Балтийский государственный технический университет
им. Д.Ф.Устинова «ВОЕНМЕХ»

Кафедра лазерной техники и технологий

Выпускная квалификационная работа

Разработка мобильного метеорологического комплекса всепогодного детектирования параметров атмосферы

Выполнил: Ильин М.Ю., гр. М-004
Руководитель: д.т.н. Борейшо А.С.

Санкт-Петербург
2015 г.

Цели и задачи работы

Цель работы – разработка концепции мобильного комплекса всепогодного детектирования параметров атмосферы, описание требуемых характеристик комплекса и исследование нетипичных стратегий сканирования для разно-частотных измерительных систем, объединенных единым модулем сканирования.

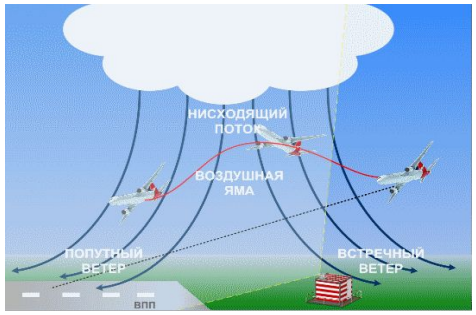
Задачи

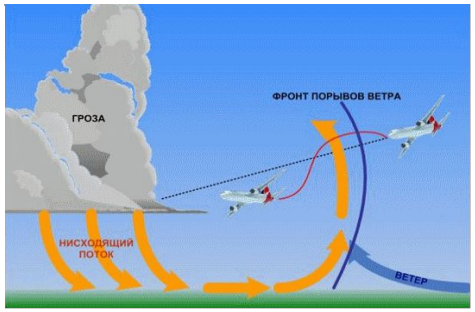
1) Обзор современных методов обнаружения сдвигов ветра
2) Моделирование измерений на разных частотах. Расчет всепогодности
3) Концепция мобильного метеорологического комплекса всепогодного детектирования параметров атмосферы
4) Режимов работы комплекса и их рациональная группировка
5) Проектирование узла транспортной оптики

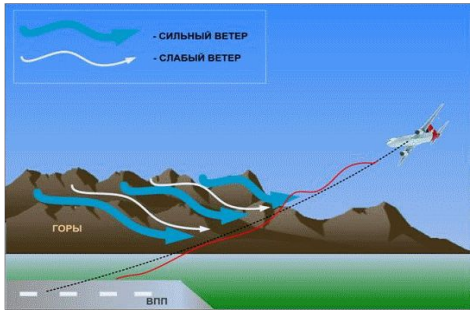
Проблема вихревой безопасности

- На 36-ой сессии Ассамблеи ИКАО в сентябре 2007 г. совет ИКАО постановили, что проблема сдвигов ветра на данный момент является самой серьезной для гражданской авиации

Виды сдвигов







Способы решения

1. Контактный способ

Метеомачта

Шар-зонд

2. Дистанционный способ

Ветровой

Обзор ветровых профилемеров

Доплеровские радары

X-радар

+: большие дальности
работа в пасмурную/ дождливую погоду
–: пропуск приземного слоя
высокий уровень помех
не работают в ясную погоду

Акустические системы ветрового зондирования

+: высокая разрешающая способность
–: высоты измерений до 1 км
высокий уровень помех
сильное затухание

Доплеровские лидары

+: высокая разрешающая способность
работа в ясную погоду
–: не работают в туманах, осадках

Результат объединения нескольких локаторов

X-радар

+

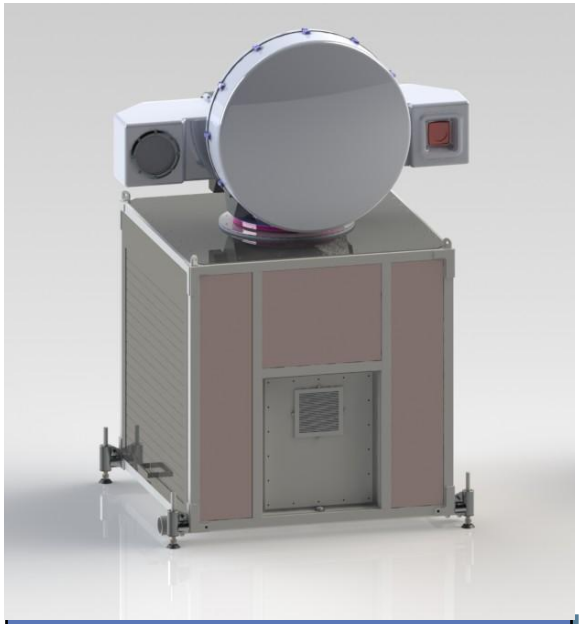
Ka-радар

+

Лидар

=

Всепогодный комплекс



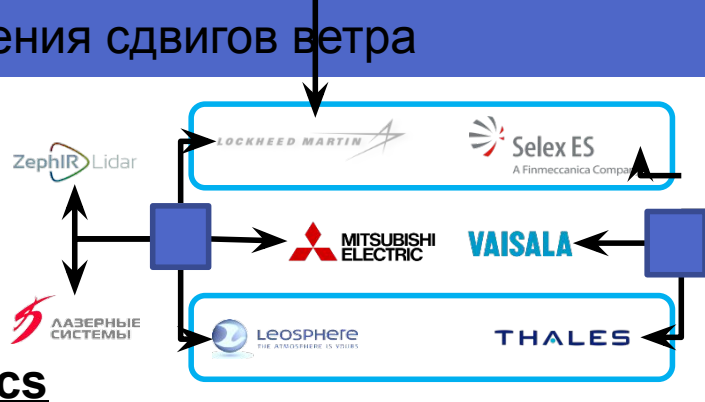
ЛИРА

Исследования
авианавигация, метеорология и экология

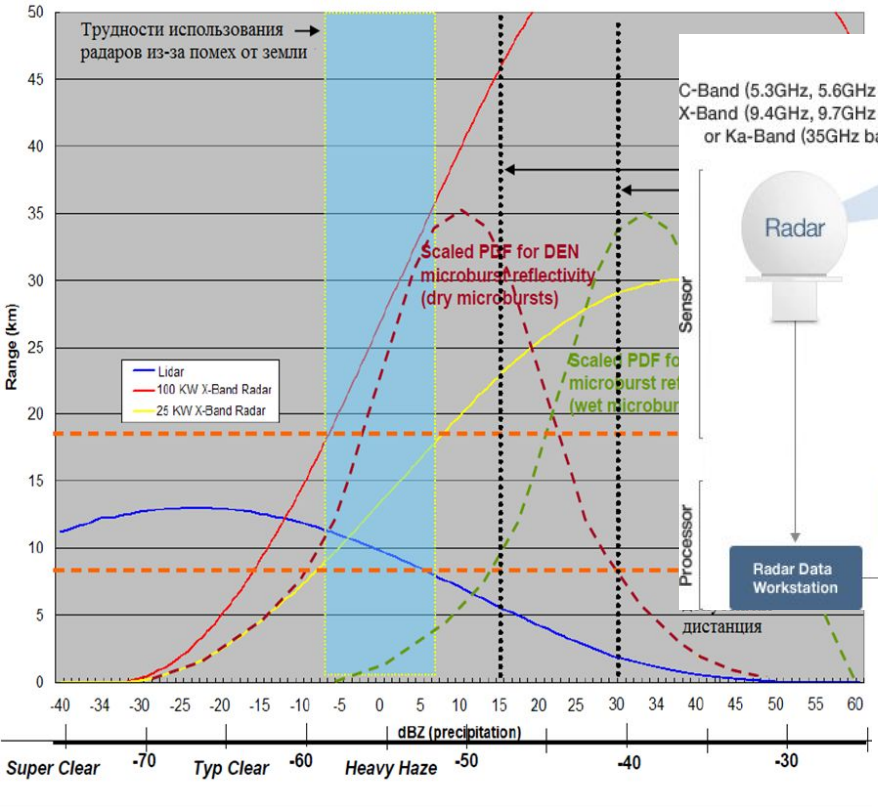
Обеспечение мет. безопасности в аэропорту
Система шторм-оповещения, допплеровских радар и лидар

Энергетика
Оптимизация ветряных ЭС

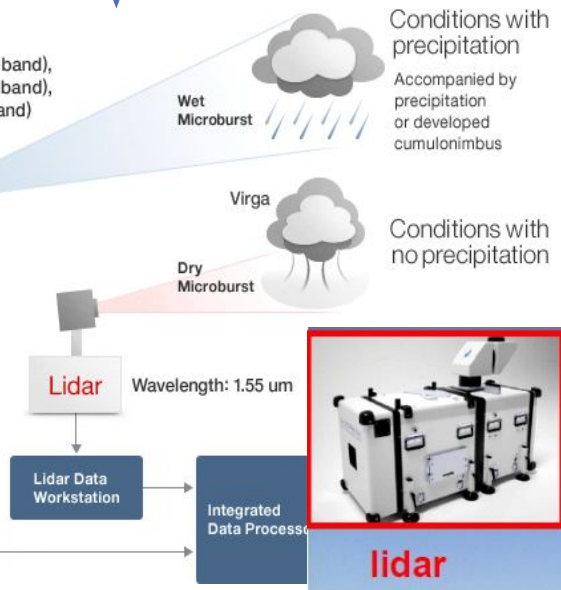
Аналоги



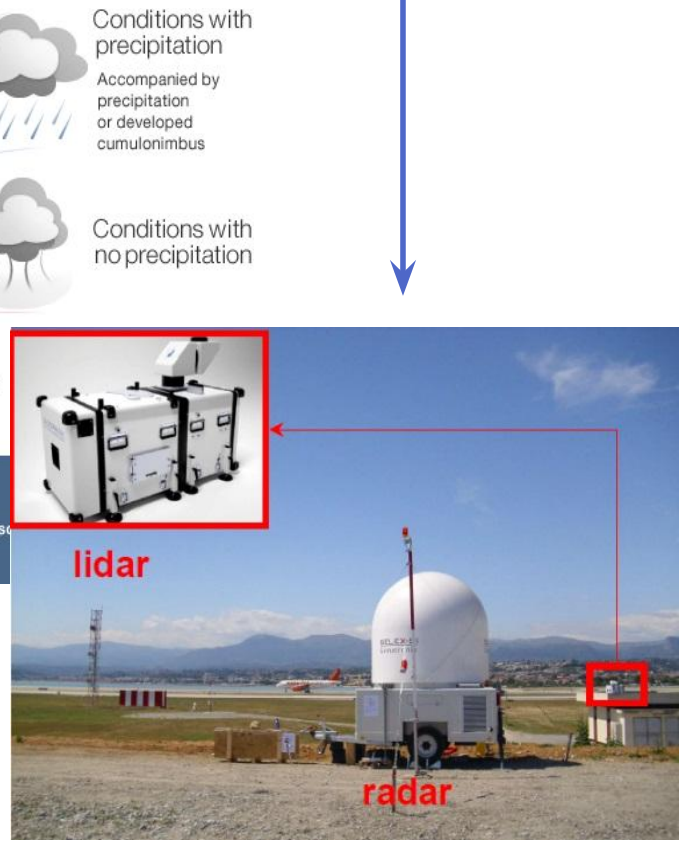
1. Концерн Lockheed Martin



2. Mitsubishi electronics



3. Компания Leosphere



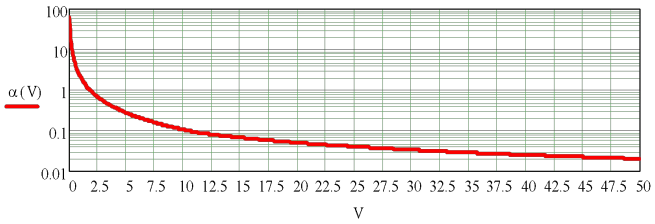
Исследования взаимодействия лидара и X радара в компании Lockheed Martin
Синий – лидар «Wind Tracer», Желтый – X радар

Расчет всепогодности системы

ИК канал

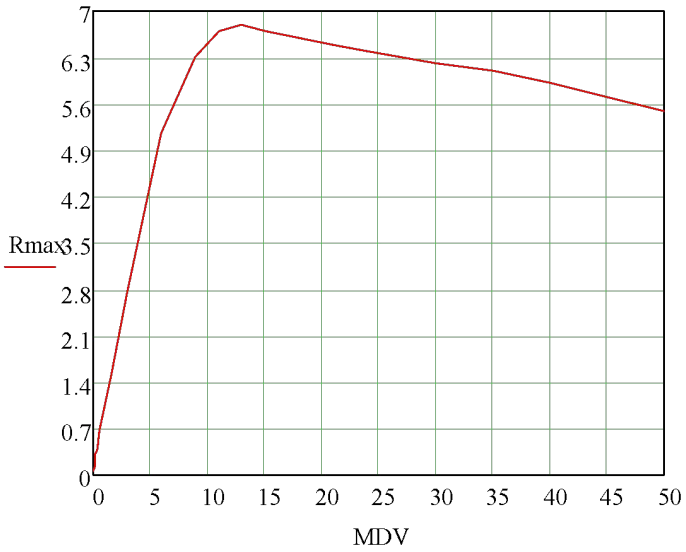
Соотношение коэф. ослабления и МДВ

$$\alpha(V) = \frac{3.91}{MDV} * \frac{550}{\lambda}^{\min[1,3\ ;\ 0.588*MDV^{1/3}]}$$



Основное лидарное уравнение

$$Ps(R0) := K \cdot E \cdot c \cdot \beta(R0) \cdot \frac{\pi \cdot D \cdot \min(D, r0(R0))}{4 \cdot R0^2} \cdot g \cdot e^{(-2 \cdot \alpha(Vr) \cdot \alpha H(R0) \cdot R0)}$$



X и Ka канал

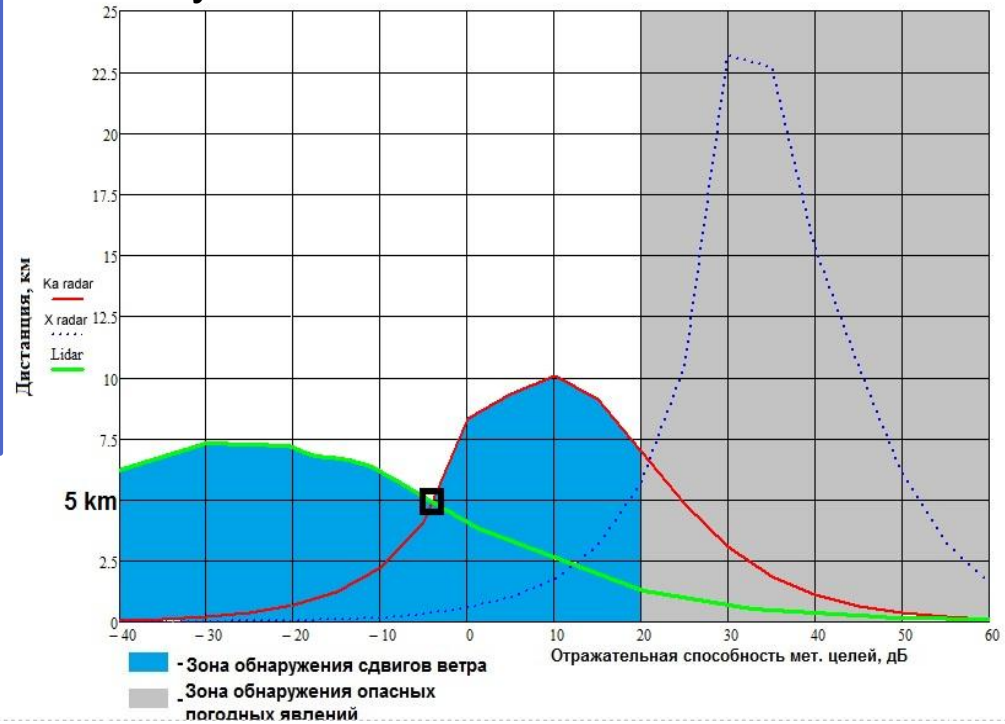
Основное радиолокационное уравнение

$$Pr(R) := \frac{\pi^6 \cdot Pt2 \cdot D2^2 \cdot h2}{48} \cdot \frac{1}{(R)^2} \cdot \frac{1}{\lambda 2^4} \cdot SumND6_0 \cdot WaterCoeff \cdot 10^{-0.2 \cdot \frac{R}{10^6} \cdot \alpha t2_0}$$

Эмпирическое отношение между МДВ и dBZ

$$dBZ1 := -13.62 \ln(MDV) + 10.80$$

Результат



2. Моделирование измерений на разных частотах. Расчет всепогодности

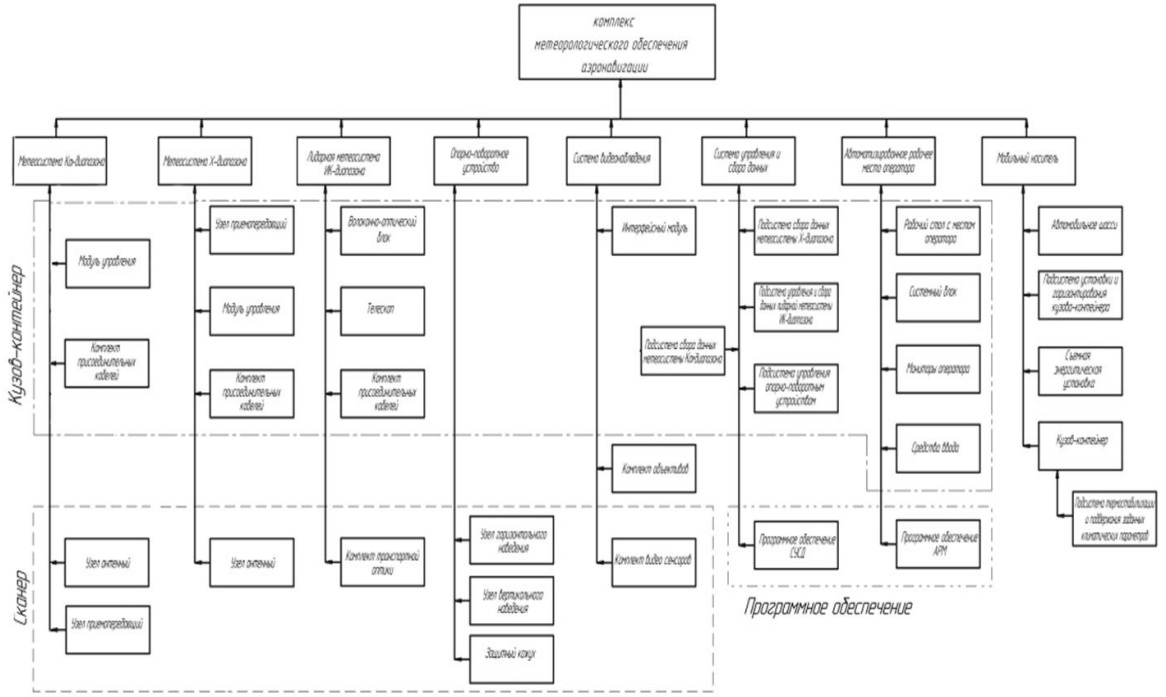
Характеристики проектируемого метеокомплекса

№	Наименование характеристики	Лира	Лира -2b
1.	Минимальная дистанция измерения скорости ветра	200 м	200 м
	Максимальная дистанция измерения скорости ветра при наихудших погодных условиях для комплекса	5000 м	5000 м
2.	ИК канал		
2.1	Максимальная дистанция измерения скорости ветра (отношение сигнал-шум тройка) при горизонтальной дальности видимости не менее 15 км	6 км	6 км
2.2	Максимальное расстояние обнаружения параметров облачности, не менее	15 км	15 км
2.3	Пространственное разрешение	60-120 м	60-120 м
2.4	Диапазон измерений скоростей ветра	±60 м/с	±60 м/с
2.5	Погрешность измерения скорости ветра	±1 м/с	±1 м/с
3	X канал		
3.1	Максимальное расстояние обнаружения гроз, (ливней, града, шквала), не менее	50 км	
3.2	Максимальное расстояние определение скорости ветра	25 км	
3.3	Пространственное разрешение	150-600 м	
3.4	Диапазон измерений скоростей ветра	±45 м/с	
3.5	Погрешность измерения скорости ветра	±1 м/с	
4	Ка канал		
4.1	Максимальное расстояние обнаружения параметров облачности, не менее	15 км	15 км
4.2	Максимальное расстояние определение скорости ветра	10 км	10 км
4.3	Пространственное разрешение	60-250 м	60-250 м
4.4	Диапазон измерений скоростей ветра	±45 м/с	±45 м/с
4.5	Погрешность измерения скорости ветра	±1 м/с	±1 м/с
5.	Сканирующая система		
5.1	Вертикальное направление (угол места) [2]	0° … 90°	0° … 90°
5.2	Горизонтальное направление (азимут) [2]	0° … 360°	0° … 360°
5.3	Максимальная скорость сканирования (установки)	40 °/с	40 °/с
5.4	Максимальное ускорение	5°/с^2	5°/с^2
5.5	Точность наведения на подвижный объект	±30’	±30’
6.	Габаритные размеры (максимальные)	1300x1700x2200 мм^3	1300x1700x2200 мм^3
7.	Вес комплекса (максимальный)	700 кг	600 кг

Характеристики прием-передающих систем проектируемого метеокомплекса.

	X-радар	Ka-радар	ИК-лидар	
Тип передатчика	Магнетрон	Клистрон	Волоконный лазер	Тип лазера
Частота, МГц	9345±30	37.5±0,1	1560±15	Длина волны, нм
Пиковая мощность, Вт	100	400-5000	100	Энергия в импульсе, мкДж
Длительность импульса, мкс	1 - 10	0.2-0.8	0.4-0.8	Длительность импульса, мкс
Частота повторения импульсов, Гц	500-2000	500-3000	25-10	Частота повторения импульсов, КГц
Тип антенны	ВЩР	ВЩР	Телескоп с двухкоординатным сканером	Тип телескопа
Диаметр антенны, мм	760	250	150	Диаметр луча, мм
Уровень боковых лепестков, дБ	-25	-27	-	
Коэффициент усиления антенны, дБ	35	≥38.5	≥35	CMRR , дБ
Тип приемника	dual-channel digital	dual-channel digital	Balanced Amplified Photodetectors	Тип приемника
Динамический диапазон, дБ	≥65	> 70	-	
Коэффициент шума, дБ	4	4.5	3.5	NEP, pW/√Hz

Схема деления трехдиапазонного комплекса



3 –х диапазонный комплекс «ЛИРА»

Наименования	Характеристики
Дистанция определения скорости ветра	от 60 до 22 000 м
Максимальная дистанция определения погодных условий	от 35 000 м
Диапазон измерений скорости ветра	от 1 до45 м/с
Время обновления информации	от 5 до 300 сек (зависит от режима сканирования)
Пространственное разрешение	от 50 м
Состав	X-радар, Ка-радар, ИК лидар.
Режимы сканирования	VAD, DBS, RHI, PPI.
Вес	400 кг+ вес автомобиля
Габариты	1200x1500x2100 мм (без автомобиля)

2 –х диапазонный комплекс «ЛИРА» (без системы шторм-оповещения)

Наименования	Характеристики
Дистанция определения скорости ветра	от 60 до 5000 м в любую погоду
Диапазон измерений скорости ветра	от1 до 45 м /с
Время обновления информации	от 5 до 300 сек (зависит от режима сканирования)
Пространственное разрешение	от 50 м
Состав	Ка-радар, ИК лидар.
Режимы сканирования	VAD, DBS, RHI, PPI.
Вес	200 кг
Габариты	1200x1800 мм

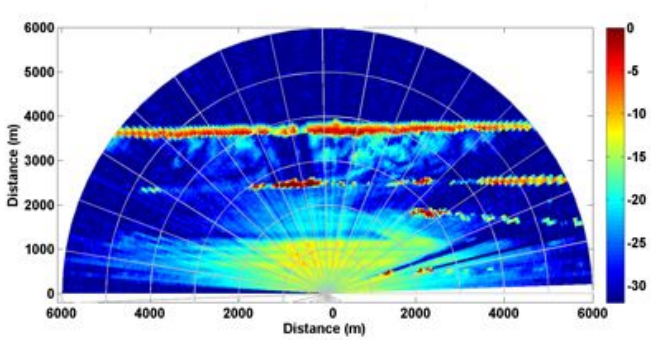
Объединение проступающих данных

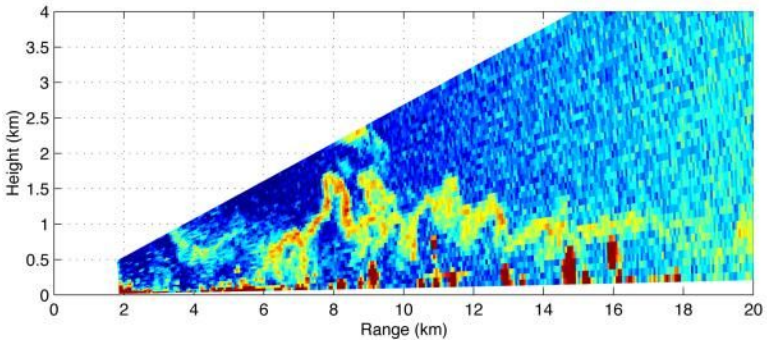
Разные режимы сканирования:
VAD, DBS, RHI, PPI

Максимальный период обновления метеорологической информации = 5 мин.

Характерные углы места сканирования лидара– 1-86°
Место установки –
геометрический центр ВПП.

Характерные углы места сканирования радара – 3-56°
Место установки –
за территорией аэропорта.





Способ подбора рациональной стратегии сканирования

Шаг 1.

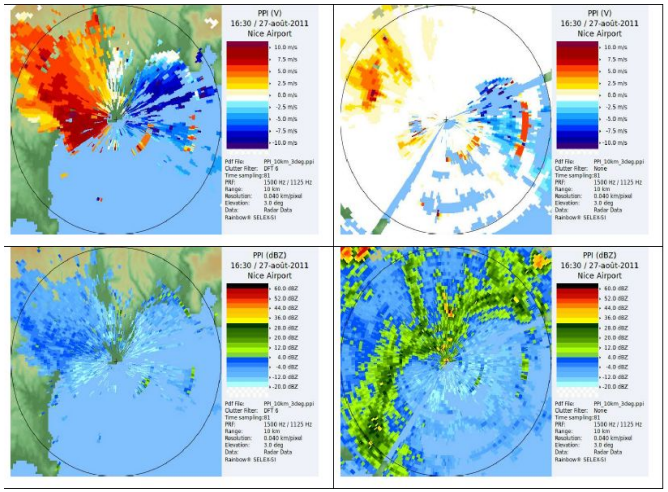
- Подбор сканирующих углов
- Определение оптимальных ЧПИ
- Решение об использовании медианных фильтров

Шаг 2.

- Определение скорости вращения антенны
- Решение об использовании Доплер и эхо фильтров

Шаг 3.

- Анализ данных на коротких дистанциях в различных погодных усл.
- Окончательный выбор последовательности режимов сканирования

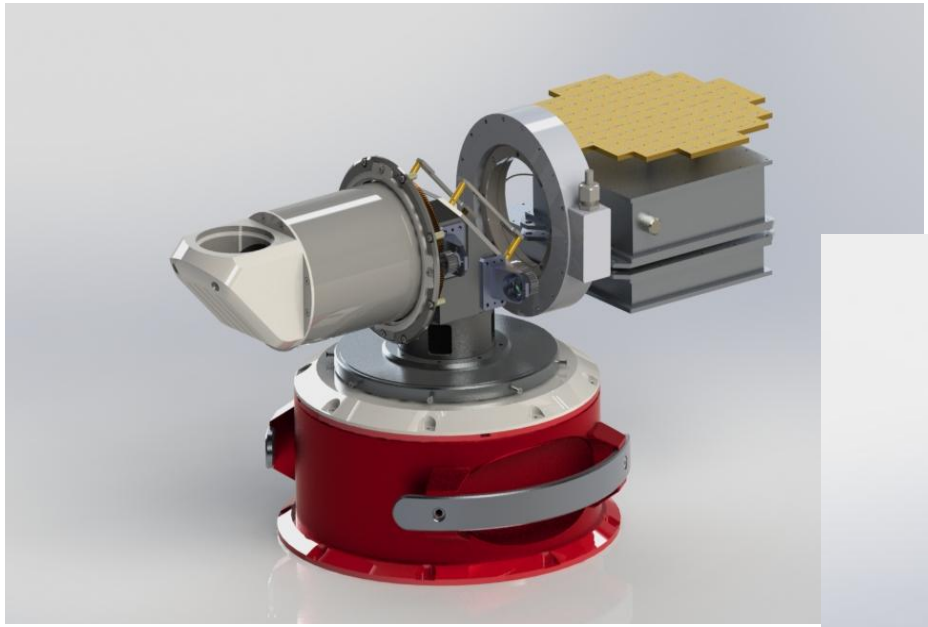


Результат подбора

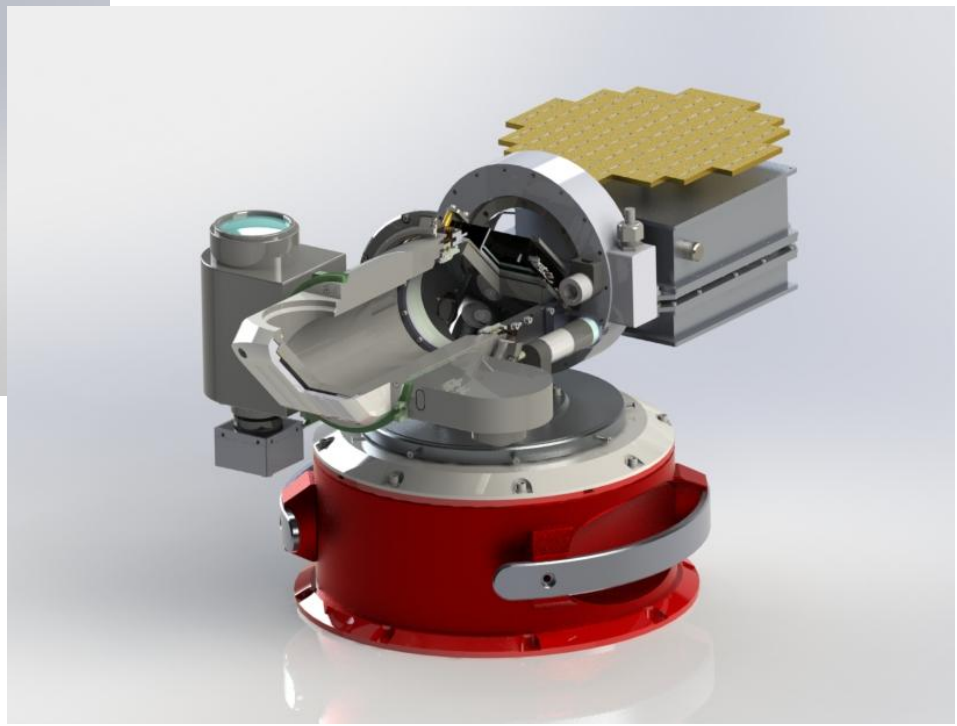
№	ROT, °/с	Зенит, °	Азимут, °	ЧПИ1 Гц	ЧПИ2 Гц	Найквист м/с	Угл. разреш,°	Макс. дист. км
PHI	6	1-179	44	2000	1333	32.1	0.3	75
1	16	1	/	2000	1333	32.1	1	75
2	16	2	/	2000	1333	32.1	1	75
3	16	3	/	2000	1333	32.1	1	75
4	16	7	/	2000	1333	32.1	1	75
5	16	12	/	2000	1333	32.1	1	75
6	16	18	/	2000	1333	32.1	1	75
7	16	25	/	2000	1333	32.1	1	75
8	16	35	/	2000	1333	32.1	1	75
9	16	3	/	2000	1333	32.1	1	75
10	16	50	/	2000	1333	32.1	1	75

Эскизная разработка модуля сканирования на базе WINDEX-5000

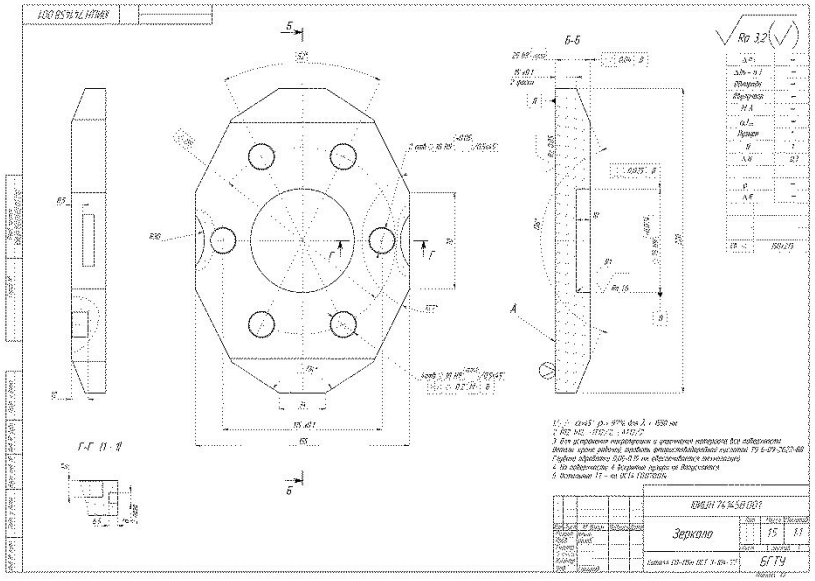
Вариант 1.

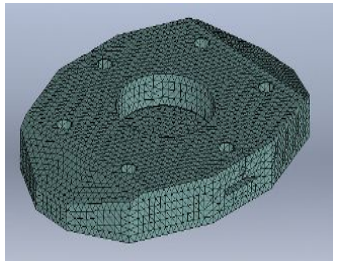


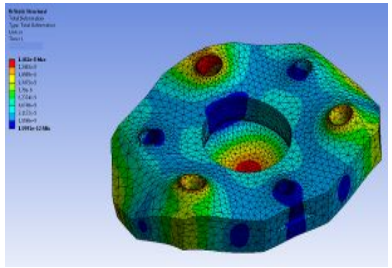
Вариант 2.

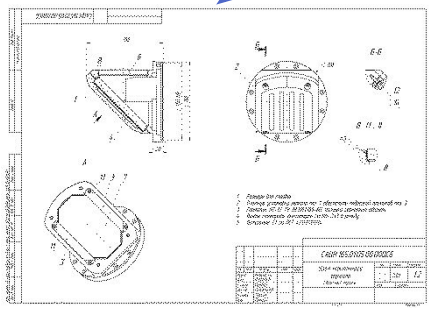


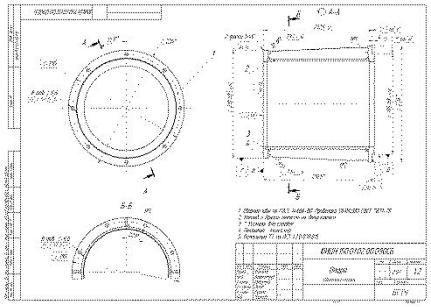
Проектирование узла транспортной оптики

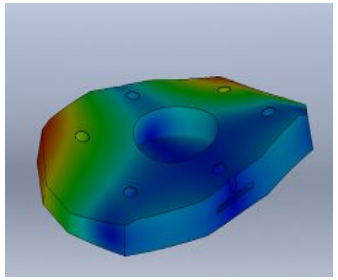


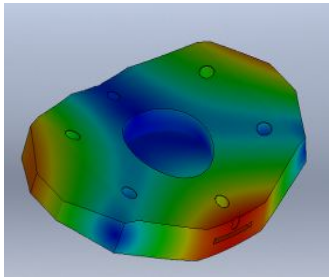






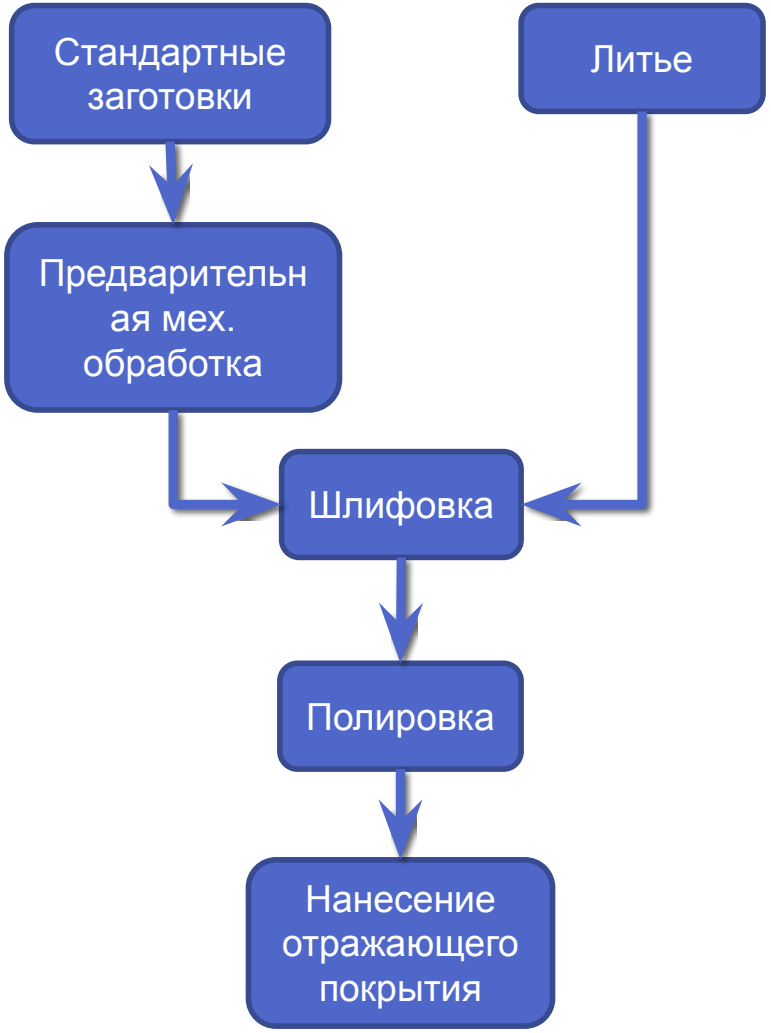






Технологический раздел

Схема изготовления зеркала



Маршрутная карта изготовления зеркала

Операции	Содержание операции
Распиливание	Наклеивание или сжатие исходных заготовок. Станок типа ПК-400. Обрабатывающий инструмент – алмазный отрезной круг
Грубое шлифование плоскостей	Наклеивание или свободная установка заготовок в металлическом сепараторе. Станок типа ПМШ-100. Обрабатывающий инструмент – чугунная планшайба.
Грубое шлифование боковых поверхностей	Склеивание заготовок в столбик и обработка вручную. Обрабатывающий инструмент – чугунная планшайба.
Круглое шлифование боковых поверхностей	Склеивание заготовок в столбик или соединение через слой бумаги в центрах. Круглошлифовальный станок типа 3В-10. Обрабатывающий инструмент – алмазный плоский круг
Фрезерование пазов	Сжатие заготовки в приспособлении. Горизонтальнофрезерный станок типа 6Н82. Обрабатывающий инструмент – алмазный круг фасонного профиля
Сверление отверстий	Наклеивание заготовок или сжатие в приспособлении сверлильного станка. Обрабатывающий инструмент – стальное зубчатое сверло, шлифовальник. Шлифовальный порошок
Тонкое шлифование и полирование рабочих поверхностей.	Наклеивание (эластичное) заготовок на приспособление от одной установочной базы. Станок типа ШП. Обрабатывающий инструмент – металлическая планшайба и смоляной полировальник. Микропорошок М20, М10 или М7
Доводка плоскостей, параллельность сторон и углов	Свободная усадка заготовок в стеклянном сепараторе. Станок типа ПД. Обрабатывающий инструмент – смоляной полировальник. Абразив – полирит. Средства контроля – интерферометр, автоколлиматор.
Нанесение отражающего покрытия	Свободная усадка заготовок на подложку. Станко типа ВУ. Напыляющий материал – золото. Средства контроля – интерферометр, автоколлиматор.

Расчет затрат на сборку и проведение исследований

Расчет себестоимости :

$$C = C_{Р} + C_{Т.К.} + C_{С.Н.} + C_{А.С.} + C_{ПР.}$$

$C_{Р}$ – заработная плата (основная и дополнительная) работников;

$C_{Т.К.}$ – затраты на технологические компоненты лидарной системы;

$C_{С.Н.}$ – отчисления на социальные нужды;

$C_{А.С.}$ – амортизация оборудования;

$C_{ПР.}$ – прочие расходы.

Общая смета затрат на разработку макетного образца

№	Наименование	Сумма, тыс. руб.	%
1	Заработная плата персонала	7 986	36,83
2	Страховые взносы	2 395,8	11,05
3	Материальные затраты (электроэнергия, вспомогательные материалы)	659,88	3,05
4	Технологические компоненты	9 682	44,65
5	Прочее	958,32	4,42
	ИТОГО:	21 682	100

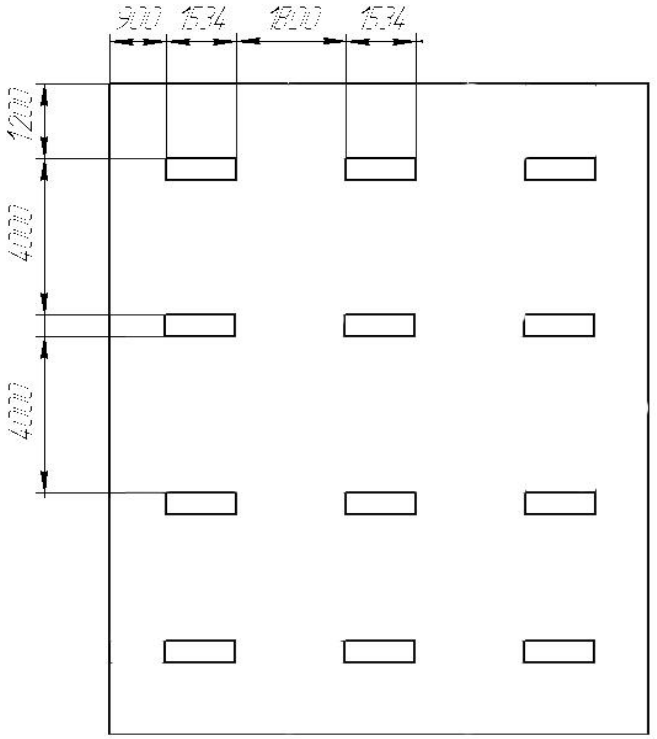
Затраты на сборку комплекса «ЛИРА» 2b и на проведение с ее помощью исследований в течение 1 года составляют 21 682 000 рублей.

Охрана труда и окружающей среды

Класс опасности лазерного излучения

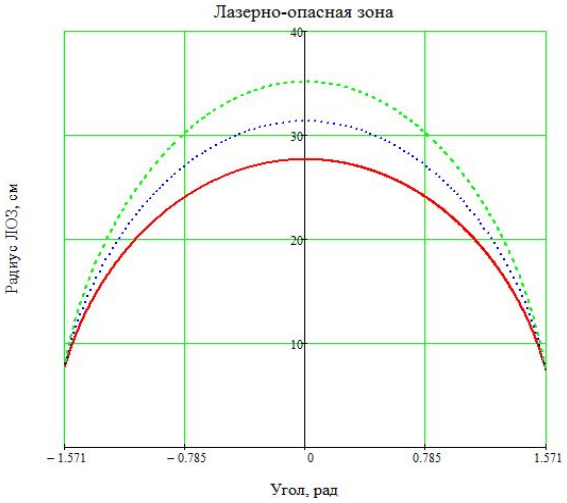
Режим	Средняя мощность	Класс опасности
Импульсный	25 мВт	I
	50 мВт	I

Расчет искусственного освещения



Расчет границ лазерно-опасной зоны (запуск уст.)

(для Er волоконного лазера E=100мкДж и τимп=400 нс)



Мероприятия по обеспечению профилактики защиты от лазерного излучения

Пожарная профилактика помещения

В соответствии со СП 12.13130. 2009 и НПБ 105-03:

- Класс пожара – Е
- Категория помещения – Г (S1 ≥100 м ^{2})
- Первичные средства: - (ОП) – 5л/4кг – 2 шт;
  - (ОУ) – 5л/3кг – 2 шт;

Апробация работы

1. Статья в сборнике XXIX Симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред»
«Лидарно-радиолокационный комплекс для определения профиля ветра в пограничном слое атмосферы» Г.Г. Щукин, А.С. Борейшо, В.Ю. Жуков, М.Ю. Ильин

2. Доклад на 6-ой Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы радиофизики»
«Лидарно-радиолокационный метеорологический комплекс» Г.Г. Щукин, А.С. Борейшо, В.Ю. Жуков, М.Ю. Ильин, М.А. Коняев

3. Заявка на патент РФ «Лидарный двухдиапазонный комплекс метеорологического обеспечения навигации»

Выводы

- Проведен обзор современных методов обнаружения сдвигов ветра
- Произведено моделирование измерений на разных частотах. Рассчитаны характеристики приемо-передатчиков разных каналов.
- Разработана концепция мобильного метеорологического комплекса всепогодного детектирования параметров атмосферы
- Проведено исследование режимов работы комплекса и их рациональная группировка
- Спроектирован узел транспортной оптики

Благодарю за внимание!