

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИДАРОВ И СОДАРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕКТОРА СКОРОСТИ ВЕТРА

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE USE OF LIDARS AND SODARS TO MEASURE THE WIND VELOCITY VECTOR

D. Vasiliev

Summary. Remote monitoring of the atmosphere, during which the parameters of air masses movement at distances up to 1 km are determined, is a very urgent task, since this information is in demand in many fields of science and technology, such as: aviation, environmental monitoring, meteorology, etc. the paper considers the means to remotely determine the parameters of air masses movement, their advantages and disadvantages. Based on this analysis, a forecast is made on the prospects for the development of monitoring tools based on different physical principles in terms of their wide application as mobile measuring instruments.

Keywords: remote measurement of the wind parameters, range, limitations.

Васильев Дмитрий Викторович

К.т.н., АО «Раменский приборостроительный завод»
vasiliev1969@yandex.ru

Аннотация. Дистанционный мониторинг атмосферы, в процессе которого определяются параметры движения воздушных масс на дистанциях до 1 км, является весьма актуальной задачей, поскольку эта информация является востребованной во многих областях науки и техники, таких как: авиационное сообщение, экологический мониторинг, метеорология и т.д. В работе рассматриваются средства, позволяющие дистанционно определять параметры движения воздушных масс, их преимущества и недостатки. На основе этого анализа делается прогноз по перспективам развития средств мониторинга, основанных на различных физических принципах с точки зрения их широкого применения в качестве мобильных средств измерения.

Ключевые слова: дистанционное измерение, параметры ветра, диапазон, ограничения.

Для дистанционного измерения параметров вектора применяются четыре метода зондирования [1, с. 44; 2, с. 21; 3, с. 42; 4, с. 109; 5, с. 148; 6, с. 222]: 1) акустический (содар); 2) радиоакустический (совместно содар и радиолокатор); 3) радиолокационный (радиолокатор); 4) лазерный (лидар). Первые три из них имеют значительные ограничения с точки зрения использования в малогабаритных мобильных средствах измерения параметров ветра на дистанциях до 1 км:

Акустический: 1) мертвая зона в ближней области; 2) измерение только вертикального профиля ветра; 3) сильная зависимость сигнала от турбулентных образований; 4) необходимость отсутствия внешних шумов (в т.ч. атмосферных осадков); 5) влияние акустического излучения на органы слуха; 6) размеры (до нескольких метров) и вес (до нескольких сот килограмм);

Радиоакустический

1. диапазон измерения скоростей ветра не превышает 10 м/с;
2. вредное воздействие радиоизлучения;
3. те же недостатки, что и у акустического метода.

Радиолокационный

Общие недостатки:

1. мертвая зона в ближней области;
2. не работает в ясную погоду, при малых турбулентностях и скоростях ветра;
3. вредное воздействие радиоизлучения.

Для диапазона 30 ÷ 60 МГц (MST-радар):

1. размеры антенн тысячи м²;
2. большая потребляемая мощность;
3. время накопления сигнала 0.3 ÷ 1 ч.;
4. погрешность измерения 3 ÷ 5 м/с.

Для диапазона 400 ÷ 550 МГц:

1. размеры антенн сотни м²;
2. высота мертвой зоны до 500 м. (помехи от наземных объектов);
3. от теле- и радиопомехи;
4. большая потребляемая мощность.

Для диапазона 900 ÷ 1300 МГц:

1. размеры антенны 3×3 м.;
2. высота мертвой зоны до 500 м. (помехи от наземных объектов);
3. большая потребляемая мощность.

Для области 35 ГГц: 1) значительная потребляемая мощность; 2) работоспособен только при сильных осадках, ветре, тумане.

Исходя из приведенных данных можно заключить, что радиолокационные и радиоакустические средства не применимы для создания мобильных средств дистанционного измерения параметров ветра.

Не смотря на перечисленные ограничения, на аэродромах для измерения вертикального профиля ветра применяют содары. Возможность использования техники содаров для создания мобильных средств определится сравнением их параметров с предъявленными требованиями и характеристикам лидаров.

Основные технические характеристики содаров:

1. Измерение вертикального профиля ветра.
2. Диапазон высот акустического зондирования от 20 до 200 ÷ 800 метров.
3. Минимальное разрешение в зависимости от длительности импульса 8 ÷ 55 метров.
4. Характерное разрешение по скорости 1.1 м/с при разрешении по дальности 17 метров. Оно определяется соотношением [1, с. 44]:

$$\Delta R \Delta V_{\text{в}} = \lambda C / 4$$

где $\Delta V_{\text{в}}$ — разрешение по скорости ветра, ΔR — разрешение по дальности, C — скорость звука (340 м/с), λ — длина волны.

Те взаимная связь разрешения по скорости и по дальности не позволяет одновременно выполнить оба требования.

К недостаткам содаров следует отнести то, что излучаемый сигнал (обычно в диапазоне 1 ÷ 10 кГц) слышим человеческим ухом и вызывает неприятные ощущения, поэтому содары рекомендуется использовать вне скоплений людей. Предельная высота зондирования сильно зависит от метеорологических условий во время измерений, снижается при наличии температурных инверсий в атмосферном пограничном слое, при сильной турбулентности и сильных ветрах. Измерения весьма чувствительны к посторонним звукам, поэтому измерения практически невозможно проводить при высоком уровне фоновых шумов и при наличии жидких осадков. Для изолирования от посторонних звуков вокруг содара создается довольно громоздкий поглощающий экран. Содары не применяются для зондирования на наклонных трассах.

Для обеспечения посадки летательных аппаратов на заключительном, наиболее аварийноопасном, участке глиссады необходимо, чтобы дистанционные средства позволяли производить измерения на наклонных трассах в диапазоне высот от единиц до сотен метров с минимальным разрешением на ближних дистанциях

не более метра для возможности определения наличия мало- и среднеразмерных турбулентных вихрей. При этом точность измерения составляющих воздушных потоков должна составлять не более 0.1 ÷ 0.2 м/с. Дистанционные измерители, размещаемые в зоне взлетно — посадочной полосы (площадки), должны быть малогабаритными и не создавать опасности быть задетыми при осуществлении движения. На основе анализа предъявленных требований выбор был сделан в пользу применения для этих целей непрерывных доплеровских лидаров, физические принципы работы которых могут обеспечить их выполнение.

Таким образом, основные требования, предъявляемые к непрерывному доплеровскому лидару, следующие:

1. Измерение вектора скорости ветра в любой точке траектории движения на заключительном этапе полета на дистанции до 1000 метров.
2. Минимальное разрешение по дальности: от 0.5 (на ближней дистанции) до 30 м (на максимальном удалении).
3. Разрешение по скорости: не более 0.2 м/с.
4. Габариты, не более: 0.5×0.5×0.5 метра.
5. Потребляемая мощность не более 200 Вт.

Учитывая уровень современного развития одночастотных лазерных источников излучения, приведенные требования вполне реализуемы.

Проведено моделирование формирования измерительного объема лидаром с рабочей длиной волны 1 мкм и радиусом антенной системы 50 мм. Получено распределение интенсивности рабочего сигнала на разностной частоте для фокусировки 50, 100, 300 и 500 м в зависимости от метеовидности (МДВ), которое определяется лидарным уравнением [4, с. 109]:

$$I^* = \frac{\beta_{\pi} e^{-2\alpha z}}{\left(1 - \frac{z}{F}\right)^2 + \frac{\lambda^2 z^2}{9.8596R^4}}$$

где: R — радиус апертуры антенны, F — дальность фокусировки, α — показатель ослабления излучения атмосферой, β_{π} — объемный коэффициент обратного рассеяния, z — координата вдоль оси зондирующего луча.

Полученные результаты (рис. 1) позволяют сделать вывод, что лидар с антенной радиусом 50 мм обеспечивает необходимую локализацию измерительного объема в зоне локации при дальности фокусировки: $F \leq \text{МДВ}$ для $\text{МДВ} \geq 100$ м; для $\text{МДВ} \leq 100$ м, локализация измерительного объема обеспечивается для фокусировки до дальностей, превышающих МДВ.

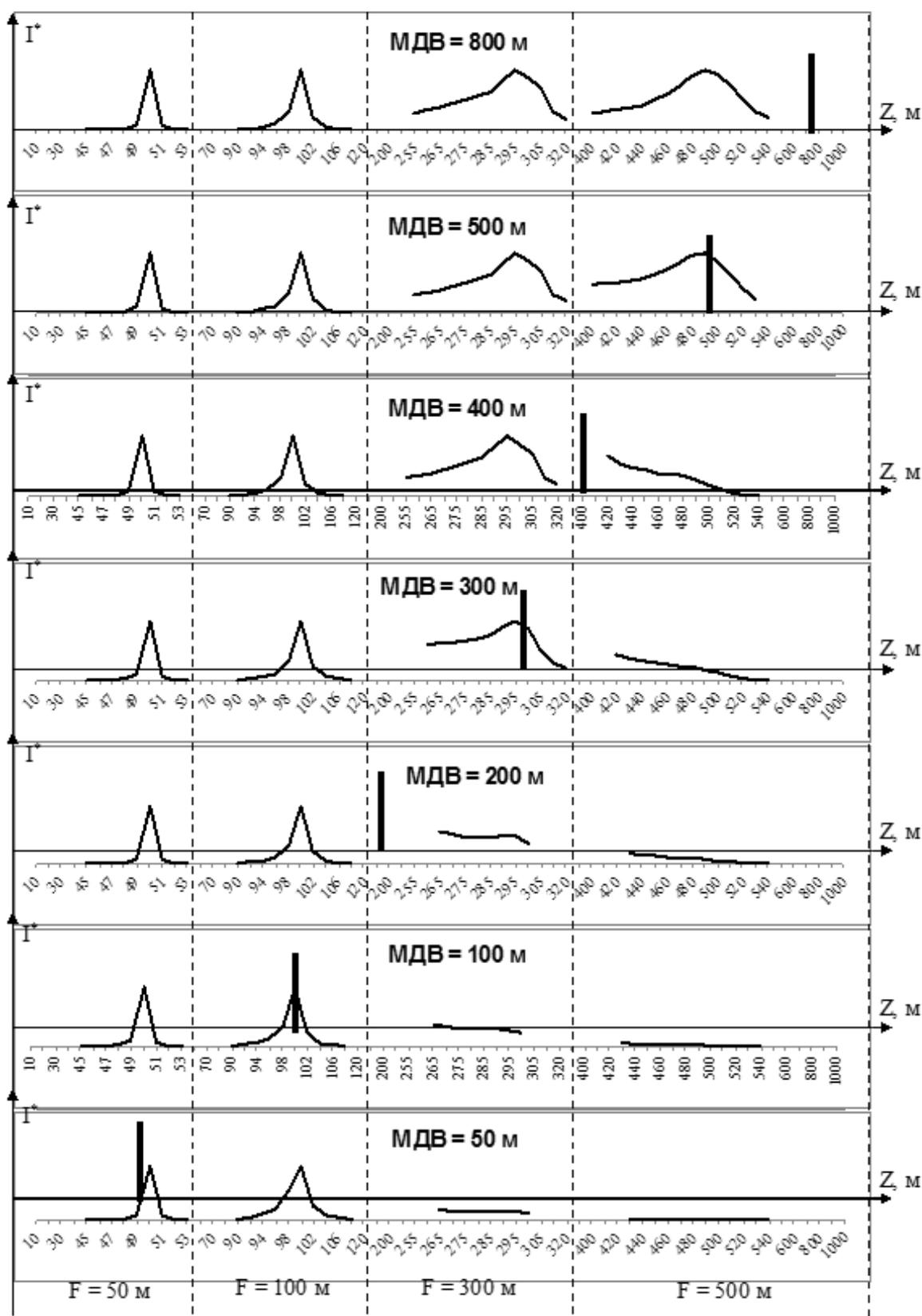


Рис. 1. Формирование непрерывным лидаром измерительного объема для различных МДВ и дальности фокусировки

Характерный спектр рабочего сигнала лидара на разностной частоте, полученный при натурном лоцировании воздушного потока, позволяющий определять параметры ветра с точностью не хуже 200 кГц (0.1 м/с) представлен на рисунке 2.

Выводы

Таким образом, можно сделать вывод, что непрерывный лидар позволяет проводить измерения параметров ветра на дистанции до 1000 метров в широком диапазоне МДВ. В случае снижения МДВ, значения параметров ветра могут быть получены с меньшей дальности путем перефокусировки антенной системы. Это свойство непрерывного лидара позволяет применять его для решения поставленных задач измерения параметров ветра в зоне движения. Полученные теоретически параметры формирования измерительного объема подтверждены результатами натурного эксперимента. Это позволяет сделать вывод, что техника непрерывного доплеровского лидара в наибольшей степени подходит для создания малогабаритных мобильных средств дистанционного измерения параметров ветра.

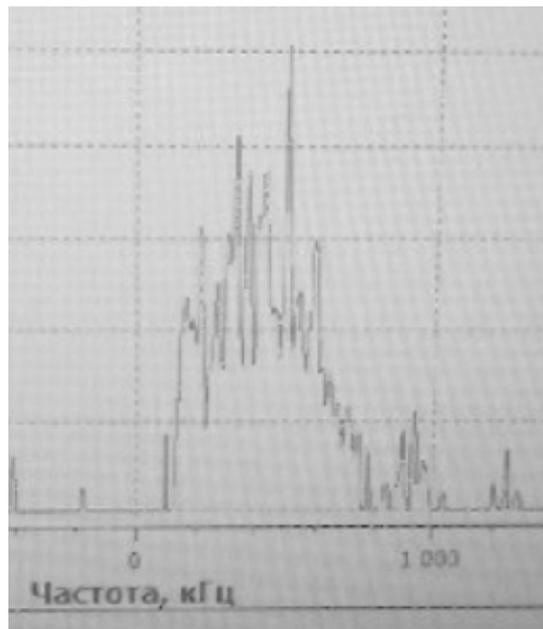


Рис. 2. Спектр рабочего сигнала непрерывного доплеровского лидара на разностной частоте

ЛИТЕРАТУРА

1. Горелик А.Г., Стерлядкин В. В., Щукин Г. Г. Обзор методов и средств ветрового зондирования атмосферы // III Всероссийские Арmandовские чтения: молодежная школа — Муром: Изд. — Полиграфический центр МИ ВлГУ, 2013.
2. Андреев М.А., Васильев Д. Н., Пенкин М. С., Смоленцев С. А., Борейшо А. С., Клочков Д. В., Коняев М. А., Орлов А. Е., Чугреев А. П. Когерентные доплеровские лидары для мониторинга ветровой обстановки // Фотоника. 2014. т. 48. № 6.
3. Ахметьянов В.Р., Васильев Д. Н., Клочков Д. В., Коняев М. А., Пенкин М. С., Орлов А. Е. и др. Лидарный доплеровский профилометр для измерения параметров ветра в составе наземного комплекса метеорологического обеспечения аэронавигации // Авиакосмическое приборостроение, 2013. № 9.
4. Брикенштейн В.Х., Погосов Г. А. Когерентные доплеровские лидары. Вопросы теории. // Научно — технический сборник НИИАО, 1988. № 2 (10).
5. Коняев М.А., Савин А. В., Доплеровские метеолидары для систем обеспечения вихревой безопасности полетов // Метеоспектр, 2008. № 1.
6. Красненко Н.П., Шаманаева Л. Г. Сodarные измерения ветровых и турбулентных характеристик атмосферы // XI Сибирское совещание по климату — экологическому мониторингу. Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. Томск, 2015.

© Васильев Дмитрий Викторович (vasiliev1969@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»