**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

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

**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  | ДОПУСКАЕТСЯ К ЗАЩИТЕ: | | | | | | | | | | | | | | |  | | |
| Факультет | И | |  | Заведующий кафедрой | | | | | |  | | | | И1 | | | | | | |  |
|  | индекс факультета | |  |  | | | | |  | | | | | | индекс кафедры | | |  | | | |
| Выпускающая кафедра | И1 | |  | | Борейшо А.С. | | |  | | | |  | | | | | | | |  | |
|  | индекс кафедры | |  | | Фамилия ИО | |  | | | | подпись | | | | | | | | | | |
| Группа | И1М31 | |  | « 07» | | июня | | | | | | | | | | 2019г. | | |  | | |
|  | индекс группы | |  |  | |  | | | | | | |  | | | |  | | | | |

**ОТЧЕТ**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **о прохождении** | преддипломной | | | | | | | | | | | | | | | **практики** | | | | | | |
| наименование практики | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |
| Маслова Льва Юрьевича | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |
| Фамилия, имя, отчество обучающегося | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |
| **Обучающегося по**  **направлению/специальности** | | | | | 12.04.05 | | |  | | Лазерная техника и | | | | | | | | | | | |  |
| нужное подчеркнуть | | | | | код | | | |  | | полное наименование направления/специальности | | | | | | |  | | | | |
| лазерные технологии | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |
| **Руководитель практики от БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова:** | | | | | | Киселев И.А., к.т.н., доцент | | | | | | | | | | | | | | |  | |
|  | | Фамилия ИО, ученая степень, ученое звание, должность | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | |
|  | |  | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | |
|  | |  | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | |
| **Срок прохождения практики:** | | | с | 27.03.2019 | | | | | | | | г. |  | по | 07.06.2019 | | г. | | |  | | |
| **Должность обучающегося на практике:** | | | | | | | магистрант | | | | | | | | | | | | | |  | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Руководитель практики от БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова:** | | | |  | |  | |  | | |  | | | |
|  | |  | | Киселев И.А. | |  | |  | |  | | |  | |
| Подпись | |  | | Фамилия ИО | |  | |  | |  | | |  | |
| « 07 » | июня |  | 2019 г. | |  | |  | |  |  | |  | |  |

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2019 г.

# Содержание

Содержание 2

Введение 3

Дневник практики 4

1. Обзор рынка ветровых лидарных систем 5

1.1 Leosphere 5

1.2 Lockheed Martin 8

1.3 Mitsubishi Electric 10

1.4 ZX Lidars 12

1.5 HALO Photonics 15

1.6 Windex- 5000 16

1.7 Сравнительный анализ рынка лидарных измерителей скорости ветра 19

Заключение 21

# Введение

Преддипломная практика является обязательным элементом учебного процесса в вузе. Она предшествует написанию магистерской диссертации и является логической завершающей ступенью обучения после прохождения основных теоретических дисциплин.

Целью преддипломной практики является закрепление теоретических знаний и сбор материала для выполнения магистерской диссертации (МД).

Задачи преддипломной практики:

* изучение стандартов для оформления магистерской диссертации;
* анализ рынка когерентных доплеровских ветровых лидаров с целью выявления наиболее эффективных систем в данной отрасли, с дальнейшим исследованием последних на предмет выявления характеристик, влияющих на общую эффективность данных изделий.

# 

# Дневник практики

| **Дата** | **Задание** | **Ход выполнения** | **Выводы** |
| --- | --- | --- | --- |
| 27.03.2019–  8.04.2019 | Сбор информации для выполнения магистерской диссертации. | Обзор мировых производителей ветровых доплеровских лидаров | Был выполнен обзор мировых производителей ветровых доплеровских лидаров |
| 09.04.2019–27.05.2019 | Анализ рынка когерентных доплеровских ветровых лидаров с целью выявления наиболее эффективных систем в данной отрасли, с дальнейшим исследованием последних на предмет выявления характеристик, влияющих на общую эффективность данных изделий | Проведение анализа рынка ветровых лидаров с целью выявить параметры данных изделий, так или иначе влияющих на эффективность измерения радиальной проекции скорости ветрового потока. | Проведен анализ рынка ветровых лидаров с целью выявить параметры данных изделий, так или иначе влияющих на эффективность измерения радиальной проекции скорости ветрового потока. Выявлены параметры ветрового лидара, влияющие на эффективность измерения радиальной проекции скорости ветрового потока. |
| 28.05.2018–03.06.2018 | Подготовить отчет по преддипломной  практике | Оформление отчет по преддипломной  практике | Оформлен отчет по преддипломной  практике |

Магистрант \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Маслов Л.Ю.

Руководитель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Киселев И.А

1. **ОБЗОР РЫНКА ВЕТРОВЫХ ЛИДАРНЫХ СИСТЕМ**

На текущий момент на рынке ветровых лидарных систем представлено порядка 10 компаний, которые серийно выпускают свои устройства. Каждое из производимых устройств имеет как свои преимущества, так и недостатки. В данном разделе приведено краткое описание лидаров каждой из компаний. Это необходимо для того, чтобы оценить текущее состояние отрасли, выявить направления и пути развития. Так же проанализированы основные параметры данных лидарных систем, на основании чего сделаны выводы о том, какие из параметров ветрового доплеровского лидара имеют тенденции к развитию.

* 1. Leosphere

Компания LEOSPHERE (Орсе, Франция) основана в 2004 году и на сегодняшний день является одним из мировых лидеров по производству ветровых доплеровских лидаров. Компания выпустила более 1000 единиц лидаров, которые эксплуатируются в более чем 50-ти странах мира. Наиболее передовым устройством из производимых данной компанией в настоящее время является ветровой лидар Windcube 400S. Данный прибор позволяет проводить измерения в 4-х основных режимах:

* PPI (Plan Position Indicator) – сканирование с постоянным углом места (как правило < 10º) во всем диапазоне угла азимута (0 - 360º).
* RHI (Range Height indicator) – сканирование с постоянным углом азимута в вертикальной плоскости (угол места изменяется в пределах 0 -180 º).
* VAD (Velocity Azimuth Display) – режим измерения горизонтального профиля ветра, для чего измерения проводятся при фиксированном угле места в нескольких азимутальных углах. Полученные данные обрабатываются специальным алгоритмом для извлечения требуемого профиля ветра.
* LOS (Line of Sight) –измерение с фиксированными углами места и азимута.

Лидар имеет сравнительно небольшие размеры и поставляется в специальном многоразовом транспортировочном кейсе, что делает его достаточно мобильным. Данные, получаемые с лидара, в режиме реального времени поступают на компьютер оператора, где после обработки могут быть отображены в различных режимах. Лидар позволяет не только снимать различные профили ветра, производить 3-D сканирование атмосферы, но также детектировать опасные метеоявления. Например, удается обнаруживать образование и динамику вихревых следов во время взлета и посадки тяжелых, средних и малых самолетов на дистанциях до 800 метров. Внешний вид изделия представлен на рисунке 1.1.



*Рис. 1.1 – Ветровой лидар WINDCUBE 400S*

Основные характеристики данного лидара сведены в таблице 1

Таблица 1 Технические характеристики Windcube 400S

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | WINDCUBE 400S |
| Режим работы | Импульсный |
| Длинна волны | 1545 нм |
| Частота следования импульсов | 10 кГц |
| Длительность импульса | 800 нс |
| Энергия в импульсе | 160 мкДж |
| Апертура приёмного телескопа | 120 мм |
| Время усреднения одного измерения | От 0.5 до 2 с |
| Максимальная дальность измерения | 15 км |
| Пространственное разрешение | 200 м |
| Диапазон измеряемых скоростей | От -30 м/с до +30 м/с |
| Скорость кругового скинирования | От 1 до 6˚ /с |
| Размер, ШхГхВ | 197х244х249 см |

Одним из главных преимуществ данного лидара является использование волоконных компонентов (лазер, усилитель, и т.д.), в результате чего снижаются габариты, масса и надежность данного устройства.

1.2 Lockheed Martin

Lockheed Martin Corporation — американская военно-промышленная корпорация, специализирующаяся в области авиастроения, авиакосмической техники, судостроения, автоматизации почтовых служб и аэропортовой инфраструктуры и логистики. Ветровыми доплеровскими лидарами занимается подразделение, расположенное в Колорадо, США. Лидары данной компании носят название «WindTracer» и, в общем, неизменны уже порядка 15 лет. Внешний вид лидара представлен на рисунке 1.2.



*Рис. 1.2 – Ветровой лидар WindTracer*

Первый WindTracer был установлен в 2002 году в международном аэропорту Гонкога, и после его успешной эксплуатации данные лидары появились во многих крупных аэропортах Азии, северной Америки и Европы. Основные технические характеристики данного устройства сведены в таблице 2.

Таблица 2 Технические характеристики лидара WindTracer

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | WindTracer |
| Режим работы | Импульсный |
| Длинна волны | 1617 нм |
| Частота следования импульсов | 750 Гц |
| Длительность импульса | 250 нс |
| Энергия в импульсе | 2.5 мДж |
| Апертура приёмного телескопа | 120 мм |
| Диаметр излучения на выходе телескопа | 96 мм по уровню |
| Максимальная дальность измерения | От 300 м до 30 км |
| Пространственное разрешение | 100 м |
| Диапазон измеряемых скоростей | От -40 м/с до +40 м/с |
| Точность позиционирования сканера | Угол места ±0,004˚  Угол азимута ±0,014˚ |
| Разрешение сканера | 0,001˚ |
| Размер, ШхГхВ | 197х244х249 см |
| Вес | 2550 кг |

Данный лидар продвигается компанией как эффективное средство детектирования опасных метеообразований, таких как низковысотный сдвиг ветра, а также предназначяется для обеспечения бесопасных интервалов движения воздушных судов путем точного измерения размеров вихревых потоков, образующихся за воздушными судами в процессе их взлета или посадки. Данный лидар поддерживает основные четыре сценария измерений (PPI, RHI, VAD, LOS), что позволяет ему не уступать конкурентам в функциональности. Из преимуществ данного прибора можно выделить большую дальность детектирования при хорошем пространственном разрешении, что несомненно даёт преимущество перед конкурентами. Одним из основных недостатков этого лидара является его большие габариты и вес что делает трудоёмким его транспортировку, например для тех. обслуживания или ремонта.

1.3 Mitsubishi Electric

Mitsubishi Electric Corporation — японская компания по производству и продаже широкого спектра электрического и электротехнического оборудования. Одним из направлений деятельности данной корпорации является производство метеорологического оборудования. На протяжении более чем 50 лет данное подразделение производит погодные радары L, C, X и Ka диапазонов. В последние 20 лет компания также сосредоточила своё внимание на производстве ветровых лидаров, в чем немало преуспела. Основная линейка производимых устройств состоит из когерентных доплеровских лидаров малых дальностей (DIABREZZA\_W), средних дальностей (DIABREZZA\_S) и больших дальностей (DIABREZZA\_А), а также лидарные системы специального назначения. Наиболее передовым из всей линейки является «DIABREZZA\_А» - он является прямым конкурентом лидару WindTracer от Lockheed Martin. Основные характеристики данного лидара представлены в таблице 3

Таблица 3 Технические характеристики Windcube 400S

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | DIABREZZA\_А |
| Режим работы | Импульсный |
| Длинна волны | 1550 нм |
| Частота следования импульсов | 1 кГц |
| Длительность импульса | 400 нс |
| Энергия в импульсе | 3 мДж |
| Апертура приёмного телескопа | 100 мм |
| Максимальная дальность измерения | 35 км |

Из преимуществ данного лидара по сравнению с главным конкурентом можно выделить большую энергию импульса, что позволило увеличить максимальную дальность детектирования. Лазерный излучатель лидара построен на основе схемы задающий полупроводниковый лазер – генератор и синхронизированный с ним оптоволоконный усилитель мощности. Использование в усилителе специального легированного волокна с увеличенным диаметром сердцевины позволяет получить выходные энергии импульса более 2,5 мДж. Использование импульсного излучения позволяет варьировать количество накопления данных, тем самым увеличивая дальность детектирования. Программное обеспечение управления сканером позволяет работать во всевозможных режимах, PPI, RHI, VAD, DBS.

Внешний вид изделия представлен на рисунке 1.3



*Рис. 1.3 – Ветровой лидар DIABREZZA\_А*

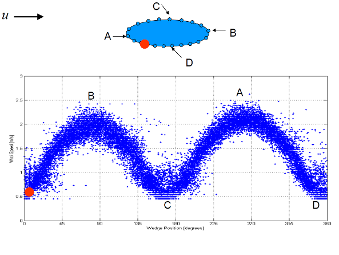
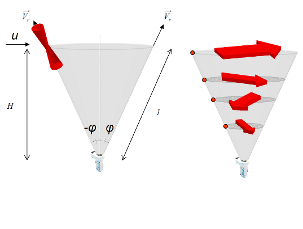
1.4 ZX Lidars

Английская компания, также известная под названием Zephir Ltd, выпустила свой первый лидар ZephIR 150 в 2006 году и с тех пор надёжно закрепилась на рынке ветровых лидарных устройств. На сегодняшний день компания в своей линейке имеет 3 непрерывных доплеровских ветровых лидара, каждый из которых предназначен для проведения измерения профиля ветра непосредственно на так называемых «ветровых фермах» - местах установки ветрогенераторов. Как было сказано выше, это лидар на основе непрерывного лазера, излучающего в безопасном диапазоне для глаз на длине волны 1.57 мкм и изменяющим высоту измерения перефокусировкой оптической системы. Внешний вид устройств ZephIR 300, ZephIR 300 М и ZephIR DM представлен на рисунке 1.4



*Рис. 1.4 – Ветровые лидары компании ZX Lidars*

Принцип работы данных лидаров следующий. Пять высот измерения полного вектора скорости ветра могут быть выбраны. Сканирование по кругу на каждой высоте осуществляется в течение 3 секунд, после окончания сканирования происходит изменение фокусного расстояния в заданной последовательности. Лазерный луч выводится в атмосферу с помощью постоянно вращающейся призмы, отклоняющей ось луча на 30° относительно вертикали. Геометрия и способ сканирования показаны на рисунке 1.5. Призма вращается со скоростью 1 об/с. Обратно рассеянное излучение смешивается с излучением локального осциллятора и оцифровывается с частотой 100 МГц. Встроенный промышленный компьютер способен в режиме реального времени трансформировать получаемую информацию в блоки по 512 отсчетов АЦП и считать FFT спектр, 4000 спектров усредняется для получения одного бесшумового спектра, содержащего доплеровский сдвиг, вызванный радиальной скоростью ветра. Методом поиска центра масс вычисляется значение скорости в одной точке, таким образом, формируется массив из 50 скоростей угловым разрешением по азимутальному углу равным 360°/50=7.2°.[]



*Рисунок 1.5 – Геометрия и способ сканирования лидара*

Основные характеристики лидара ZephIR 300 приведены в таблице 4

Таблица 4 Технические характеристики ZephIR 300

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | ZephIR 300 |
| Режим работы | Непрерывный |
| Длинна волны | 1570 нм |
| Дальность измерения, м | 10 – 150 |
| Угол раствора конуса, º | 30 |
| Количество высот измерения | 5 |
| Пространственное разрешение | 1м. - h= 20 м,  25 м. - h=110м |
| Диапазон измеряемых скоростей, м/с | 2 – 70 |
| Направление ветра | нет |
| Время измерения полного вектора | 3 с. (на одной высоте) |
| Температурный режим работы, °С | - 25 - +40 |
| Потребляемая мощность | 100 W (0°С - 25 °С)  250 W |
| Габариты, мм | 1340 \*550 |
| Вес, кг | 134 |

1.5 HALO Photonics

Британская компания, базирующаяся в Вустершире, была основана в 2005 году и выпускает несколько типов лидаров, схожих по характеристикам, но отличающихся по назначению. Главной моделью является ветровой доплеровский лидар высокой дальности действия Stream Line XR - сигнал на данном лидаре может быть получен на дальностях до 12 км. Внешний вид данного устройства представлен на рисунке 1.6.



*Рис. 1.6 – Ветровые лидары компании ZX Lidars*

К сожалению, важных технических данных относительно этого лидара нет в открытом доступе, однако известно, что вес данного устройства равен 85 кг, размеры составляют 630 x 530 x 400 мм, диапазон измерения скоростей лежит в промежутке от -38 до +38 м/с, прибор может работать в температурном режиме от -20º до +45ºC. Также известно, что в данном лидаре можно изменять пространственное разрешение – 18 или 120 м , что говорит о возможности изменения длительности импульсов лазерного излучения.

1.6 Windex- 5000

Лидар импульсный ветровой Windex- 5000 предназначен для оперативного дистанционного определения направления вектора и величины радиальной скорости воздушного потока на различных дистанциях, визуализации и отображения полученных результатов. Изделие позволяет дистанционно:

* определять радиальную скорость ветра на различных дистанциях;
* проводить 2D картографирование ветровых полей;
* детектировать опасные ветровые явления, например- низковысотный сдвиг ветра;
* производить измерения размеров и протяженности вихревых следов самолетов

Общий вид данного лидара представлен на рисунке 1.7



*Рис. 1.7 – Ветровой лидар Windex- 5000*

Основные технические данные сведены в таблице 5

Таблица 5 Основные технические данные Windex- 5000

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Windex- 5000 |
| Режим работы | Импульсный |
| Длинна волны | 1560 нм |
| Энергия импульса при заданной длительности импульса   * при длительности импульса 400 нс * при длительности импульса 200 нс | 100 мкДж  50 мкДж |
| Максимальная дальность измерений при длительности импульса 400 нс | до 10000 м (в зависимости от МДВ) |
| Максимальная дальность измерений при длительности импульса 200 нс | до 1500 м (в зависимости от МДВ) |
| Минимальная дальность измерения | не более 100 м |
| Пространственное разрешение  - при длительности импульса 400 нс  -при длительности импульса 200 нс | 60 м  30 м |
| Диапазон измеряемых скоростей | 1 – 55 м/с |
| Пределы допускаемой погрешности измерения радиальной скорости ветра:   * Абсолютной при V ≤10 м/с * Относительной при V ≥ 10 м/с | ± 0,3 м/с  ± 5 % |
| Диапазон сканирования   * по азимуту * по углу места | 0…360 ˚  -10…190 ˚ |
| Время осреднения результатов измерений | 0,1…15 с |
| Температурный режим работы, °С | - 50 … +50 |
| Габариты | 1000×883×1647 мм |
| Масса | 160 кг |

Клиентское программное обеспечение данного лидара позволяет задать основные режимы сканирования (PPI, RHI, VAD, DBS), а также комбинацию этих режимов. Одним из существенных преимуществ данного прибора является модульность конструкции, что позволяет производить ремонт и обслуживание отдельных узлов и механизмов с минимальным вмешательством в изделие. Windex- 5000 состоит из следующих основных модулей:

* модуль сканирующий. Обеспечивает вывод зондирующего излучения в атмосферу;
* модуль оптико–электронный. Служит для генерации лазерного излучения, а также для приема и обработки полученных данных измерений;
* модуль охлаждения и питания. Отвечает за обеспечением электропитанием устройств и поддержание рабочих климатических параметров внутри изделия.

Также стоит отметить, что данный лидар имеет в своем составе волоконные компоненты, а именно DFB лазер, EDFA усилитель, оптоволоконный смеситель. Данные компоненты позволяют при достаточно низких габаритах и малом тепловыделении обеспечивать большие энергии излучения, что обуславливается сравнительно высоким КПД волоконных устройств. Также несомненным преимуществом является большая надежность волоконных изделий ввиду отсутствия необходимости проводить юстировку последних. Рассматриваемая модель лидара имеет относительно небольшие габариты и вес, что позволяет при небольших усилиях осуществлять передислокацию системы на различные площадки для измерения в различных топографических или погодных условиях.

1.7 Сравнительный анализ рынка лидарных измерителей скорости ветра

Для того, чтобы понять в каком направлении необходимо двигаться при исследовании работы ветровых доплеровских лидаров, необходимо сравнить наиболее востребованные на рынке модели чтобы выделить те характеристики данных систем, которые влияют на эффективность работы ветрового лидара как средства удаленного измерения скорости ветра. В таблице 6 представлено сравнение коммерчески доступных на рынке ветровых лидаров. В качестве основных критериев для сравнения были выбраны наиболее общие для всех моделей, а именно:

* Режим работы;
* Длинна волны;
* Энергия импульса;
* Длительность импульса;
* Частота следования импульсов;
* Апертура приемного телескопа;
* Максимальная дальность измерения;
* Диапазон измеряемых скоростей;
* Габариты ДхШхВ;
* Вес;

В сравнении были добавлены только импульсные ветровые лидары, т.к. данное сравнение было бы не совсем корректным из-за различного принципа работы и структуры. Также в сравнении учувствовали только те модели лидаров, которые были описаны выше. Стоит отметить, что существует еще относительно большое количество лидаров, однако они либо не выпускаются серийно, либо имеют недостаточно конкурентные параметры, и поэтому не представляют практического интереса.

Таблица 6 Сравнение ветровых доплеровских лидаров

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Windcube 400S | WindTracer | Diabarezza\_a | Windex-5000 |
| Режим работы | Импульсный | Импульсный | Импульсный | Импульсный |
| Длинна волны, нм | 1545 | 1617 | 1550 | 1555 |
| Энергия импульса, мкДж | 160 | 2500 | 3000 | 100 |
| Длительность импульса, нс | 800 | 250 | 400 | 400 |
| Частота следования импульсов, Гц | 10000 | 750 | 1000 | 10000 |
| Апертура приемного телескопа,мм | 120 | 120 | 100 | 100 |
| Максимальная дальность измерения, м | 15000 | 30000 | 35000 | 5000 |
| Диапазон измеряемых скоростей, м/с | ±30 | ±40 | ˗ | ±50 |
| Габариты ДхШхВ, см | 100×82×140 | 197×244×249 | ˗ | 100×88×165 |
| Вес, кг | 150 | 2550 | ˗ | 160 |

# Заключение

На основании анализа рынка когерентных ветровых лидаров было сделано несколько важных выводов. Во-первых, рынок ветровых лидаров является достаточно небольшим, из основных игроков можно выделить всего 4-5 компаний по всему миру, остальные либо производят узко специализированные приборы для научно-исследовательских применений, либо не могут обеспечить должного качества и надежности, и поэтому не оказывают влияния на общую ситуацию на рынке. Главным мировым поставщиком когерентных доплеровских лидаров можно назвать французскую компанию Leosphere, т.к. по количеству выпущенных устройств и территориальному охвату она не имеет конкурентов. Далее идут такие гиганты мирового производства как Lokhed Martin и Mitsunishi Motors. Однако лидары данных производителей обладают весьма внушительными габаритами и сравнительно большой стоимостью, что вносит существенные ограничения в их успешное продвижение на рынке лидарных систем. Также данные лидары обладают достаточно высокими энергетическими характеристиками, что позволяет отнести их классу лидаров дальнего детектирования. Также в этот список стоит внести лидар Windex -5000 производства АО «Лазерные системы». Данный прибор имеет характеристики, сопоставимые с передовыми лидарами компании Leosphere, при этом обладая сравнительно низкой ценой и набором дополнительных преимуществ, таких как модульность конструкции и простота и повышенная надежность изделия. Анализируя основные характеристики вышеописанных лидаров был сделан вывод, что ключевым параметром, влияющим на конкурентоспособность когерентного ветрового доплеровского лидара является максимальная дальность детектирования рассеяного атмосферой сигнала.