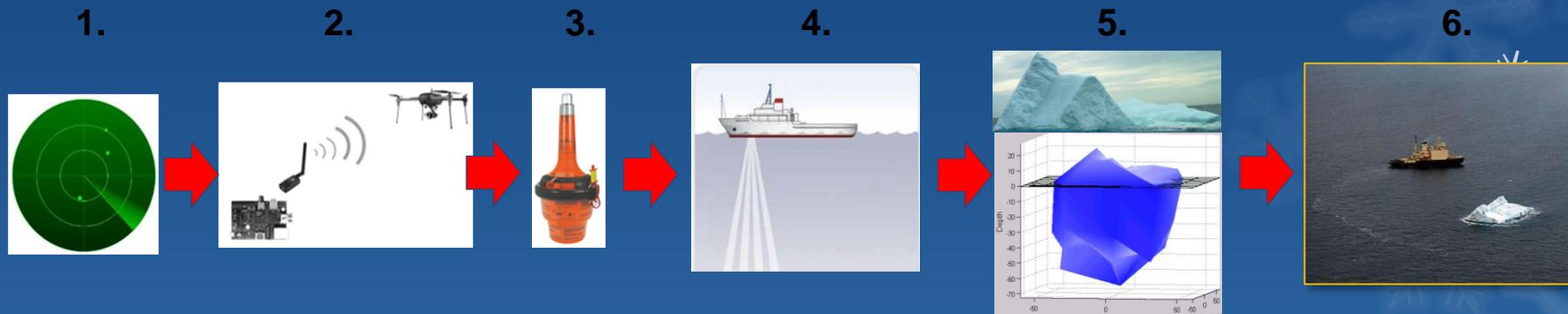
Опасные ледовые образования



# Обзор функционально-технических требований: Применение комплекса оборудования (на примере айсберга)



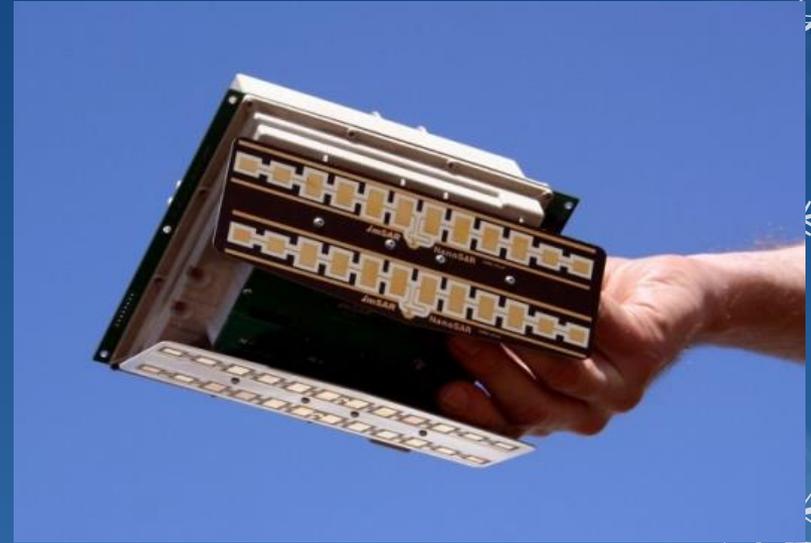
## Шаги по прогнозированию направления движения айсбергов для предотвращения угрозы столкновения с защищаемым объектом



1. Мониторинг ледовой обстановки вокруг защищаемого объекта с помощью радара ледовой обстановки, визуальных и спутниковых средств наблюдения.
2. Вылет БПЛА для изучения потенциально опасных зон.
3. Сброс радиобуя на наиболее опасные ледовые образования для отслеживания их перемещения.
4. При возникновении риска столкновения конкретного ледового образования с защищаемым объектом, к источнику опасности выдвигается судно сопровождения, в задачи которого входит определение более точного прогноза движения ледового образования посредством доплеровского профилографа течений.
5. При подтверждении опасности судно делает обход объекта для определения подводной части. Анализ проводится по средством гидролокатора бокового обзора (или альтернативного прибора, позволяющего определить форму подводной части айсберга).
6. По результатам анализа принимается решение о направлении и способе отклонения айсберга от защищаемого объекта.



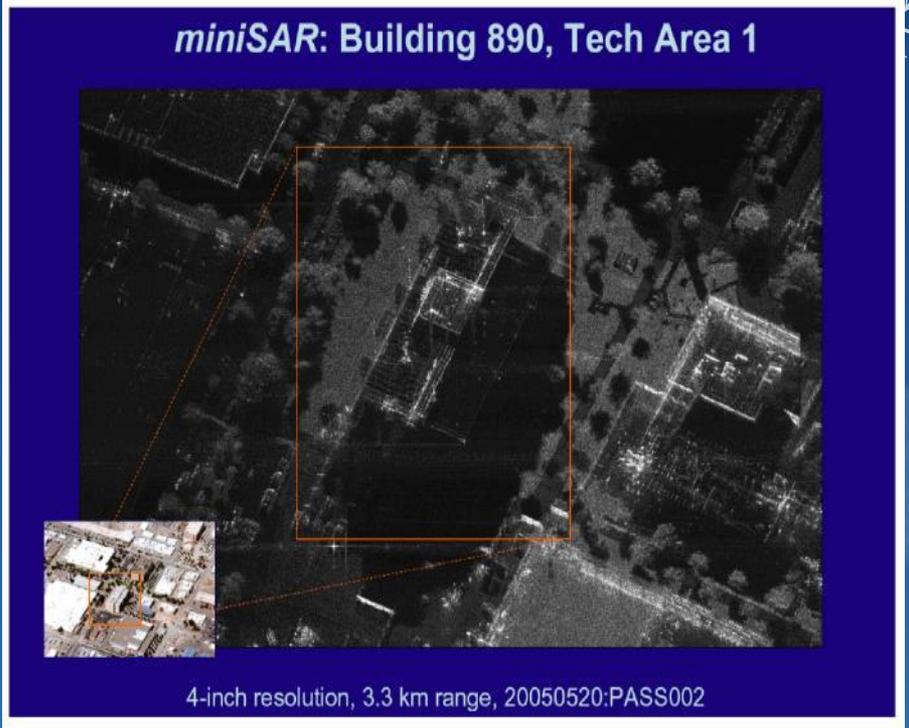
# Современные малогабаритные РСА для применения на БПЛА. NanoSAR



# РСА изображения радаров NanoSAR



Specifications		Options
Operating Mode:	Stripmap	Import to Google Earth or ENVI
Processing:	Onboard, Real-Time	Geolocation
Output:	Real-Time NTSC Video/Ethernet	Extended Range
Communications:	RS232, Serial TTL, Ethernet	JPEG Compression
Weight:	2 lbs	32 GB Solid State Drive
Size:	6.2" x 7.5" x 4.5"	DVR Mode - Real-Time Pan and Zoom
Range:	1 km	Package 1: ScanEagle Plug and Play Bay
Resolution:	1 m	Package 2: Manned Aircraft Pod
Power:	15 Watts	Package 3: Custom Module
Transmit Frequency:	X-Band	



Диапазон частот:  
Вид зондирующего сигнала:  
Разрешение:  
Масса:  
Дальность действия:  
Потребляемая мощность:  
Место установки:

VHF, UHF, L, UWB, X, KU  
непрерывный ЛЧМ  
1 м по обеим координатам  
не более 4 кг  
1...3 км  
20...30 Вт  
БПЛА



## Этап 2.

# Теоретические исследования поставленных перед ПНИЭР задач. Подготовка экспериментальных исследований

### Бюджетные средства (субсидия)

2.1 Разработка комплекса научно-технических решений построения архитектуры МБРЛЦН для мониторинга ледовой обстановки и оценки возможностей реализации МБРЛЦН.

2.2 Разработка исследовательского стенда для настройки экспериментального образца МБРЛЦН.

2.3 Разработка программного обеспечения исследовательского стенда.

2.4 Программная реализация разработанных методов и алгоритмов

2.5 Разработка программы и методик экспериментальных исследований ЭО МБРЛЦН, обеспечивающих мониторинг ледовой обстановки.

### Внебюджетные средства (ООО «Финко»)

2.6 Закупка необходимой технологической и контрольно-измерительной аппаратуры для исследовательского стенда настройки ЭО МБРЛЦН.

2.7 Проведение маркетинговых исследований, позволяющих предварительно определить объёмы потребности в создаваемом продукте у различных потребителей

2.8 Участие в мероприятиях, направленных на освещение и популяризацию результатов проекта

**2.1 Разработка комплекса научно-технических решений построения архитектуры МБРЛЦН для мониторинга ледовой обстановки и оценки возможностей реализации МБРЛЦН.**



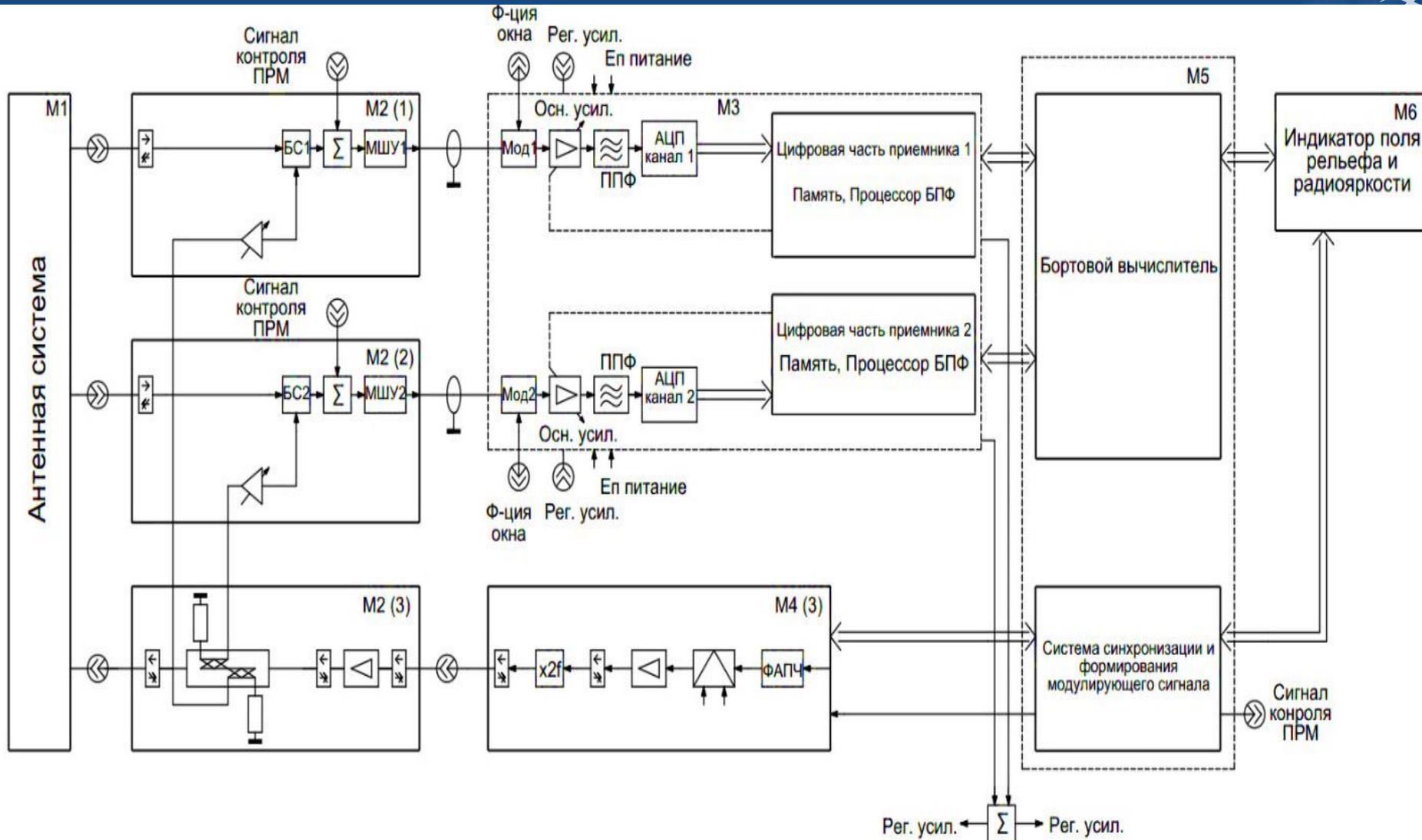
# Тактико-технические характеристики МБРЛЦН



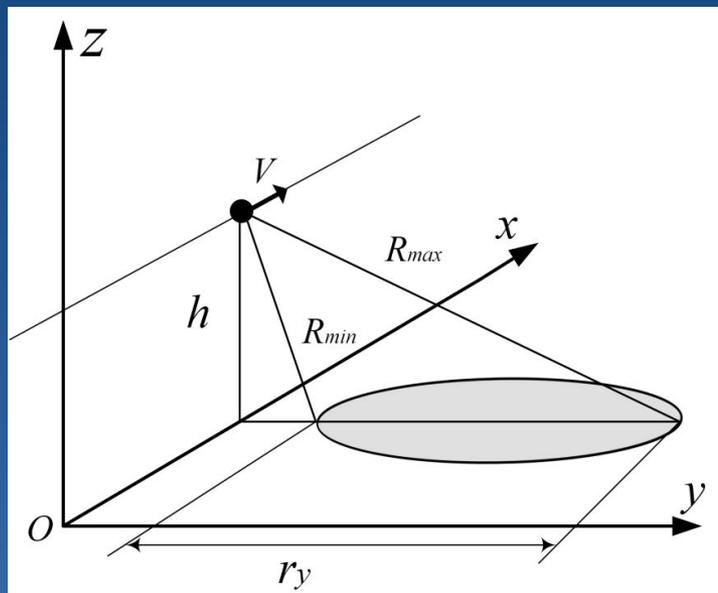
1	Диапазон частот:	Х
2	Вид сигнала:	непрерывный ЛЧМ
3	Тип приемника:	гомодинный
4	Диапазон дальностей:	1800...4600 м (наклонная)
5	Диапазон дальностей:	1500...4500 м (проекционная)
6	Размеры одной антенны:	35 x 12 см
7	Число антенн:	3
8	Метод формирования РЛИ:	синтезирование апертуры с фокусировкой по дальности
9	Режим съемки:	интерферометрический
10	Высота полета носителя:	500...2000 м
11	Девияция частоты ЛЧМ:	150 МГц
12	Разрешающая способность по дальности:	1 м
13	Разрешающая способность по азимуту:	1 м
14	Разрешающая способность по высоте:	1 м
15	Масса:	не более 4,5 кг



# Структурная схема МБРЛЦН



# 1. Математическое моделирование режима обзора поверхности с синтезированием апертуры антенны



Геометрия траектории полёта БПЛА

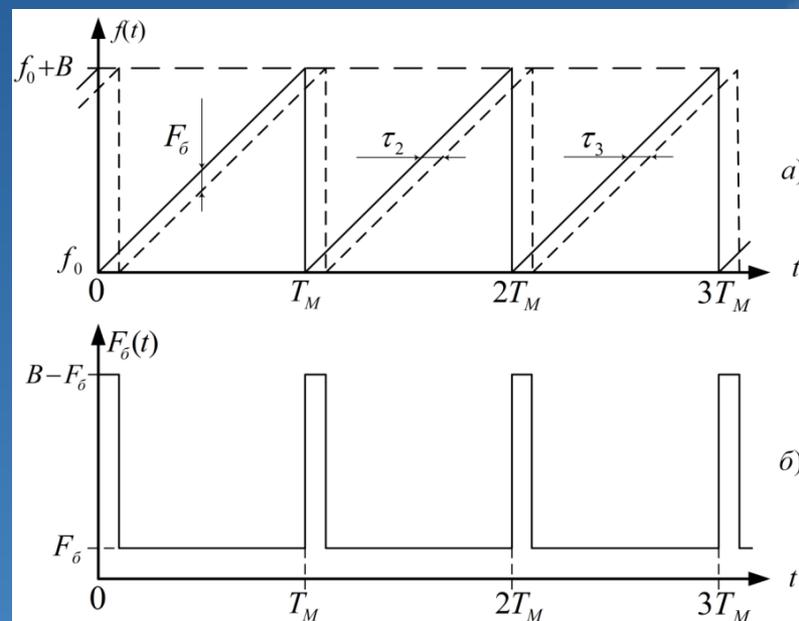
Модель отраженного сигнала

$$y_r(t, n) = \sum_{k=1}^K s_r^{(k)}(t, n) + w(t), \quad n = 1, 2, \dots$$

ЛЧМ зондирующий сигнал

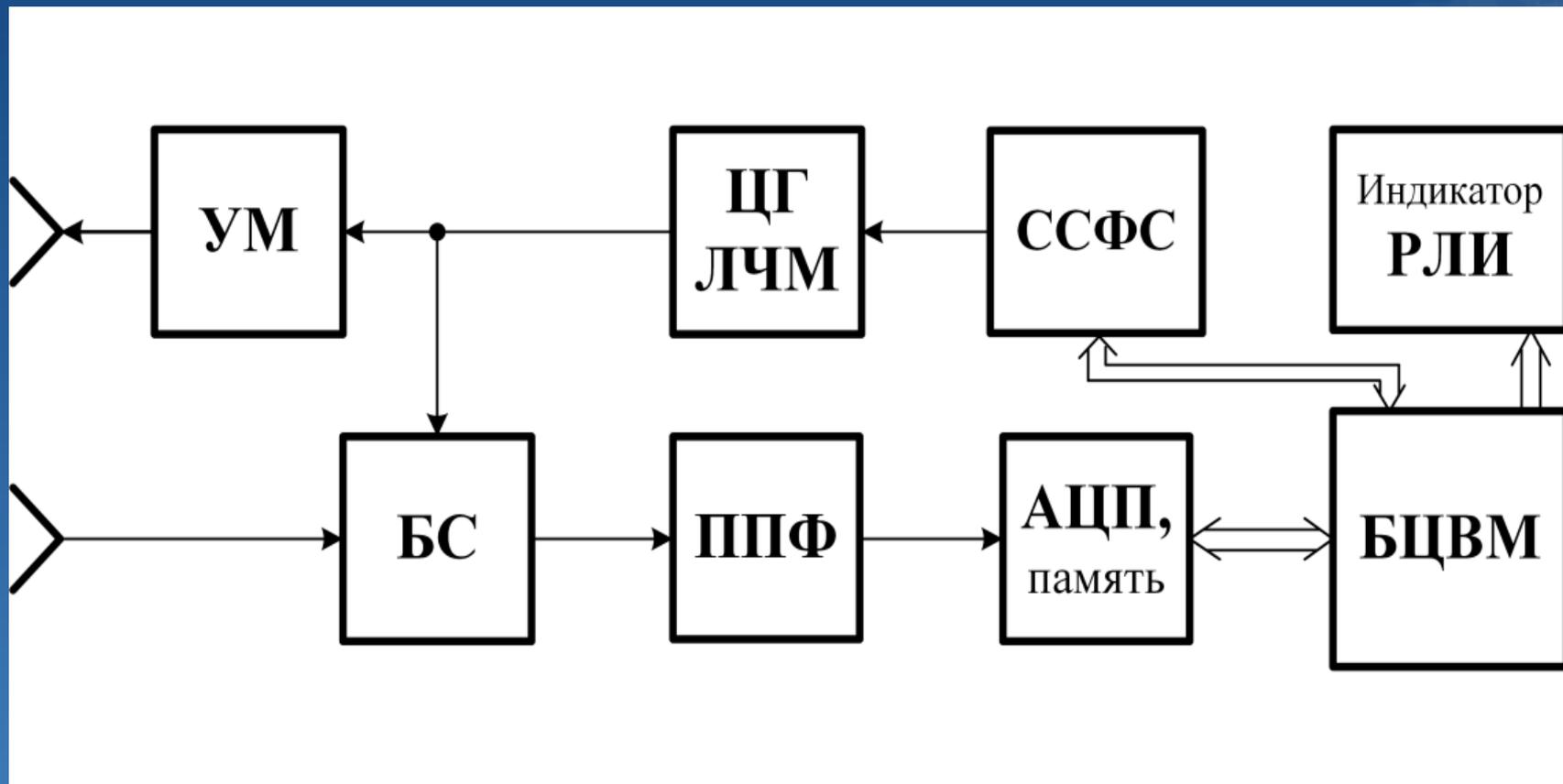
$$s_t(t, n) = U_t \cos(2\pi f_0 t + \pi \beta t^2 + \varphi_0),$$

$$0 \leq t < T_M,$$



Законы изменения частоты во времени

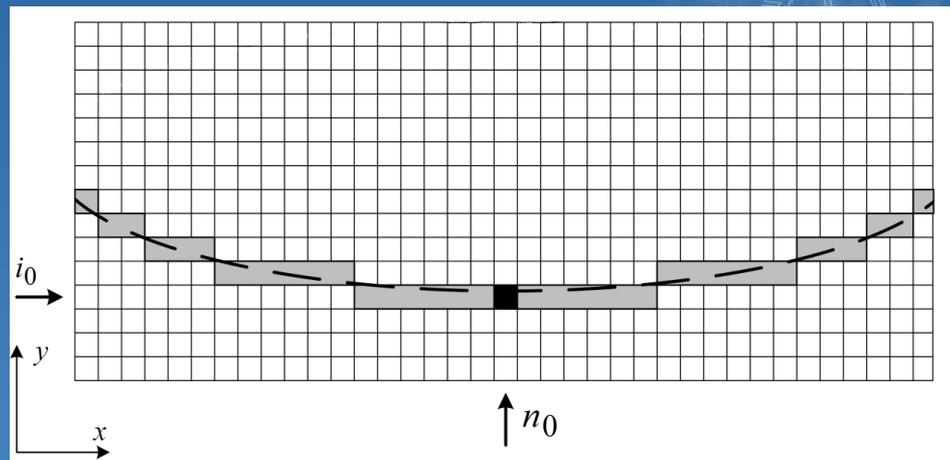
# Структурная схема алгоритма обработки сигналов в РСА



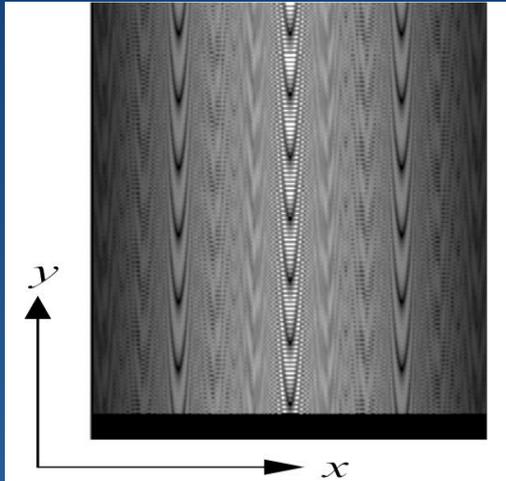
## 2. Разработка методов и алгоритмов построения радиолокационных карт поверхности для мониторинга ледовой обстановки

### Алгоритм формирования РЛИ

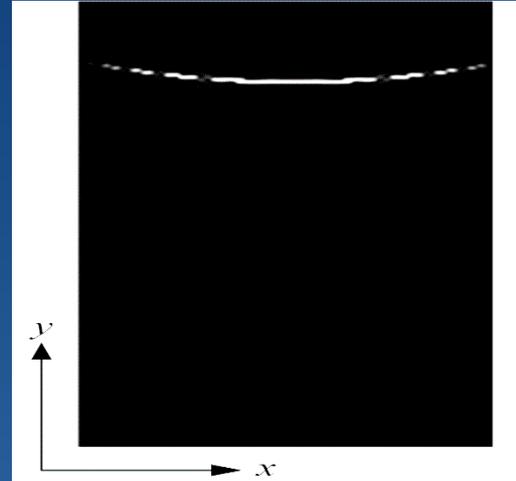
1. Сформировать выборку  $Z(n_0, i_0)$  отсчетов  $Z_n^{(i)}$ , используемых при вычислении значения яркости  $E(n_0, i_0)$ .
2. Рассчитать опорный фильтр для фильтрации значений  $Z(n_0, i_0)$  с учетом изменения амплитуд и фаз сигналов для фокусируемой дальности  $R_{i_0}$ .
3. Рассчитать значение яркости элемента  $E(n_0, i_0)$  путем фильтрации последовательности комплексных отсчетов  $Z(n_0, i_0)$  с помощью опорного фильтра.



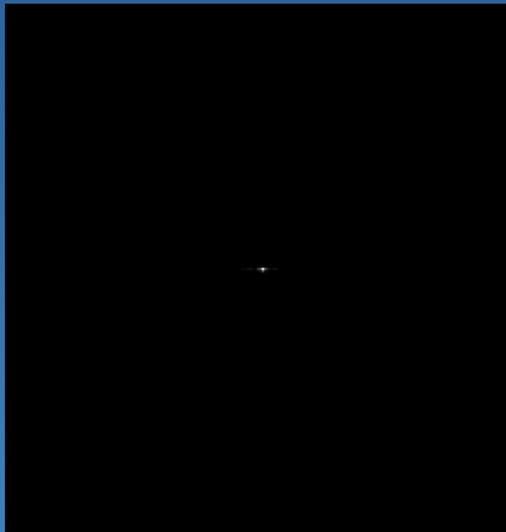
# Результаты моделирования



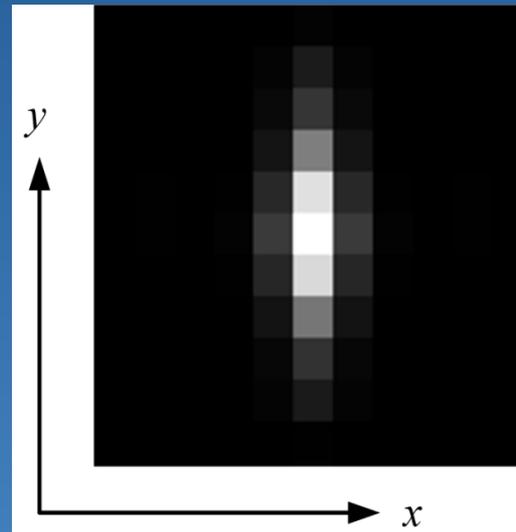
Радиоголограмма траекторного сигнала



Траекторный сигнал



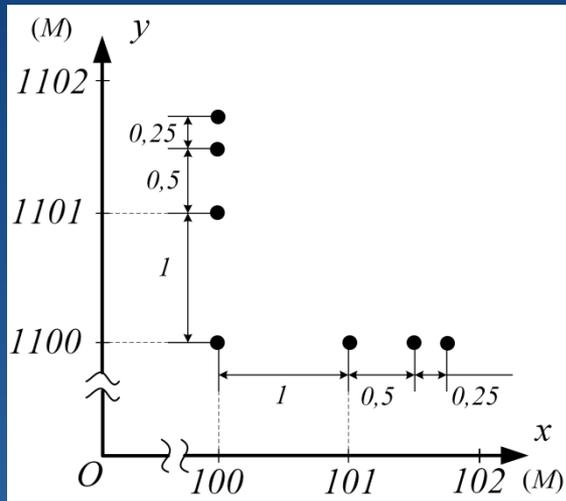
РЛИ размером 100 x 100 точек



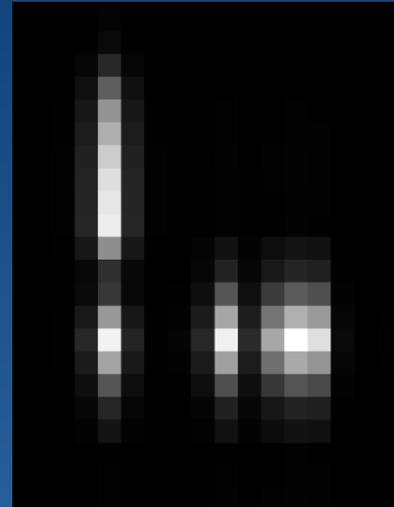
РЛИ размером 11 x 11 точек



# Результаты моделирования



Модель



Фрагмент синтезированного РЛИ



Фрагмент синтезированного РЛИ

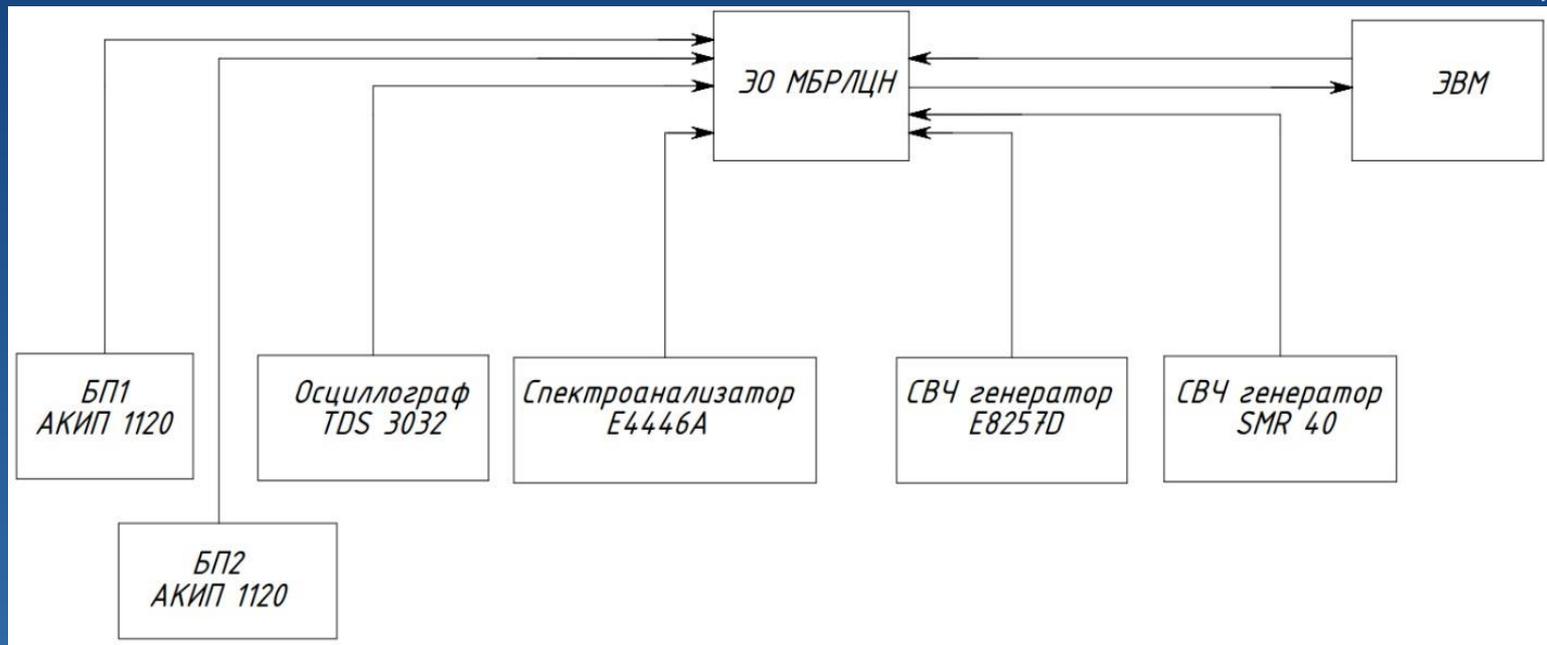
### 3. Разработка алгоритма формирования РЛИ в режиме синтезированной апертуры для восстановления рельефа поверхности

1. Формирование двух комплексных РСА изображений и регистрация их в памяти БЦВМ.
2. Формирование интерферометрической карты разности фаз.
3. Сглаживание карты разности фаз с целью подавления фазовых шумов.
4. Преобразование карты разности фаз с целью восстановления истинных фаз и формирования карты фаз.
5. Масштабирование восстановленной карты фаз с целью получения карты рельефа местности.
6. Ортонормированное преобразование полученного рельефа местности с целью корректного отображения высот с учетом геометрии взаимного расположения БПЛА и лоцируемой сцены.

## **2.2 Разработка исследовательского стенда для настройки экспериментального образца МБРЛЦН**

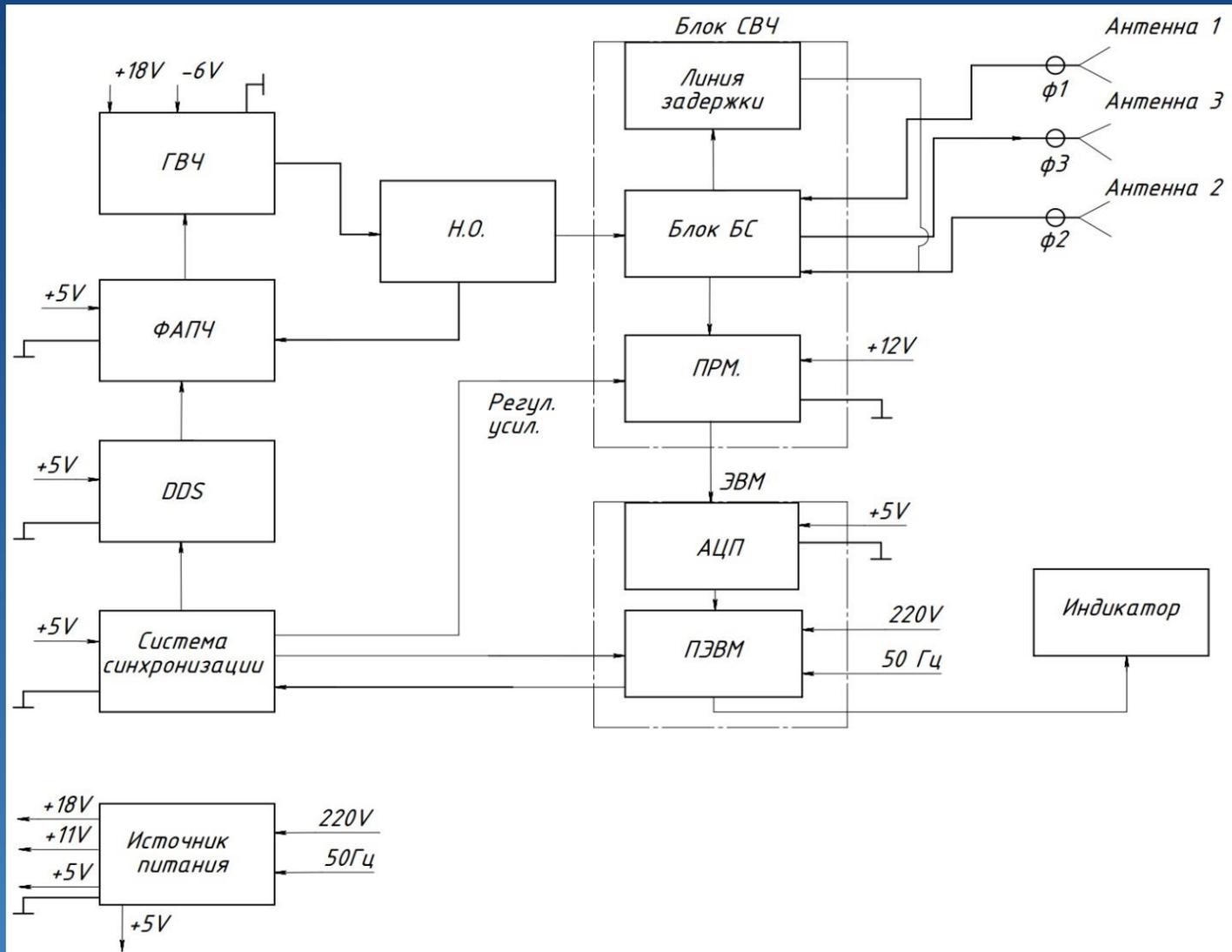


# Архитектура и состав исследовательского стенда



- 1) ЭО МБРЛЦН;
- 2) комплекта блоков питания (АКИП 1120 - 2 шт.);
- 3) комплекта ВЧ и СВЧ генераторов, для имитации внешних сигналов (СВЧ генератор Agilent E8257D, СВЧ генератор Rode Schwarz SMR 40);
- 4) СВЧ кабелей, обеспечивающих взаимодействие с ЭО МБРЛЦН;
- 5) ПЭВМ, обеспечивающего функционирования ПО исследовательского стенда;
- 6) Контрольно-измерительной аппаратуры (осциллограф Tektronix TDS 3032, спектроанализатор Agilent E4446A);
- 7) ПО исследовательского стенда.

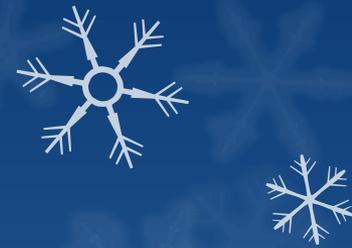
# Функциональная схема исследовательского стенда



# Состав исследовательского стенда

- ГВЧ, генератора высокой частоты, управляемого напряжением, включенного в цепь обратной связи умножающего ФАПЧ,
- НО, направленного ответвителя, пропускающего сигнал ГВЧ на блок БС и далее на передающую антенну, а также ослабленную часть сигнала ГВЧ на вход системы ФАПЧ,
- ФАПЧ, системы частотно-фазовой подстройки частоты (умножающий ФАПЧ), на второй вход которой поступает опорный частотно модулированный сигнал с модуля DDS (цифро-аналогового преобразователя),
- Системы синхронизации, формирующей тактовые частоты для DDS и АЦП, а также сигналы управления усилением ПРМ,
- Блока балансных смесителей (БС), содержащий канал передачи сигнала ГВЧ на передающую антенну и двух идентичных балансных смесителей, снабженных регулировками амплитуд гетеродинных сигналов и потенциометрами балансировки смесителей,
- Линии задержки, предназначенной для калиброванной задержки сигнала ГВЧ, и лабораторных настроек формирователя зондирующего сигнала,
- ПРМ, двухканального приемного устройства, выполняющего предварительную фильтрацию и усиление сигналов биений, поступающих с БС,
- АЦП, двухканального аналого-цифрового преобразователя, осуществляющего преобразование аналогового сигнала в цифровую форму и передачу цифровой информации в ПЭВМ,
- ПЭВМ, персональная электронная вычислительная машина, реализующая первичную и вторичную обработку информационных сигналов,
- Индикатор, отображающий результаты обработки информационных сигналов,
- Источник питания всех модулей и узлов ИС.

## **2.3 Разработка программного обеспечения исследовательского стенда.**



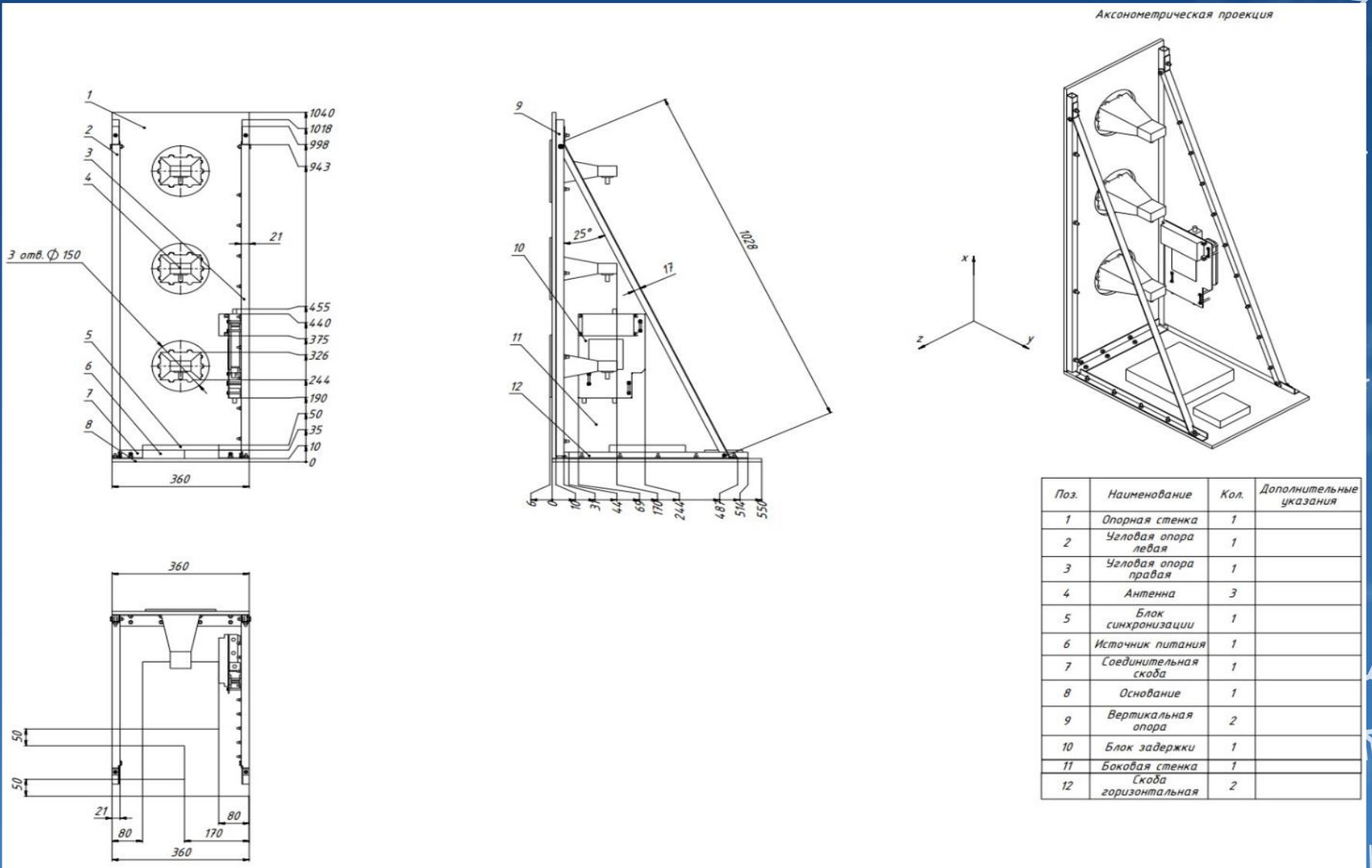
# Состав ПО исследовательского стенда

1. Модуль взаимодействия с ЭО МБРЛЦН, которые обеспечивают инициализацию, задание параметров режима работы, получение информации от ЭО, регистрацию и документирование,
2. Модуль оценки разрешающей способности по дальности и азимуту, в том числе по записанной РГГ,
3. Модуль оценки динамического диапазона РЛИ, в том числе по записанной РГГ,
4. Модуль оценки точности измерения высоты рельефа, в том числе по записанной РГГ.

ПО исследовательского стенда для настройки и проведения испытаний экспериментального образца МБРЛЦН должно обеспечивать:

- включение, диагностику и управление ЭО МБРЛЦН/макета,
- получение целевой информации от ЭО МБРЛЦН/макета,
- формирование оценок достижения целевых характеристик при испытаниях макета ЭО МБРЛЦН.

# Конструкция макета интерферометрической РЛС, входящей в состав исследовательского стенда



## 2.4 Программная реализация разработанных методов и алгоритмов



**2.5 Разработка программы и методик  
экспериментальных исследований ЭО МБРЛЦН,  
обеспечивающих мониторинг ледовой обстановки**

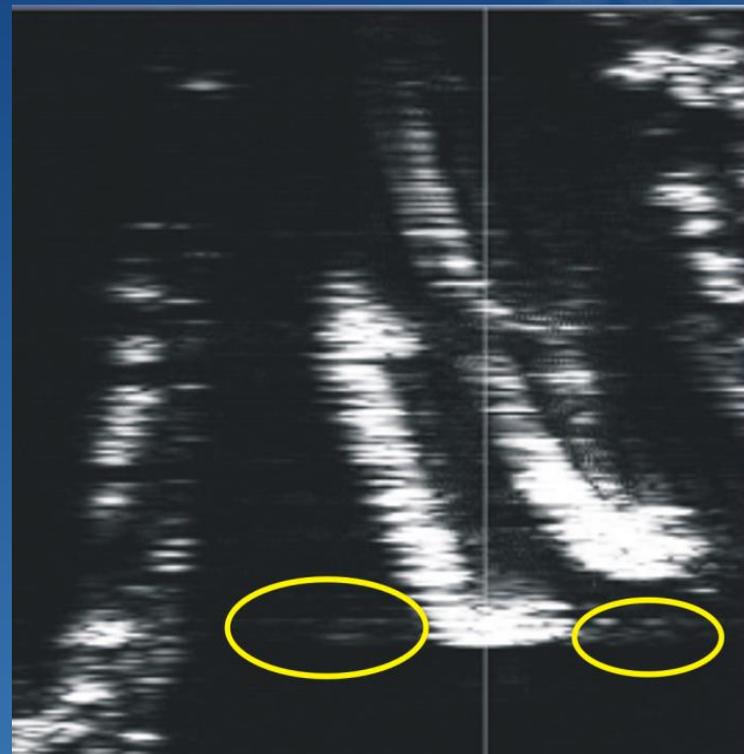
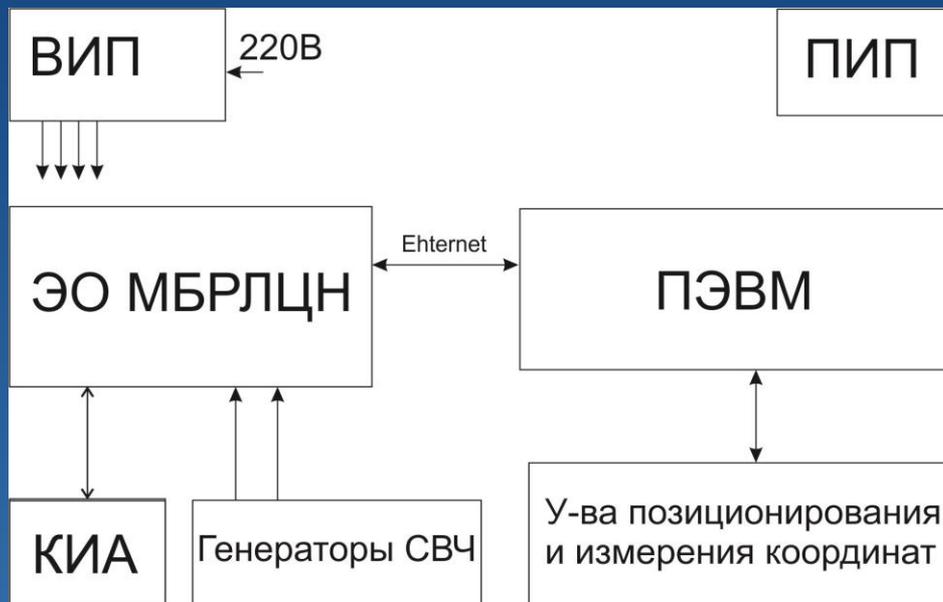


# Цели проведения экспериментальных исследований

1. оценка функционирования аппаратуры ЭО МБРЛЦН и регулировки отдельных устройств;
2. проведение сквозной калибровки радиолокационного тракта ЭО МБРЛЦН (измерение реального потенциала системы по эталонной цели – сфере либо уголковым отражателям);
3. регистрация радиолокационных сигнатур движущихся и неподвижных объектов (в соответствии с п. 4.3.1.1 ТЗ) на фоне подстилающей поверхности;
4. отработка режима получения высокодетального по двум координатам РЛИ (синтезирование апертуры), оценка полученной разрешающей способности по обеим координатам;
5. отработка режима интерферометрического измерения высоты рельефа поверхности, получение оценок точности высот;
6. проведение исследований свойств, в том числе статистических характеристик рассеяния ЭМВ для различных типов поверхностей, в том числе ледовых;
7. проведение записи РЛИ крупных движущихся объектов (баржа) для отработки алгоритмов объединения образов, измерения координат цели (и возможно, определения ракурса)

# Методика проведения экспериментальных исследований

## 1. Лабораторный этап исследований



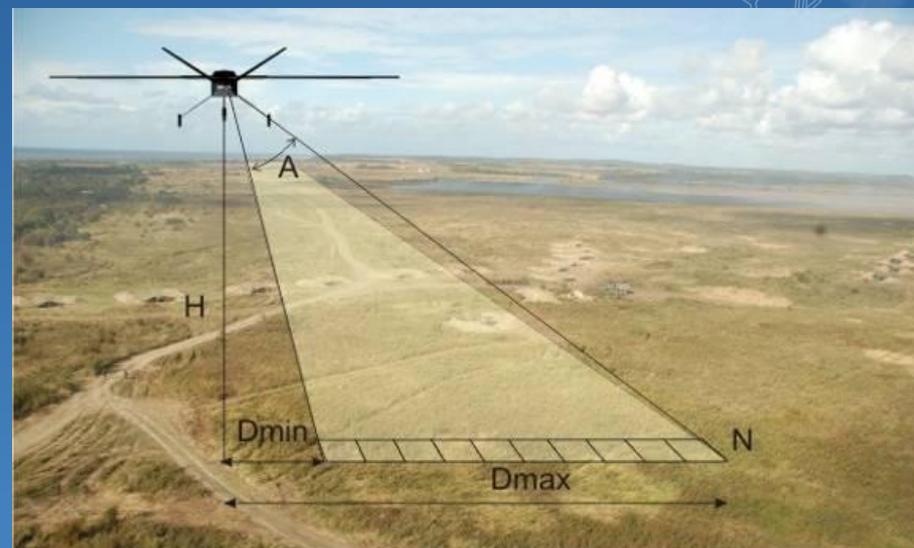
## 2. Регистрация радиолокационного портрета целей и наблюдение фоновых поверхностей

**2.7 Проведение маркетинговых исследований, позволяющих предварительно определить объёмы потребности в создаваемом продукте у различных потребителей**



# Supercam S450 R (RADAR)

Беспилотный авиационный комплекс – носитель МБРЛЦН



# Supercam S450R (RADAR)

## тактико-технические характеристики



Параметр	Значение
Время полета	до 4,0 ч (с включенной МБРЛЦН) до 6,0 ч (без МБРЛЦН)
Скорость полета	65 ÷ 120 км/ч
Тип двигателя	Электрический
Компоновка двигателя	Тянущий
Максимальный радиус действия радиолинии	90 км
Максимальный радиус действия видеоканала	50 км
Максимальная дальность полета	не менее 240 км с включенной МБРЛЦН не менее 340 км без МБРЛЦН
Взлетный вес	до 30 кг
Полезная нагрузка	Всего – до 5,0 кг До 1,0 кг – доп. ЦН, кроме МБРЛЦН
Размах крыла летательного аппарата	4,5 м
Рабочая высота полета	150 ÷ 5000 м
Время разворачивания комплекса	15 мин
Взлет	Пневматическая катапульта
Посадка	Парашют
Условия эксплуатации	
Ветер	до 15 м/с
Температура окружающего воздуха	-40°C..+40°C
Умеренный дождь и снегопад	допускается

# Тенденции и тренды развития рынка беспилотных авиационных систем

Описание общей картины рынка БЛА:

- зарубежные рынки;
- анализ российского рынка БПЛА:

ООО «Специальный технологический центр» (С-Пб) – БЛА:

Орлан-1-10, Орлан-30, Орлан-50;

ГК «Ижмаш-Беспилотные Системы» (Ижевск) - БЛА: «Гранат-1» (и др.),  
«Оцелот» и «Кугуар»;

ZALA AeroGroup (Ижевск)

БЛА: Zala (модифик.);

ГК «Геоскан» (С-Пб)

БЛА: Геоскан (модифик.)

«Финко» (ГК «Беспилотные системы», Ижевск) БЛА: Superkam (модифик.);

АО «Кронштадт» (ранее - «Транзас Беспилотные системы», СПб) – БЛА:

Филин, Дозор,

ООО «АФМ-Серверс» (Москва) БЛА: «Птеро-Е», «Птеро-СМ»,

НПП «Автономные аэрокосмические системы-ГеоСервис» (Красноярск)

БЛА: Дельта, Дельта – М, Гамма,

АО «НИИ СТТ» (Смоленск)

БЛА: «Мерлин-21Б», «Флибустьер»,

ЗАО «Эникс» (Казань)

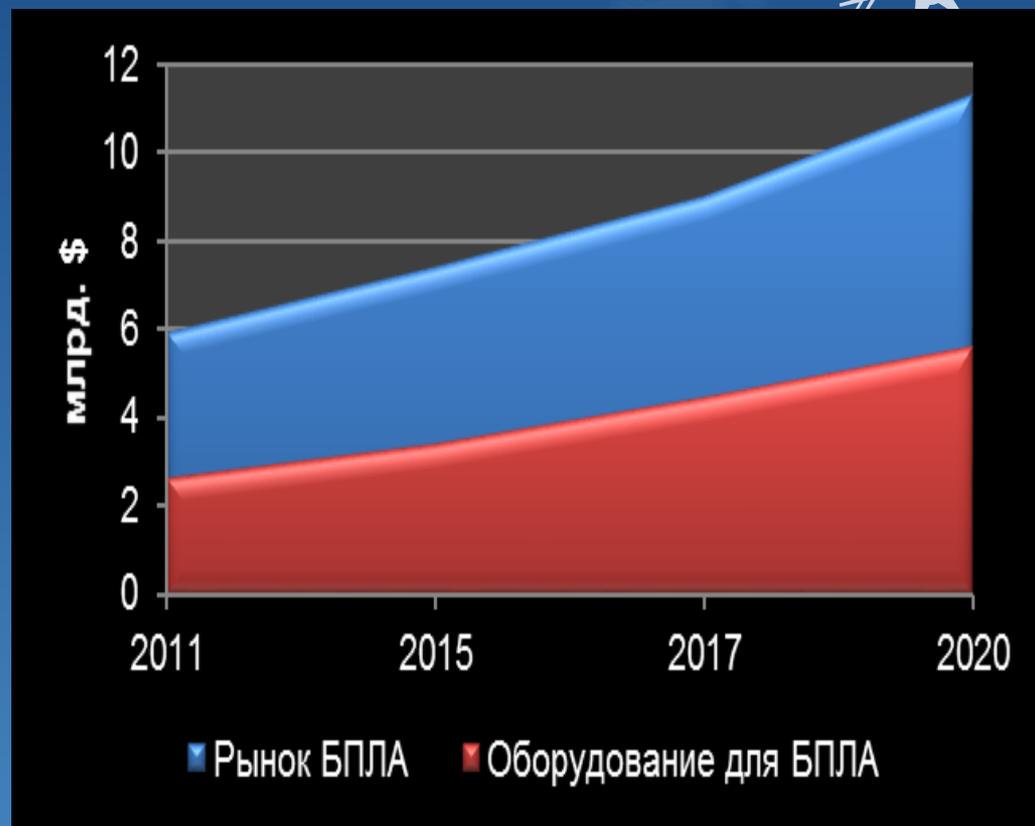
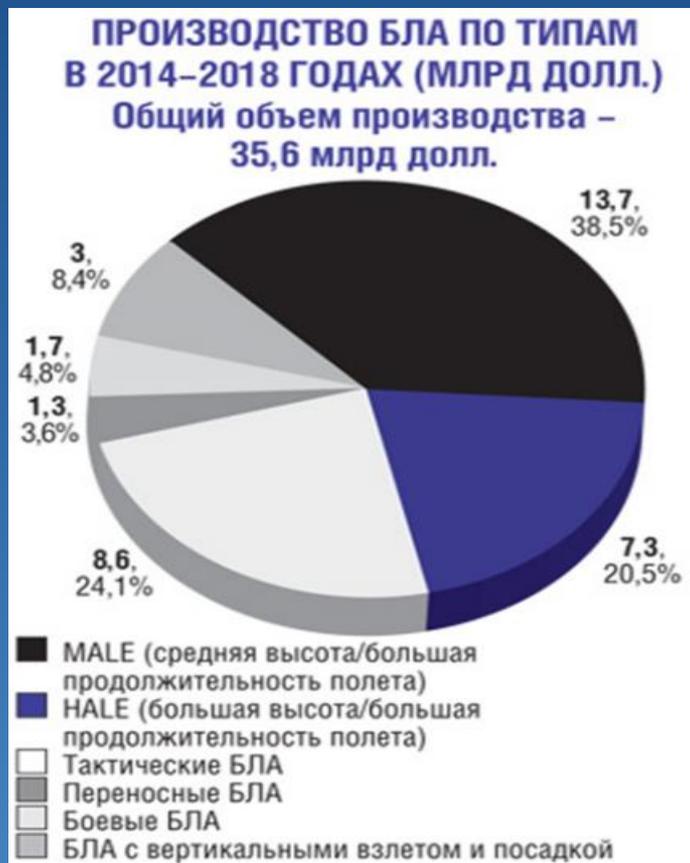
БЛА «Элерон-3СВ», «Элерон-10СВ», Е-08М

ООО «Аэроб» (Москва)

БЛА «Аэроб-4Д»

Данные по мировому рынку БЛА – объёмы рынка по странам и доли, занимаемые на рынке беспилотными системами различных типов

Прогнозируемые объёмы мирового рынка БЛА и рынка снаряжения для БЛА (по оценке аналитической компании TealGroup)



# Аналогичная продукция



Наиболее популярные изделия, присутствующие на рынке:

радарные системы американского производства:

NanoSAR, компания ImSAR  
MESA-K-DEV, компания Echodyne

1. Система NanoSAR - полнофункциональная многодиапазонная радарная система для применения как в режиме полосовой съемки в качестве радара «бокового обзора», так и в режиме радара системы предотвращения столкновений в воздухе БЛА и лёгких самолётов (система Sense & Avoid). Стоимость системы составляет порядка 100 тыс.\$US.
2. Система MESA-K-DEV - более простая (бюджетная) радарная система бокового обзора.  
Стоимость в зависимости от комплектации от \$US 5000 до \$US 10000.



# Коммерциализация результатов ПНИЭР



**Маркетинговая цель: в течение 12 месяцев выйти на российский рынок МБЛА с новым продуктом – комплексной системой беспилотного радарного мониторинга, в том числе – с аппаратами, специальным образом предназначенными для ведения ледовой разведки.**

**Выбор данной стратегии обусловлен рядом факторов:**

- творческие способности команды проекта;
- высокий потенциал фундаментальных исследований;
- быстрые темпы развития рынка;
- тесная кооперация с каналами сбыта.

### 3. Разработка и макетирование модулей ЭО МБРЛЦН



# Достижение заданных значений показателей результативности

Индикаторы		П	Ф
1	Доля исследователей в возрасте до 39 лет в общей численности (не менее)	процентов	49 53,1
2	Объем привлечённых внебюджетных средств	млн.руб	19 19
3	Число патентных заявок, поданных по результатам проекта	единиц	0 0
4	Число публикаций по результатам проекта в научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus или в базе данных "Сеть науки" (WEB of Science)	единиц	0 1
Показатели			
1	Количество аспирантов, принявших участие в работах в течение всего срока	человек	2 8
2	Количество использованных уникальных научных установок	единиц	2 0
3	Количество используемых при проведении исследований и разработок объектов зарубежной инфраструктуры сектора исследований и разработок	единиц	0 0
4	Количество исследователей - исполнителей проекта, результаты работы которых в рамках проекта, опубликованы в научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus или в базе данных "Сеть науки" (WEB of Science).	человек	2 4
5	Количество кандидатов наук-исполнителей проекта, работающих в научной или образовательной организации на полную ставку	человек	4 20
6	Количество мероприятий по демонстрации и популяризации результатов и достижений науки, в которых приняла участие и представила результаты проекта организация - исполнитель проекта	единиц	1 3
7	Количество молодых кандидатов наук-исполнителей проекта, работающих в научной или образовательной организации на полную ставку	человек	0 10
8	Количество центров коллективного пользования научным оборудованием, научное оборудование которых использовалось при проведении исследований и разработок	единиц	1 0
9	Средний возраст исследователей – участников проекта (не более)	лет	45 42,4
10	Число диссертаций, защищенных по результатам проекта	единиц	0 0

# БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ



**Расторгуев Владимир  
Викторович**

**Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский  
университет)  
Доцент, к.т.н.  
Заместитель директора НЦ СРМ МАИ**

## **Контакты**

**Телефон: (+7-499) 158 46 82**

**E-mail: [rast@mai.ru](mailto:rast@mai.ru)**

**Internet: [www.mai.ru](http://www.mai.ru)**