**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 | |  | « 20 » | | декабря | | | | | | | | | | 2018 г. | | |
|  | индекс группы | |  |  | |  | | | | | | |  | | | |

**отчет**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **о** | | | научно-иследовательской работе | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | |
| наименование практики | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Бойцовой Анастасии Игоревны | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Фамилия, имя, отчество обучающегося | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **обучающегося по**  **направлению/специальности** | | | | | | 12.04.05 | | |  | | Лазерная техника и лазерные | | | | | | | | | |
| нужное подчеркнуть | | | | | | код | | | |  | | полное наименование направления/специальности | | | | | |
| технологии | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Руководитель:** | | | | | Киселев И.А., к.т.н., доцент | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | Фамилия ИО, ученая степень, ученое звание, должность | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Срок прохождения практики:** | | | | с | | 01.09.2018 | | | | | | г. |  | по | 21.12.2018 | | | г. | | | |
| **Должность обучающегося на практике:** | | | | | | | **магистрант** | | | | | | | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Руководитель практики:** | | | |  | | |  |  | | | | |  | | | | | |
|  | | |  | Киселев И.А. | | |  | |  | | |  | |  | | | | |
| Подпись | | |  | Фамилия ИО | | |  | |  | | | |  | |  | | |
| « 20 » |  | \_\_\_\_\_\_\_декабря\_\_\_\_\_\_\_ | | |  | 2018 г. |  |  | |  |  | | | | |  |  | | |

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2018 г.

Содержание

[Введение 4](#_Toc534819675)

[1. Выбор и описание средств, необходимых для определения типов облачности 5](#_Toc534819676)

[1.1. Назначение облакомера 5](#_Toc534819677)

[1.2. Конструкция лазерного облакомера 6](#_Toc534819678)

[1.3. Принцип функционирования лазерного облакомера 8](#_Toc534819679)

[1.3.1. Основной принцип 8](#_Toc534819680)

[1.3.2. Практическое измерение сигнала 10](#_Toc534819681)

[1.3.3. Подавление помех 10](#_Toc534819682)

[1.3.4. Интенсивность отраженного сигнала 11](#_Toc534819683)

[1.3.5. Нормализация высоты 11](#_Toc534819684)

[1.3.6. Коэффициент обратного рассеяния 12](#_Toc534819685)

[1.3.7. Нормализация поглощения и вертикальная видимость 13](#_Toc534819686)

[1.4. Методы измерения 14](#_Toc534819687)

[1.4.1. Высота нижней границы облаков 14](#_Toc534819688)

[1.4.2. Количество облачности 15](#_Toc534819689)

[1.4.3. Вид облаков: обнаружение кучево-дождевых (CB) и башеннообразных кучевых (TCU) облаков 16](#_Toc534819690)

[1.5. Алгоритмы распознавания 17](#_Toc534819691)

[1.5.1. Определение облачных слоев с использованием облакомера 17](#_Toc534819692)

[1.5.2. Определение облачных слоев с использованием нескольких облакомеров 18](#_Toc534819693)

[1.5.3. Обнаружение наличия кучево-дождевых (CB) и башеннообразных кучевых (TCU) облаков 18](#_Toc534819694)

[1.6. Источники ошибок 19](#_Toc534819695)

[1.6.1. Высота нижней границы облаков 19](#_Toc534819696)

[1.6.2. Вертикальная видимость 19](#_Toc534819697)

[1.6.3. Количество облачности 20](#_Toc534819698)

[1.6.4. Распознавание кучево-дождевых (CB) и башеннообразных кучевых (TCU) облаков 21](#_Toc534819699)

[2. Разработка метода для распознавания типов облачности 22](#_Toc534819700)

[Заключение 24](#_Toc534819701)

[Список использованных источников 25](#_Toc534819702)

# Введение

В последнее время проблема распознавания типов облачности является одной из самых актуальных, потому что они оказывают существенное влияние на производство авиа полётов. Например, слишком малая высота нижней границы облаков может ухудшить метеоусловия на взлетно-посадочной полосе (ВПП) или в аэропорту, поскольку она непосредственно влияет на обзор ВПП пилотом. Кучево-дождевые (CB) или башеннообразные (TCU) облака являются конвективными облаками, представляющими потенциальную опасность для воздушных судов из-за связанного с ними сдвига ветра, который может повлиять на посадки и взлеты.

В данной научно-исследовательской работе производится описание и выбор средств, необходимых для разработки программного обеспечения для определения типов облачности, представлена модель макета установки для получения и дальнейшей обработки результатов.

В работе разобрано назначение, конструкционные особенности, основной принцип действия облакомера, показан пример практического измерения высот, указаны способы подавления помех, способы расчетов интенсивности отраженного сигнала и коэффициента обратного рассеяния. Исследованы методы измерения облачности. Разобраны существующие алгоритмы распознавания облачности. Проанализированы основные погрешности, по какой либо причине влияющие на распознавание.

# Выбор и описание средств, необходимых для определения типов облачности

На данный момент существуют приборы, позволяющие производить точечные измерения облачности (облакомеры различных производителей), но они не способны оценить облачную обстановку по всему небосводу. Для оценки облачной обстановки предлагается использовать видеоданные, полученные с видеокамеры.

Использование в совокупности показаний облакомера и потока с видеокамеры позволит получить более точный результат распознавания облачности.

Разберем назначение, конструкционные особенности, основной принцип действия облакомера и методы измерения облачности подробнее.

## Назначение облакомера

Единственным автоматическим датчиком, способным в настоящее время измерять высоту нижней границы облаков, является облакомер.



Рисунок 1 – Лазерный облакомер

Облакомеры используются в метеорологии для определения [1]:

* Высоты нижней границы облаков. Данный прибор способен за небольшой отрезок времени обеспечить получение точных результатов.
* Концентрации аэрозолей в атмосфере.

Первые облакомеры были предназначены исключительно для авиационных целей [2], и их диапазон измерений составлял 30 м (100 фут) или от 45 до 1500 м (150–5000 фут). У более поздних облакомеров диапазон измерений более широкий и составляет от 30 м (100 фут) или менее и до 6000 м (20 000 фут) или более.

Диапазон измерений удовлетворяет всем аэронавигационным требованиям, поскольку считается, что любые облака с нижней границей менее 1500 м (5000 фут) (либо ниже наибольшего значения абсолютной минимальной высоты сектора, в зависимости от того, какая из этих величин больше) имеют эксплуатационное значение и их данные должны сообщаться в сводках. Благодаря более высоким эксплуатационным характеристикам приборов и более совершенным методам обработки сигналов повысилась эффективность облакомеров.

В настоящее время одним из самых распространённых облакомеров остаётся лазерный облакомер.

## Конструкция лазерного облакомера

Современные облакомеры представляют собой компактные и достаточно лёгкие приборы (рисунок 2), которые достаточно просто транспортировать и при необходимости можно перевезти на любое расстояние. Все они используются для определения уровня высоты нижней границы облаков и дополнительно – вертикальной видимости. Благодаря уникальным особенностям конструкции они могут распознавать одновременно от 1 до 3 слоёв облаков.

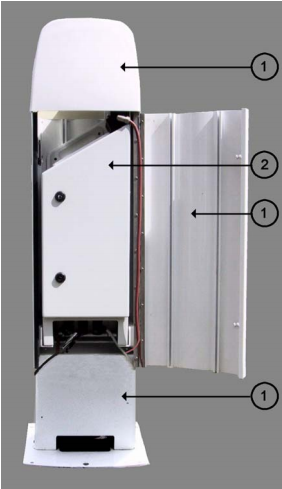


Рисунок 2 - Внешний вид облакомера

1 – экран/корпус; 2 – измерительный блок.

Конструкция облакомера состоит из (рисунок 3):

* блока питания;
* основного блока;
* оптики;
* внутреннего обогревателя для поддержания стабильного температурного режима во время проведения измерений.

При этом установленные передатчики внутри представляют собой лазерный диод.

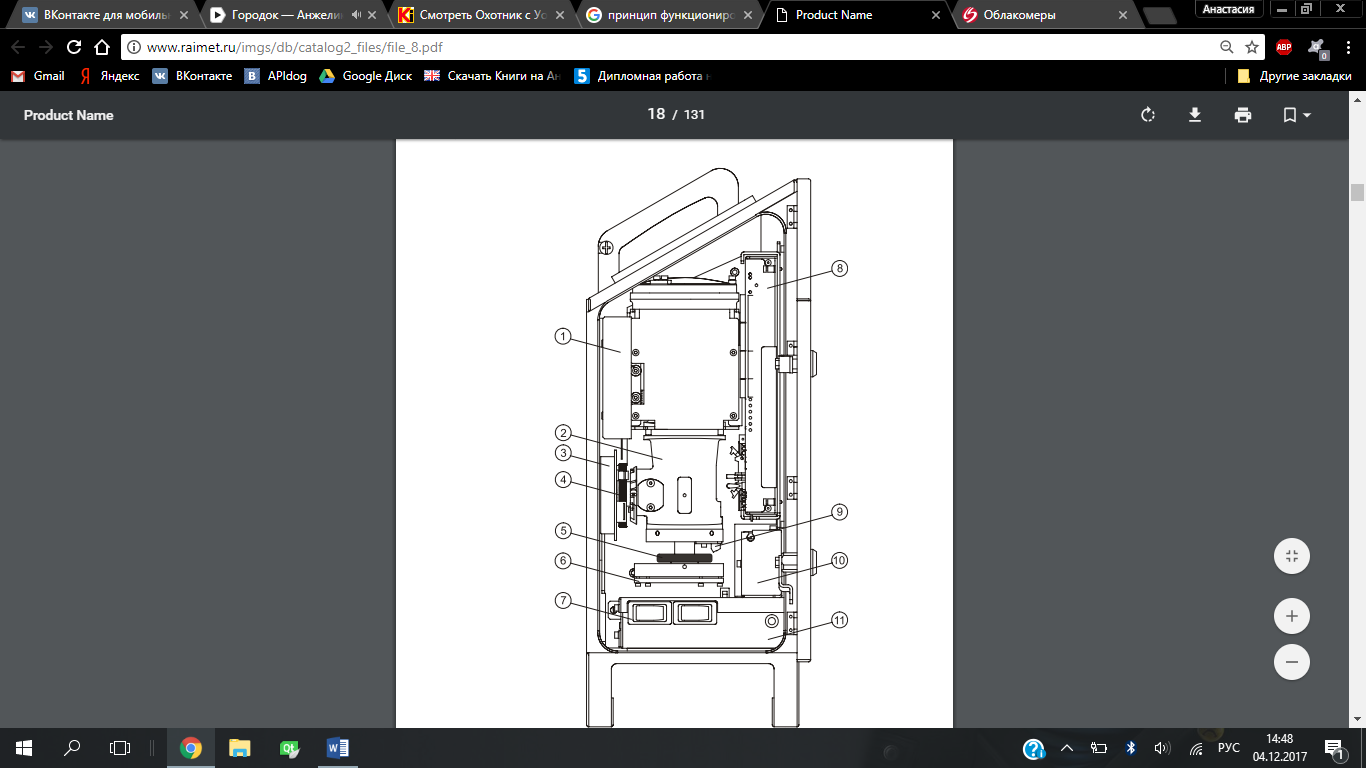


Рисунок 3 - Конструкция облакомера

1 – внутренний обогрев; 2 – оптический блок; 3 – приемник; 4 – кольцо приемника; 5 – кольцо передатчика; 6 – передатчик; 7 – выключатели электропитания и оконного кондиционера; 8 – процессорная плата; 9 – плата управления лазером; 10 – батарея резервного питания; 11 – блок питания переменным током; 12 – выключатель батареи.

Облакомер имеет 1 класс лазерной опасности (лазеры и лазерные системы очень малой мощности, не способные создавать опасный для человеческого глаза уровень облучения).

## Принцип функционирования лазерного облакомера

### Основной принцип

В облакомере применена лазерная импульсная диодная технология LIDAR (LIDAR = Light detection and ranging), при которой посылаются короткие мощные импульсы в вертикальном или почти вертикальном направлении. Отраженный луч, или обратное рассеяние, вызванное дымкой, туманом, мглой, выпадающими осадками и облаками, измеряется по мере прохождения лазерных импульсов атмосферы. За время прохождения луча через аэрозоль, с постепенным рассеиванием его определённой части в ней, достигается эффект рассеяния Ми [3]. При этом некоторая часть света будет рассеяна по направлению назад к источнику света и поймана специальным устройством, которое выступает в качестве приёмника. Получаемый профиль обратного рассеяния, т.е. отношение интенсивности сигнала к высоте, запоминается и обрабатывается и таким образом определяется нижний край облачности. Зная скорость света, время задержки между посылкой лазерного импульса и приемом отраженного сигнала, можно определить высоту нижней границы облаков по следующей формуле:

где c - скорость света в воздухе.

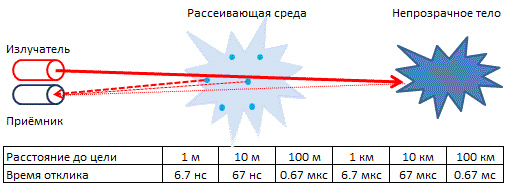


Рисунок 4 - Схема работы облакомера

Именно благодаря такому анализу полученных результатов и временных задержек лазерных импульсов мы имеем возможность точно определить высоту нижней границы облаков. Основа работы облакомера заключается на том, что при любых изменениях уровня освещённости происходит изменение сопротивления фотоэлемента.

### Практическое измерение сигнала

Частицы на всех высотах рассеивают свет, поэтому фактически отраженный сигнал будет иметь вид, представленный на рисунке 5.

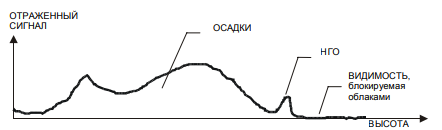


Рисунок 5 - Вид отраженного сигнала

Мгновенная величина отраженного сигнала содержит информацию о рассеивающих свойствах атмосферы на определенной высоте. По отраженному сигналу можно получить информацию о тумане и осадках, а также об облаках. Так как импульс света ослабляется в тумане и осадках, отраженный от нижней границы облачности (НГО) сигнал будет меньше по величине. Следовательно, информация о тумане и осадках содержат также данные, необходимые для оценки этого ослабления и расчета компенсации, вплоть до границы облачности.

### Подавление помех

С точки зрения безопасности и экономии мощность используемого лазера настолько низка, что помеха окружающего света превышает отраженный сигнал. Вследствие этого используется большое число лазерных импульсов, а отраженные сигналы суммируются. Требуемый сигнал умножается на число импульсов, тогда как шумы, будучи случайными, будут частично сами подавляться. Степень подавления белых (гауссовых) шумов равняется квадратному корню из числа выборок; следовательно, достигнутое улучшение отношения сигнал-шум будет равняться квадратному корню из числа выборок. Однако такое улучшение обработки не может продолжаться бесконечно вследствие изменения условий окружающей среды, например, из-за перемещения облаков.

### Интенсивность отраженного сигнала

Мгновенное значение интенсивности отраженного сигнала в общем виде описывается следующим выражением (уравнение Лидара) [4]:

где

Pr(z) – мгновенное значение мощности, принятое с расстояния z [Вт];

EO – эффективная энергия импульса (учитывающая любое затухание за счет оптики) [J – джоули – Ws – ватты-секунды];

c – скорость света [м/с – метры в секунду];

A – апертура приемника [м2];

z – расстояние измерения [м];

ß(z) – коэффициент обратного рассеяния объема на расстоянии z [м−1 срад−1 , срад – стерадиан];

– двусторонне пропускание атмосферы с учетом ослабления излучаемой и принимаемой мощности на разных расстояниях (z') между передатчиком и приемником и на расстоянии измерения (z). Для чистой атмосферы это выражение равняется 1 (т. е. без ослабления).

### Нормализация высоты

В условиях чистой атмосферы понятно, что мощность отраженного сигнала обратно пропорциональна квадрату расстояния или высоты, то есть сила сигнала с расстояния 10000 футов примерно равняется одной сотой силе отраженного сигнала, принятой с расстояния l000 футов. Квадратная зависимость высоты устраняется путем умножения измеренного значения на квадрат высоты (нормализация высоты). Однако шум, не зависящий от высоты с точки зрения измерений, будет соответственно выделяться с увеличением высоты.

### Коэффициент обратного рассеяния

Коэффициент обратного рассеяния объема ß(z) из уравнения Лидара [4] представляет собой долю света, отражаемую на облакомер с расстояния z (например, каплями воды). Очевидно, что чем плотней облако, тем сильнее отражение. Эту зависимость можно выразить следующим образом:

где

k – «постоянная» пропорциональности;

σ(z) – коэффициент поглощения (т.е.коэффициент ослабления в прямом направлении).

Коэффициент поглощения связан с видимостью напрямую. Если видимость определяется по 5-% пороговому контрасту (по определению ВМО для метеорологической оптической дальности видимости MOR эквивалентно горизонтальной видимости при дневном свете), тогда

где

σ – коэффициент поглощения (ослабления);

V – видимость MOR (контраст 5 %).

«Постоянная» пропорциональности k, называемая также коэффициентом Лидара, изучается давно. Хотя уравнение лидара можно решить без знания ее значения, по отношению к высоте она должна оставаться постоянной, если нужны точные оценки профиля поглощения (или видимости). Установлено, что во многих случаях k можно принять равным 0,03 и стремящейся к понижению в условиях высокой влажности (до 0,02) и к повышению при низкой влажности (до 0,05). Однако при различных видах осадков, например, k будет иметь более широкий диапазон значений.

При допущении для k значения 0,03 (срад−1) видимость в облаках в диапазоне 15−150 м (50−500 футов) дает следующий диапазон значений β:

β = 0,0006 ... 0,006 м−1срад−1 = 0,6 ... 6 км−1срад−1

### Нормализация поглощения и вертикальная видимость

Туман, осадки и другие аналогичные явления, уменьшающие видимость между землей и нижней границей облачности, могут ослаблять отраженный сигнал от нижней границы облачности и создавать пики обратного рассеяния, сигнал которых намного превышает рассеяние от облака. Фактически в каких-то физических границах возможен любой профиль высот обратного рассеяния. Чтобы отличить истинный отраженный облаком сигнал, следует учитывать ослабление, например, в тумане или осадках путем нормализации по отношению к коэффициенту поглощения. Полученный таким образом профиль пропорционален коэффициенту поглощения на разных высотах и позволяет использовать пороговые критерии прямой видимости при определении того, что есть облако, а что − нет. Предполагая линейную зависимость между обратным рассеянием и коэффициентом поглощения согласно приведенной формуле и полагая, что коэффициент k - постоянная величина во всем наблюдаемом диапазоне, путем математического расчета можно получить профиль коэффициента поглощения. Это называется также инвертированием профиля обратного рассеяния для получения профиля коэффициента поглощения и отвечает на вопрос о том, какого вида профиль коэффициента поглощения (ослабления) может дать измеренный профиль обратного рассеяния. Нет необходимости делать предположения, касающиеся абсолютного значения k, т.к. k является постоянным по высоте. Предположения, которые следует принять, считаются достаточно справедливыми и в любом случае достаточно точными для обнаружения облака. Инверсия тоже не зависит от некоторых инструментальных неопределенностей, включая излучаемую мощность и чувствительность приемника.

Вертикальную видимость можно легко рассчитать с помощью профиля коэффициента поглощения благодаря прямой взаимозависимости коэффициента поглощения и видимости при условии, что принят постоянный визуальный пороговый контраст. Дальностью видимости будет просто высота, где интеграл профиля коэффициента поглощения, начиная от земли, равняется натуральному логарифму порогового контраста, знак значения не имеет. Однако испытания и исследования показали, что 5-% пороговый контраст, широко используемый для определения горизонтальной видимости, не подходит для определения вертикальной видимости, если надо получить значения, близкие к полученным наблюдателем, базирующимся на земле.

## Методы измерения

### Высота нижней границы облаков

Единственным автоматическим датчиком, способным в настоящее время измерять высоту нижней границы облаков, является облакомер. Во всех последних моделях в качестве источника света используется лазерный диод. Облакомеры точно измеряют нижнюю границу облаков, находящихся непосредственно над датчиком. Оценка облачных слоев осуществляется путем анализа данных последовательных измерений с одной и той же регулярностью в дневное и ночное время суток.

Световой импульс направляется вверх, и часть силы света отражается или обратно рассеивается находящимися в атмосфере аэрозолями и частицами. Высокоскоростной электронный детектор измеряет отраженный сигнал в течение различных последовательных мгновений. Каждое мгновение соответствует расстоянию, равному времени, прошедшему между излучением света (импульса) и его приемом, деленному на скорость света и еще раз деленному на два (излучение и возврат). Данная система определяет профиль обратного рассеяния сигнала, что составляет принцип работы облакомера.

Мощность светового импульса ограничивается техническими возможностями и особенно стандартами безопасности, т. е. импульс света не должен быть опасным для глаз человека. Поэтому сила сигнала при его обратном рассеянии очень мала и практически не отличается от фонового света. Таким образом, чтобы повысить отношение сигнал – шум и получить пригодный для использования профиль обратного рассеяния, необходимо увеличить число лазерных импульсов (обычно более 10 000).

### Количество облачности

Разработан алгоритм, позволяющий рассчитывать количество облачности путем анализа значений высоты нижней границы облаков за последние 30 мин. Существуют также образцы датчиков количества облачности, основанных на использовании одного или более инфракрасных радиометров, последовательно направленных на различные участки неба для определения излучаемой температуры. Данная температура ниже, когда небо ясное, и выше, когда имеются облака; излучаемая облаками температура уменьшается с абсолютной высотой. Однако необходимо принимать во внимание профиль температуры окружающей среды или реальной температуры. В зависимости от сезона и местоположения облако при температуре 0 °C может находиться близко от земли или на высоте 3000 м (10 000 фут). Такие датчики не могут точно указывать высоту нижней границы облаков. Однако они способны определить количество облачности, не будучи подверженными недостаткам алгоритма, связанного с облакомером, который может "видеть" только облака, проходящие над этим облакомером. Они могут обнаруживать прибытие облачного слоя или его протяжение непосредственно над облакомером, и поэтому способны дополнить недостающий объем информации, поступающей от облакомера.

Существуют также датчики, которые "фотографируют" изображение неба, отраженное на полусферическом куполе, или через выпуклую оптику. Анализ такого изображения позволяет обнаружить наличие облачности и рассчитать ее количество, однако данный метод срабатывает только в дневное время суток при излучении в видимой области спектра. В ночное время суток необходимо будет использовать инфракрасные приборы, направленные непосредственно в небо.

### Вид облаков: обнаружение кучево-дождевых (CB) и башеннообразных кучевых (TCU) облаков

Облака CB и TCU распознаются визуально и иногда с помощью акустических приборов. Кучево-дождевое облако может находиться внутри облачного массива, и непосредственное визуальное наблюдение может его не выявить. Молния и/или гром указывают на наличие облаков CB.

Метеорадиолокатор обнаруживает наличие осадков (а иногда даже облаков) и определяет их интенсивность. Интенсивные или глубокие очаги конвективных облаков можно наблюдать визуально, и они обладают высокими уровнями отражательной способности. Недостатком данного метода является тот факт, что высокие уровни отражательной способности наблюдаются также во время сильных, неконвективных осадков в условиях отсутствия облаков CB и TCU. Сочетание радиолокационных снимков с инфракрасными спутниковыми снимками может обеспечить более точную диагностику, поскольку облака CB и TCU характеризуются большой вертикальной протяженностью; таким образом, температура воздуха на уровне их верхней границы является низкой.

Существуют местные датчики и/или сети, которые обнаруживают молнии в установленном районе, соответствующем зоне, подверженной явлениям TS и VCTS. Молния свидетельствует о наличии облаков СВ. К сожалению, имеется много случаев ложных сигналов тревоги, которые делают данный метод несколько ненадежным.

Существуют также датчики электрополя (генераторы поля), изменения показаний которых в широком диапазоне могут указывать на приближение грозы, однако надежных автоматизированных алгоритмов, связывающих электрическое поле с наличием облаков СВ, не существует.

## Алгоритмы распознавания

### Определение облачных слоев с использованием облакомера

Для расчета облачных слоев с использованием облакомера во всем мире используется большое количество алгоритмов, разработанных метеорологическими полномочными органами и/или проектировщиками систем.

Как правило, облакомер выдает данные каждые 15 или 30 сек. Отдельные данные о высоте нижней границы облаков (или отсутствии нижней границы облаков) используются за период в 30 мин. В целях ускорения обнаружения последних изменений в алгоритме учитываются данные последних 10 мин с двойным весовым коэффициентом. Основной принцип этого алгоритма состоит в том, что облака, проходящие над облакомером, обеспечивают надежные данные о количестве облачности. Тридцатиминутный период представляет собой компромисс между совокупным периодом, который является достаточно длинным, чтобы быть репрезентативным, и достаточно коротким, чтобы не усреднять и не обнаруживать с запозданием то или иное изменение, имеющее существенное значение. В некоторых странах используется более продолжительный период, равный 1 ч.

Отдельные случаи обнаружения облачности классифицируются по интервалам в 30, 60 или 150 м (100, 200 или 500 фут) в зависимости от высоты и образуют совокупность классов с определенной шириной и определенным количеством измерений в рамках данной ширины. Как правило, после этого процесса остаются несколько классов с ненулевым количеством измерений, и это число необходимо уменьшить. Классификация осуществляется в соответствии с высотой.

### Определение облачных слоев с использованием нескольких облакомеров

Если облакомеры установлены на расстоянии друг от друга, расчет облачных слоев необходимо производить для каждого из них. В тех случаях, когда установлено несколько облакомеров, то представляется возможным интегрировать результаты измерений облакомеров в определенном алгоритме, например, аналогичном описанному выше, который будет способен обработать большее число данных измерений нижней границы облаков.

### Обнаружение наличия кучево-дождевых (CB) и башеннообразных кучевых (TCU) облаков

Облакомер, являющийся единственным автоматическим датчиком, способным в настоящее время измерять высоту нижней границы облаков, не может распознавать облака CB или TCU. Поэтому такое распознавание можно осуществить только с помощью вспомогательного источника наблюдения. Если таким источником является человек, то центральный компьютер системы наблюдения должен предусматривать возможность введения данных об облачных слоях или изменения параметров слоев, рассчитанных автоматически, а также добавления к информации об этих слоях сокращений CB или TCU. Если таким источником является автоматическая система, имеющаяся информация, вероятно, указывает на наличие или отсутствие конвективных облаков (либо облаков CB или TCU) без указания соответствующей высоты, и, возможно, без указания количества облачности. Например, такая ситуация имеет место, когда этим источником является анализ радиолокационного отображения или распознавание облаков СВ, исходя из наличия молнии. В этом случае представляется трудным добавить к существующей группе облаков код CB или TCU либо ассоциировать ее с тем или иным количеством облачности и определенной высотой.

## Источники ошибок

### Высота нижней границы облаков

Обеспечиваемая облакомером информация является на сегодняшний день наилучшей оценкой истинной высоты нижней границы облаков. Облакомер дает очень точные данные в условиях хорошо обозначенной нижней границей облаков или однородного облачного слоя. На практике никакой другой прибор не обладает столь точными эксплуатационными характеристиками. В этой связи представляется трудным произвести истинную оценку погрешностей в результатах измерений. Одним из способов оценки погрешности измерений является сравнение показаний различных моделей облакомеров, при этом в случае расхождений истинное значение остается неизвестным. Кроме различий в показаниях высоты, сравнение может выявить различия в способностях обнаруживать облака, особенно в зависимости от высоты нижней границы облаков и метеорологических условий.

Погрешность возрастает в условиях размытой нижней границы облаков или во время осадков. В этом случае облакомер иногда показывает значение вертикальной видимости, которое зачастую близко к значению высоты нижней границы облаков, измеренному до или после этого момента. Во время осадков показываемое прибором значение высоты нижней границы облаков обычно меньше ее фактической величины.

### Вертикальная видимость

Некоторые облакомеры в определенных условиях обеспечивают данные о вертикальной видимости (аналогично профилю или сигналу обратного рассеяния). Истинность значения вертикальной видимости установить трудно.

Во-первых, нет четкого определения вертикальной видимости. В тех случаях, когда вместо высоты нижней границы облаков указывается вертикальная видимость, значение вертикальной видимости зачастую низкое (в интервале от 30 м (100 фут) до 210 м (700 фут)), и решение о том, учитывать ли при расчете данных о видимости тот или иной источник света или нет, имеет особо важное значение. Для таких величин характерно, что значение видимости, основанное на контрасте, и значение видимости, определенное с использованием источников света, отличаются примерно втрое.

Во-вторых, оценка вертикальной видимости с помощью визуальных наблюдений является очень трудной задачей; для этого требуются вертикальные ориентиры, но таких не существует (за исключением у основания башни). Если в качестве ориентира наблюдатель использует какую-либо вертикальную башню, то он обычно оценивает видимость по наклонной плоскости, и, следовательно, точность такой оценки ставится под вопрос.

### Количество облачности

Недостаток алгоритма расчета облачных слоев, используя данные измерений облакомера, заключается в том, что он зависит от количества облаков, проходящих над прибором. В крайних случаях наличие стационарного изолированного кучевого облака может привести к тому, что количество облачности будет указываться как OVC, однако вероятность такого случая мала. Более вероятной является ситуация, когда количество облачности недооценивается или переоценивается по категории (FEW-SCT, SCT-BKN, BKN-OVC). Опыт показывает, что сплошная облачность (OVC) чаще указывается при использовании автоматизированного алгоритма по сравнению с визуальными наблюдениями. Для наблюдателя каждый просвет в облачном покрове означает, что его необходимо характеризовать как BKN вместо OVC. При использовании облакомера вероятность обнаружения просвета ниже. Для наблюдателя характерна также тенденция переоценивать количество облачности, когда небо наполовину закрыто (переход SCT-BKN). Указанный эффект был задокументирован Соединенными Штатами Америки под названием "эффект заполнения" (рисунок 6) и связан с тем, что определенные просветы в облачном покрове невозможно видеть из-за эффекта наклонной видимости.

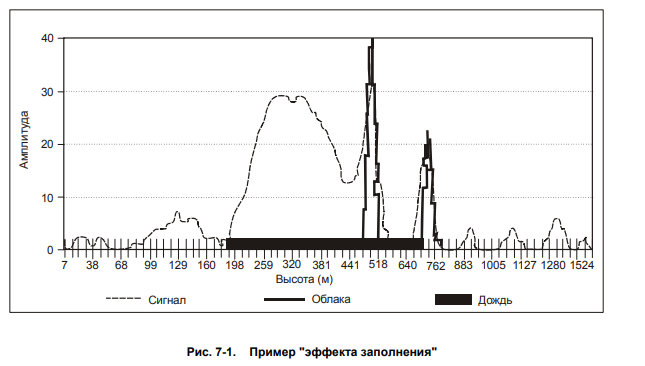


Рисунок 6 – «Эффект заполнения»

Данные автоматизированного алгоритма содержат значительные погрешности в случае медленно перемещающегося облачного слоя, который невозможно увидеть, пока он не пройдет над облакомером. Одним из методов уменьшения такого ограничения является определенное сочетание данных облакомеров с данными датчика облачного слоя, основанными на наблюдении за небом в инфракрасном режиме. В настоящее время ведутся работы над такой комбинацией.

### Распознавание кучево-дождевых (CB) и башеннообразных кучевых (TCU) облаков

В случае визуального наблюдения присутствие облаков СВ может быть обнаружено визуально (форма облаков), или такой вывод может быть сделан при наличии молнии или грома. Скрытое в облачном массиве кучево-дождевое облако может быть невидимым для наблюдателя, и таким образом никаких данных о нем не будет сообщаться. Если молния визуально обнаружена, то находящиеся на удалении облака СВ могут быть обнаружены. Визуальные наблюдения имеют особые характеристики, которые отличаются от данных автоматического обнаружения, основанных на анализе радиолокационного отображения. Зачастую наблюдатель также осведомлен о метеорологической ситуации, используя для этой цели радиолокационные отображения, спутники, модели прогноза и т. д. Поэтому специальные знания наблюдателя могут помочь обнаружить облака СВ, даже если их невозможно увидеть непосредственно с метеорологической станции.

Автоматическое обнаружение облаков СВ главным образом основано на превышении порогов их отражательной способности (например, 44 dBZ), связанной с распознаванием локальных очагов. Поэтому для распознавания наличия облаков СВ необходимо установить определенное максимальное расстояние от контрольной точки до очага. Чем меньше это расстояние, тем выше уровень распознавания наблюдателем облаков СВ, не обнаруженных с помощью автоматического анализа. И наоборот, при большом расстоянии уровень распознавания посредством автоматического анализа облаков СВ, которые не были обнаружены наблюдателем, будет выше. В тех случаях, когда высота нижней границы облаков является "небольшой", например 450 м (1500 фут), облако, расположенное на расстоянии 16 км, различается под углом 1,6° над горизонтом, т. е. настолько низко, что наблюдатель вряд ли сможет различить данное облако на большем расстоянии. Однако, если CB и TCU не скрыты в массиве других облаков, наблюдатель может разглядеть их на значительно большем расстоянии. Например, CB, вертикальная мощность которого составляет 7000 м (21 000 фут), можно разглядеть на расстоянии нескольких десятков километров, если оно не скрыто или не затенено другими облаками. Кроме того, в ночное время молнию зачастую можно увидеть на расстоянии до 100 км от места наблюдения. Это означает, что наблюдатель может разглядеть CB и TCU на значительно большем расстоянии, чем 16 км.

# Разработка метода для распознавания типов облачности

Для реализации данного метода необходимо объединить данные о высотах облачного слоя, полученные с облакомера и поток изображений с видеокамеры, как показано на рисунке 7.

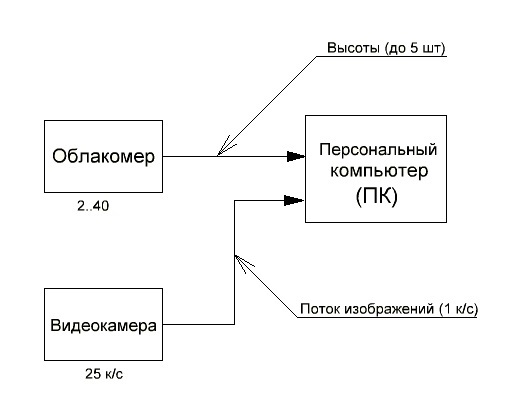


Рисунок 7 - Схема метода комбинирования измерений

Как видно из рисунка, необходимо обстоятельно рассмотреть вопрос описания выходных данных приборов и комбинирования количества информации, получаемой с каждого прибора, а также синхронизацию этих приборов.

Для этого в дальнейшем будет написана программа с использованием среды для разработки Gstreamer, которая будет выполнять обработку видеоизображения и анализировать данные о высотах, полученных с облакомера.

# Заключение

Научно-исследовательская работа рассматривает лишь один из аспектов проблемы. Исследования в этом направлении будут продолжены.

Облакомер, являющийся единственным автоматическим датчиком, способным в настоящее время измерять высоту нижней границы облаков, не может распознавать кучево-дождевые или башеннообразные кучевые облака. Такое распознавание можно осуществить только с помощью вспомогательного источника наблюдения.

Поэтому для дальнейшей работы будет использоваться метод распознавания, объединяющий в себе данные о высотах нижней границы облачности, полученные с облакомера, и поток видеоданных с видеокамеры, позволяющий дополнить недостающий объем информации, поступающей от облакомера.

# Список использованных источников

1. Облакомер // Военно-морской словарь / Гл. ред. В. Н. Чернавин. — Москва: Военное издательство, 1989. — С. 277. — 511 с. — 100 000 экз.
2. Doc 9837. Руководство по автоматическим системам метеорологического наблюдения на аэродромах [Электронный ресурс] : [сайт]. [2011]. URL:http://aviadocs.net/icaodocs/Docs/9837\_cons\_ru.pdf (дата обращения: 20.12.2018).
3. Зуев В.Е., Кабанов М.В., Современные проблемы атмосферной оптики. Том 4. Оптика атмосферного аэрозоля - Гидрометеоиздат (1987)
4. Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Параметры лидаров для дистанционного зондирования газовых молекул и аэрозоля в атмосфере. – С.-Пб: Изд-во БГТУ, 2001
5. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование – М.: Мир,1987. с. 269 – 276.