

КОНФЕРЕНЦИЯ С

**ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ
И ОКЕАНА ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАКОВ ИЗ ЛИДАРНОГО СИГНАЛА

А.И. Гришин, А.В. Крючков, Г.Г. Матвиенко

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения РАН

пл. Академика Зуева, 1, 634055, г. Томск, Россия

e-mail: aig@iao.ru , kaw@iao.ru , matvienko@iao.ru

Ключевые слова: высоты нижней границы облаков, облакомер, лидар, восстановление сигнала, калибровка

Приборы для измерения высоты нижней границы облачности широко используются в метеорологии, особенно в качестве метеорологического обеспечения аэродромов, в тоже время нет единой методики, с помощью которых определяется высота нижней границы облачности из их сигналов. В статье представлены методы обработки сигналов для определения высоты нижней границы облачности, возможные для применения в автоматическом режиме регистрации.

На настоящий момент существует множество определений самого термина, что же такое высота нижней границы облаков, некоторые из них являются закрепленными официальными документами, некоторые являются устоявшимися в кругах исследователей. Так сложилось, что в этот термин, вкладывают, то что является важным в определённой области знаний и характеризует какие-то конкретные физические свойства, сложного и многогранного явления природы – облако. Таким образом, получится, что наиболее подходящее определение высоты нижней границы облаков может изменяться в зависимости от применения. Для измерителей высоты нижней границы облачности, применяемых в авиации является первоочередной задачей связать высоту нижней границы облачности облака к человеческому восприятию видимости, что является главным приоритетом обнаружения пилотом визуальных наземных ориентиров. Это означает, например, что видимость у основания облака в значительной степени зависит от угла визирования из-за разницы в длине оптического пути в облаке и относительно прозрачной атмосферой ниже облака для вертикальных и наклонных (горизонтальных) трасс, как показано на рисунке 1.



Рисунок 1 - Оптическая толща для вертикальных и наклонных трасс

Поскольку пропускание атмосферы и тем более облака зависит от длины волны, то длина волны лазера находится в невидимой для человеческого глаза области спектра, необходим пересчет сигналов в видимый диапазон. Таким образом необходим комплексный подход к обработке сигналов для обнаружения высоты нижней границы облаков. Рассмотрим применяемые методы обнаружения высоты нижней границы облаков в лидарном сигнале.

Метод обнаружения максимума сигнала

Метод обнаружения максимума выполняется поиском в сигнале точки с пиковой интенсивностью и присваивает этой высоте значение высоты нижней границы облаков. Так как в этом методе выполняется поиск точки самого высокого сигнала, этот метод является наименее чувствительным к воздействию шума. Это также самый простой способ и основной метод, также используемый при прожекторном зондировании.

В сравнительном исследовании наземных измерений и бортовых визуальных наблюдений, подтверждается, что пики зарегистрированных сигналов для лидарных измерений хорошо согласуются друг с другом и с надирных отчетов пилотов. [1]

Тем не менее, из измерений облаков на высоте от 160 до 3200 м, что пики сигналов от наземного прибора были в среднем на 79 м выше облака отчетов пилотов при типичном заходе на посадку с углом 3 градуса ниже горизонтали. Таким образом, пилоты потеряли

визуальный контакт с землей значительно ниже высоты пика сигнала. Это также подтверждается ранними работами [2], в которых поясняется, что, поскольку этот метод основан на упрощенной модели определения высота границы облаков, то будет генерировать ошибки значительны ошибки в тех случаях, когда облачность не является ни вертикально, ни горизонтально однородной.

Метод поиска перехода через ноль первой производной

Один из способов найти точки начала рассеяния назад от облака, это искать изменения в динамикс сигнала. [3] Этот алгоритм следит за первой производной сигнала, чтобы найти самые незначительные изменения в сигнале за счёт градиента рассеяния в облаке и чистой атмосфере. Алгоритм основан на следующих соображениях. После полного перехвата сигнала оптической системой, отраженный сигнал в ясной атмосфере должна уменьшиться примерно по экспоненциальному закону (за счёт поглощения излучения атмосферой), присутствие же большого количества частиц аэрозоля в облаке должно приводить к увеличению обратного рассеяния.

Высоты нижней границы облаков может быть определена как точка, где первая производная сигнала проходит через ноль, чтобы стать положительной. Хотя она опирается на несколько произвольное определение, преимущество этого алгоритма состоит в том, что он может найти облачные слои для различных типов и плотности облаков. На рисунке 2 показан лидарный сигнал (сплошная линия), и его первая производная (точки).

Но при наличии шума или незначительно изменяющемся сигнала может происходить ложное детектирование облачного слоя. Этих ошибок можно избежать, более лучшей фильтрацией и обнаружением объединения нескольких рядом стоящих слоёв в один слой облачности. Также отмечается, что этот метод обнаружения не очень хорошо работает для сигналов которые не показывают монотонное уменьшение в чистой атмосфере, в условиях тумана или осадков условия, или для сигналов от облаков, которые не показывают резкое увеличение сигнала от нижней границы облаков. [3] В относительно шумных сигналах также будет трудно определить высоту нижней границы облаков с помощью этого метода.

Помимо установки минимального количества последовательных слоёв, эти проблемы можно было бы частично решать путем изменения порогового значения для производной. Для работы в условиях высокого шума, это порог может быть некоторым малым положительным числом, или в условиях работы облаках с низкой оптической плотностью

это порог может принимать и отрицательное значение, в том случае если отклик от облака не достаточно велик, чтобы преодолеть порог экспоненциального убывания сигнала.

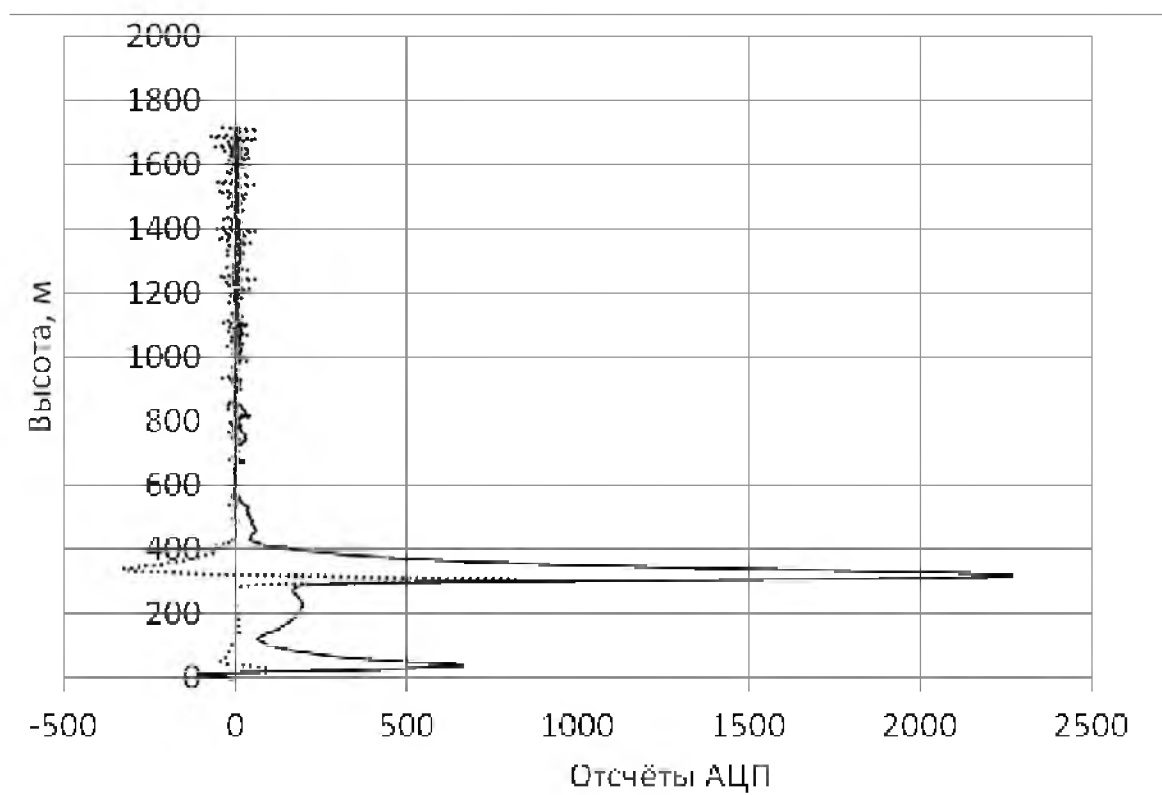


Рисунок 2 - Лидарный сигнал и его производная

Метод определения зон

Существует методика обнаружения высоты нижней границы облачности на краю области перехода с зоны чистой атмосферы, на зону с сигналами в облаке. [4] Сначала, разделяют всю трассу на зоны чистой атмосферы, и зоны с облачным слоем, на основе экспериментально полученного порога. Затем сигналы зон чистого неба усредняются для вычисления рассеяния чистой атмосферы. Молекулярный ослабление и коэффициенты обратного рассеяния α и β , соответственно, вычисляются с использованием давления и измерения температуры местной атмосферы и применяется для калибровки измерения чистого воздуха и, следовательно, учитывать изменения в конструкции лидара, мощности импульса, перекрытия, чувствительности и т.д.

Для определения высоты нижней границы облачности коэффициент обратного рассеяния β (τ) определяется обращением уравнения лидара, и базовая высота облака

назначается на высоте, где измеренная обратного рассеяния превышает экспериментально определенного порога.

Этот метод может быть эффективным для исследований в области климата, где лидарное соотношение чистой атмосферы может быть измерена, например, с помощью радиозонда, или смоделировано точно.

К сожалению, для лидара с низкой чувствительностью к молекулярному рассеянию, такой подход вряд ли будет хорошо работать, так как может потребоваться часы усреднения для получения профиля единого ясного неба. Кроме того, этот метод лучше всего подходит для обработки данных только для большого числа измерений, что является проблематичным, когда требуется обеспечить выдачу информации в режиме реального времени каждые 59 секунд.

Определение нижней границы облаков высоты на основе порогового значения для коэффициент обратного рассеяния, во многом похоже на следующий метод.

Метод определения видимости

Существует способ определения высоты нижней границы облаков на основе горизонтальной видимости. [5] Предварительно определяют коэффициенты пропускания α , например, так называемым методом Клетта. Это наиболее широко используемый метод для решения обратной задачи лидарных сигналов. Этот метод, хотя и разработали в аналогичной форме и опубликовали Кауль в 1977 году [6] и Зуев в 1978 году [7], но в западной литературе носит фамилию Клетта, который ввел его в 1981 г. [8]. В этом методе коэффициент ослабления в дальней зоне принимается на основании модели или каких других данных, и сигнал инвертируется в обратную сторону к измерителю. Такой подход обеспечивает стабильный результат при наличии аэрозоля или присутствии облачности и поэтому метод обычно применяется в измерителях высоты нижней границы облаков.

Так как видимость может быть определена для порога яркости контраста человеческого глаза, в зависимости от пропускания, с использованием закона Кошмидера, то горизонтальную видимость на каждой высоте можно вычислить из инвертированного сигнала. Хотя очевидно есть различия в воспринимаемой контрастности в дневное и ночное время, типичный визуальный уровень контрастности Всемирной метеорологической организации и Международная организация гражданской авиации, составляет 5%. [9,10] Применяя этот порог и при предположении о горизонтальной однородности на каждой высоте, рассчитывается горизонтальная видимость в зависимости от высоты для пидеющего

профиля. Затем применяется эмпирически полученные пороговые значения для горизонтальной видимости и наклон горизонтальной видимости для определения высоты нижней границы облаков лидарных сигналов.

Выводы

В статье рассмотрены далеко не все возможные и используемые методы определения высоты нижней границы облаков из лидарного сигнала, но несмотря на многообразие методов, наиболее подходящим к решению задач по метеорологическому обеспечению техническими средствами аэродромов, наиболее информативным является метод определения видимости. Поскольку этот методика связывает высоту нижней границы облаков с видимостью, что делает его пригодным для использования в авиации, и одновременно опирается на оптические свойства атмосферы, она также может использоваться для метеорологических и исследовательских целей.

Литература

- 1 W.L. Eberhard, Cloud signals from lidar and rotating beam ceilometer compared with pilot ceiling. *J. Atmos. Oceanic Technol.* 3(3), 499–512 (1986)
- 2 W.E. Eggert, Approach visibility studies at newark, final report AMB Project D-1-902. Technical Report, Bureau of Research and Federal Aviation Agency, Washington, D.C., 1960
- 3 S.R. Pal, W. Steinbrecht, A.I. Carswell, Automated method for lidar determination of cloudbase height and vertical extent. *Appl. Opt.* 31(10), 1488–1494 (1992)
- 4 E. Clothiaux, G. Mace, T. Ackerman, T. Kane, An automated algorithm for detection of hydrometeor returns in micropulse lidar data. *J. Atmos. Oceanic Tech.* 15(8), 1035–1042 (1998)
- 5 A.J. Poyer, R. Lewis, Adapting the micropulse lidar for use as a reference for cloud measurement. AMS Fourth Symposium on Lidar Atmospheric Applications, 2009
- 6 КАУЛЬ ДИССЕРТАЦИЯ
- 7 ЗУЕВ лидарные сигналы из регионов с большой оптической толщиной
- 8 J.D. Klett, Stable analytical inversion solution for processing lidar returns. *Appl. Opt.* 20(2), 211–220 (1981)
9. W. Middleton, *Vision Through the Atmosphere* (University of Toronto Press, Toronto, 1963) World Meteorological Organisation, International meteorological vocabulary. Technical Report WMO No. 182, 1992
10. International Civil Aviation Organization, Annex 3: Meteorological Services for International Air Navigation, 16th edn. (ICAO, Montreal, 2007)