

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
(Росгидромет)

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова»
(ФГБУ «ГГО»)

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ НА АВИАЦИОННЫХ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

Санкт-Петербург 2011

1. Общие требования по обеспечению репрезентативности результатов наблюдений.

В то время, как синоптические наблюдения имеют цель по измерениям в одном месте получить репрезентативную величину для довольно большого района, метеорологические наблюдения для авиационных целей обычно выполняются в нескольких точках аэродрома и прилегающей к нему зоны с большей частотой, чтобы получить репрезентативные данные для достаточно ограниченных участков, таких, например, как зона захода на посадку, зона приземления, взлета и т.д.

Стандартные наблюдения должны производиться на авиационных метеорологических станциях в сроки и с частотой, которые устанавливаются страной-членом ВМО для удовлетворения потребностей национальной и международной аэронавигации с учетом региональных аэронавигационных условий. Специальные и другие нестандартные наблюдения должны производиться по тому же принципу. Стандартные наблюдения на аэродромах должны производиться с часовыми или получасовыми интервалами в течение целых или части суток, когда необходимо проведение воздушных операций, а специальные наблюдения выполняются между стандартными, если имеют место специфические изменения приземного ветра, видимости, дальности видимости на ВПП, текущей погоды и/или облачности.

Изменения метеоэлементов, требующие специальных наблюдений, перечислены в «Техническом регламенте» ВМО.

Особое внимание следует уделять выбору места для производства наблюдений или установки приборов, чтобы гарантировать репрезентативность получаемой информации для безаварийного выполнения взлета/посадки воздушного судна. Когда собирается информация с большой площади, необходима установка нескольких однотипных приборов, чтобы полученные с их помощью значения наблюдаемых величин были репрезентативными для всей площади, как это требует «Технический регламент».

Например, на длинных взлетно-посадочных полосах (ВПП) значения различных параметров, таких, как ветер, высота облачности, дальность видимости на ВПП, измеренные на одном участке летной полосы, могут заметно отличаться от значений, преобладающих на других участках ВПП.

При выборе места установки приборов на аэродроме важно учитывать требования к их размещению и эксплуатации, чтобы сами приборы и их обслуживание не представляли опасности для движения самолетов, и различное аэродромное оборудование не влияло на измеряемые величины.

Каждая страна - член ВМО должна принять меры для того, чтобы ее метеорологиче-

ские станции инспектировались достаточно часто для обеспечения высокого качества получаемой информации.

На аэродромах, где осуществляется заход на посадку с помощью посадочной РЛС, в особенности на категорированных, II, IIIА, IIIБ категорий с высоким уровнем транспортной загруженности необходимо использовать комплексные автоматические информационно-измерительные системы получения, обработки, передачи и представления в оперативном режиме информации о метеорологических параметрах, влияющих на выполнение посадки и взлета воздушных судов.

Требования к автоматическим метеорологическим системам наблюдений изложены в «Техническом регламенте» ВМО.

2. Наблюдения за облачностью.

Высота облаков и другие характеристики облачности являются одними из важнейших метеорологических величин, определяющих условия посадки и взлета воздушных судов. Полученные с помощью инструментальных измерений значения высоты нижней границы облаков (ВНГО) позволяют судить о высоте обнаружения пилотом наземных ориентиров и возможности выполнения полетов при данных метеорологических минимумах.

В настоящее время в мировой практике ведется разработка и внедрение нового поколения приборов для измерения высоты облаков, базирующихся на современной микроэлектронной технике, обработке больших массивов данных с помощью встроенных микропроцессоров, использовании сложных алгоритмов выделения и интерпретации эхосигналов от облачной атмосферы, использовании новых средств зондирования, в частности, полупроводниковых лазеров, а также твердотельных лазеров с использованием в качестве элемента накачки энергии полупроводниковых лазерных диодов.

Автоматическое получение информации о высоте облаков, сопоставимой с оценками пилота воздушного судна, совершающего посадку, является сложной задачей, не имеющей в полной мере удовлетворительного решения. Основными причинами этого являются сложная структура подоблачного слоя, большая временная и пространственная изменчивость высоты нижней границы облаков. Это крайне осложняет процедуру интерпретации эхо-сигнала, его связи с высотой визуального контакта пилота с наземными ориентирами.

В связи с этим важной задачей является анализ, обоснование и разработка требований к измерению высоты облаков с учетом принятой к использованию технологии метеообеспечения взлета/посадки воздушных судов.

Создание измерителей высоты облаков нового поколения требует не только разработки технических средств, но и проведения ряда экспериментальных исследований, связанных с разработкой алгоритмов работы прибора и его испытаниями в реальных метеорологических условиях.

3. Характеристика объекта измерения. Структура подоблачного слоя.

Для выполнения успешной посадки при ограниченной видимости и низкой облачности пилоту нужна информация о наличии непрерывного визуального контакта с наземными ориентирами ВПП, начиная с высоты принятия решения о посадке, вплоть до приземления.

Из-за сложной структуры вертикального профиля горизонтальной прозрачности в подоблачном слое атмосферы гарантировать достоверность информации о наличии непрерывного визуального контакта только по результатам измерений ВНГО и метеорологической дальности видимости у поверхности ВПП не представляется возможным.

В ряде работ исследуется структура подоблачного слоя.

Следует отметить, что нижняя граница облаков представляет собой не плоскую поверхность, а слой переменной оптической плотности с постепенным ухудшением видимости по мере проникновения внутрь этого слоя.

Исследования соотношений между наклонной и горизонтальной видимостью с целью определения условий видимости наземных ориентиров с борта самолета, находящегося на глиссаде снижения, показали, что в некоторых случаях дальность видимости можно оценивать по известной ВНГО. Были определены вероятности обнаружения наземных ориентиров в зависимости от величины горизонтальной видимости у земли. Слой ухудшенной видимости под облаками характерен для облаков высотой до 150 - 200м.

Коэффициент корреляции между наклонной и горизонтальной видимостью в подоблачном слое при отсутствии осадков достигает 0,92.

Распределение видимости с высотой под низкими облаками определяется как видимостью у поверхности земли, так и подоблачной дымкой. Под слоистыми облаками, например, подоблачная дымка в 86% случаев достигает поверхности земли.

В ряде работ была предпринята попытка сформулировать понятие ВНГО. Исходя из физики процесса облакообразования, ВНГО может быть определена как уровень конденсации водяного пара. В отраслевом стандарте "Термины и определения. Метеорологические измерения" ВНГО определяется как расстояние по вертикали до слоя атмосферы, содержащего капли воды или частицы льда размером не меньше 10^{-6} м и концентрацией не менее 10^8 м⁻³.

Указанные определения непригодны для практического использования ввиду сложной их технической реализации.

Было предложено за ВНГО принимать поверхность, выше которой горизонтальная дальность видимости меньше 1000 м.

Это определение может быть технически реализовано, например, методом оптической локации, поскольку указывает на светорассеивающие свойства объекта измерения и количественный критерий - уровень оптической плотности. Например, светолокатор ИВО по экспериментальным данным фиксирует в качестве ВНГО слой, в котором видимость составляет 300 - 400 м. Как будет показано ниже, критерий оптической плотности оказался наиболее удобным как с методической, так и с технической точки зрения.

Обеспечение сопоставимости результатов измерений ВНГО наземными датчиками с оценками высоты визуального контакта (ВВК) с борта воздушного судна остается до настоящего времени одной из самых трудных задач метеобеспечения взлета/посадки воздушных судов. Очевидно, что степень приближения данных о высоте облаков по наземным измерениям и ВВК по данным экипажа самолета зависит от принятой методики получения, обработки и представления получаемой измерительной информации потребителю.

Методика должна учитывать не только структуру подоблачного слоя, но также пространственную и временную изменчивость облаков, обеспечивать краткосрочный прогноз высоты нижней границы облаков, количества слоев и их пространственную протяженность.

4. Пространственная и временная изменчивость высоты нижней границы облаков (ВНГО)

Согласно результатам исследований временная изменчивость высоты нижних облаков (до 300 м) колеблется в широких пределах от 10 - 20 до 150 - 200 м. В отдельных случаях разности высот даже через 1 - 5 мин. могут достигать 200 - 300 м. Однако с увеличением значений разности высот повторяемость их быстро уменьшается.

Характер колебаний ВНГО существенно зависит от формы облаков и погодных условий, которые, в свою очередь, зависят от синоптического процесса. Так, например, при однотипной устойчивой внутримассовой облачности со слоистой структурой колебания нижней границы относительно невелики. Максимальные значения разностей высот через 1, 5 и 15 мин. не превышают 80 м. А по данным минутных измерений, полученных с помощью светолокационного облакомера РВО, изменение высоты облаков через интервалы времени 1, 5, 10 и 20 мин. не превышали 20 м.

Для учета временной изменчивости была предпринята попытка классификации низких облаков по признакам колебаний их нижней границы. Было выделено 5 групп изменчивости ВНГО, различающихся видом облачности и характером метеорологической ситуации. Для каждой группы были построены графики вероятностей пределов изменчивости через интервалы времени от 1 до 30 мин. Наиболее устойчивыми во времени оказываются облака высотой 100 - 300 м, а наименее устойчивыми ниже 100 м. Так, например, изменчивость через 1 мин. в пределах 10% высоты составляет 81% для высот ниже 100 м и 96 - 97% для облаков высотой 100 - 300 м.

В ряде работ в качестве меры изменчивости ВНГО предложено использовать средние квадратические отклонения σ отдельных измерений от средней высоты, определенной для данной реализации, а также от скользящей средней, рассчитанной для различных временных интервалов.

Показано, что с увеличением интервалов времени возрастает и σ . Максимальные значения σ за часовой интервал могут превышать 150 м, но, как правило, не превышают 50 м.

Значительно меньшее число работ представляет результаты исследований пространственной изменчивости ВНГО, в которых приводятся значения средних квадратических отклонений ВНГО на площади различного радиуса при разных значениях высоты облаков. Так, при высоте облаков, равной 100 м, в радиусе 30 км σ составляет около 40 м, а в радиусе 1 км - около 20 м.

Существует классификация облачных систем по синоптическим ситуациям (теплый фронт, холодный фронт). Протяженность фронтальных облачных систем соизмерима с длиной самого фронта, а ширина достигает несколько сотен километров.

Согласно исследованиям распределения облачных образований по размерам горизонтальные размеры кучевых образований составляли 200 - 1500 м, вертикальные 20 - 220 м и более. Слоисто-кучевые образования у нижней их границы имели длину 100 - 400 м, ширину 100 и 250 м и толщину 50 - 150 м.

5. Требования к информации о ВНГО в зоне взлета/посадки воздушных судов

Наибольшие требования к оперативности и пространственно-временному разрешению метеорологических данных предъявляет задача метеорологического обеспечения операций посадки и взлета воздушных судов.

Решение этой задачи должно выполняться с учетом технико-экономических факторов.

Информация о высоте нижней границы облаков, необходимой для определения вы-

соты обнаружения наземных ориентиров пилотом воздушного судна, находящегося на глиссаде снижения, должна быть репрезентативна при посадке по минимуму I категории (высота принятия решения 60 м) для участка глиссады от порога ВПП до БПРМ, причем наибольший вес имеет информация для области, близкой к точке, в которой воздушное судно, двигаясь по глиссаде, достигает высоты принятия решения (удаленной от края ВПП на расстояние порядка 800 м). При посадке по минимуму II и III категории (высота принятия решения соответственно 30 - 60 м и менее 30 м) эта пространственная область еще более сужается (удаление от края ВПП точки, соответствующей высоте 30 м на глиссаде, составляет около 350 м).

Необходимо иметь в виду, что использование данных связано с неизбежной задержкой, определяемой технологией сбора, представления данных и использования их диспетчерским и летным составом. Поэтому всегда в явной или неявной форме имеет место прогноз, т.е. экстраполяция данных на время этой задержки.

Для метеорологического обеспечения взлета и посадки воздушных судов необходим сверхкраткосрочный прогноз данных наблюдений на интервалах от 0,5 - 2 мин. до 10 - 20 мин., определяющих для разных этапов взлета и посадки задержку в использовании информации.

Данные, получаемые диспетчерами подхода и круга и передаваемые ими на борт воздушного судна, должны характеризовать условия на аэродроме к моменту посадки, т.е. быть репрезентативными на срок 10-20 мин.

Таким образом, определяется область временной и пространственной экстраполяции данных наблюдений и, соответственно, требования к временной и пространственной репрезентативности данных.

Так, например, при посадке по II категории необходимо обновление данных с периодичностью не более 1 мин.; время задержки при передаче результатов измерений диспетчеру посадки не более 15 с. Минимальная задержка в передаче данных на борт воздушного судна диспетчером 15 - 30 с, время полета (при получении данных перед последним разворотом, т.е. перед выходом на глиссаду) порядка 1 - 2 мин. Следует отметить, что с внедрением автоматических средств управления воздушным движением величина задержки будет уменьшаться.

Таким образом, для обоснования требований к метеоинформации могут быть сформулированы две формализованные задачи: сверхкраткосрочный прогноз на интервал до 2 мин, и на интервал 10-20 мин. Основной для выбора параметров системы измерений на аэродроме является первая задача, в которой определяются требования к данным, выдаваемым как текущее значение метеопараметров.

В рамках второй задачи получаем более устойчивые значения, репрезентативные для большей пространственной и временной области, дающие более полное представление о погоде в районе аэродрома.

6. Методы измерения ВНГО. Результаты сравнения.

Методы инструментальных наблюдений за ВНГО детально описаны в гл. 15 «Guide to meteorological instruments and methods of observation».

До появления приборов, использующих лазерную технологию (лидаров), в мировой практике применялись триангуляционные (с вращающимся лучом) и светолокационные приборы.

В настоящее время в отечественной практике триангуляционные приборы не используются.

Инструментально-визуальные наблюдения за высотой облаков показывают, что различные методы и приборы дают разные результаты измерений в одинаковых условиях.

Так, например, разности высот, определяемых с борта воздушного судна и с помощью наземного светолокационного измерителя ИВО, более чем в 50% случаев не превышают 20 м при высотах до 300 м. Однако, при этом самолетные данные имеют тенденцию к занижению.

Большие расхождения обусловлены в основном временным и пространственным сдвигом отсчетов. Результаты совместных измерений ВНГО лазерным измерителем ЛИНГО и светолокатором ИВО показали, что средний нормированный коэффициент корреляции, вычисленный по данным за весь период испытаний, составил 0,92, т. е. оказался достаточно высоким.

Наибольший интерес представляют результаты сравнений облакомеров, проведенных в феврале - июле 1986 г. в Великобритании. В международных сравнениях участвовали ведущие мировые фирмы, такие как Vaisala(Финляндия), ASEA (Швеция), Impulsphisc (ФРГ), Белфорт (США), Crouse/Hind(Нидерланды).

Лазерные приборы были размещены по кругу диаметром 60 м. На расстоянии 20 м друг от друга. Однотипные приборы (по два от каждой фирмы) размещались напротив друг друга. Триангуляционные приборы были установлены за пределами круга на расстоянии 100 и 350 м от его центра.

Результаты показали высокую техническую надежность измерений приборов нового поколения. Однако, большой разброс показаний в сложных метеорологических условиях указывает на ряд нерешенных проблем в приборах и методах обработки результатов изме-

рений.

Анализ показал, что основной вклад в разброс показаний вносят методические погрешности, связанные с особенностями объекта измерения.

Пространственно-временная изменчивость характеристик облачности ограничивает достоверность результатов измерений нижней границы облаков с помощью наземных оптических локаторов. Локальный характер измерений осложняет процедуру интерпретации получаемой измерительной информации в отношении связи результатов измерений с высотой визуального контакта пилота с наземными ориентирами. Сложная структура, например, многослойная облачность с разрывами в нижнем слое не позволяет использовать результаты измерений в оперативной практике без дополнительной статистической обработки. Традиционные методы обработки, например осреднение ряда измерений, приводят к появлению ложной информации о наличии промежуточного слоя, искажая информацию о высоте нижней границы облаков.

Алгоритмы обработки измерительной информации должны учитывать следующие свойства объекта измерения:

1. Нижняя граница облаков представляет собой не поверхность, а слой переменной оптической плотности с постепенным ухудшением видимости до высоты, на которой теряется видимость горизонта, поэтому результаты единичных измерений должны соответствовать высоте, на которой оптическая толщина подоблачного слоя достигает установленного порогового значения.

Это обеспечивает однородность результатов единичных измерений в отношении их связи с оценкой высоты визуального контакта пилота воздушного судна с наземными ориентирами.

Пороговое значение оптической толщины определяется константой в математическом выражении

$$\bar{\mu} h = \text{const}; \quad (1)$$

где $\bar{\mu}$ - среднее значение коэффициента ослабления света в слое толщиной h ;

h - физическая толщина подоблачного слоя;

$\bar{\mu} h$ – оптическая толщина подоблачного слоя.

Чем прозрачнее подоблачный слой, тем раньше пилот воздушного судна, идущего на посадку, войдет в визуальный контакт с наземными ориентирами. Критерий оптической толщины позволяет учесть это обстоятельство.

Кроме того, использование этого критерия уменьшает вероятность получения ложной информации о высоте нижней границы облаков при наличии осадков и подоблачной дым-

ки.

2. Облачные слои имеют большую пространственную протяженность, и, когда пилот воздушного судна оценивает высоту нижней границы облаков по потере видимости горизонта, непродолжительные разрывы в облачном слое мало влияют на условия обнаружения наземных ориентиров. При измерении с помощью наземных оптических локаторов разрывы в облачном слое приводят к потере информации о высоте нижней границы облаков, поэтому алгоритмы обработки результатов измерений должны обеспечивать сохранение потерянной информации путем экстраполяции данных на определенную пространственную область до тех пор, пока масштаб облачных образований снизится до безопасной величины.

3. Для подоблачного слоя характерны значительные пространственно-временные колебания оптической плотности. Это при темпе зондирования 10-15 с приводит к разбросу получаемых значений высоты облачного слоя. Локальный характер измерений, свойственный методу оптической локации, усиливает этот процесс. В результате разброс значений высоты нижней границы облаков может превысить величину допускаемой погрешности измерений. Использование процедуры осреднения эффективно только для случая однослойной сплошной (без разрывов) облачности. Кроме того, среднее значение не совпадает с уровнем потери горизонтальной видимости пилотом воздушного судна. Этот уровень находится несколько ниже осредненного за интервал наблюдения значения результатов измерений, поэтому алгоритм интерпретации получаемых данных должен содержать соответствующую процедуру статистической обработки результатов измерений.

Отметим, что первое требование относится к алгоритму обработки эхо-сигналов, то есть первичной информации, а второе и третье к алгоритмам статистической обработки результатов измерений.

Алгоритм обработки эхо-сигналов имеет цель повысить надежность обнаружения облачных слоев при наличии подоблачной дымки и осадков. Обычно он содержит процедуру восстановления профиля отражаемости искаженного в результате потери энергии зондирующего сигнала из-за рассеивающих свойств облачной атмосферы. Он также содержит процедуру логической обработки первичной информации, которая строится на основе анализа формы огибающей профиля отражаемости. По результатам анализа принимается решение о наличии или отсутствии облачных слоев, осадков, приземного тумана, оценивается вертикальная видимость, поэтому алгоритм первичной обработки во многом определяет качество данных о характеристиках облачной атмосферы.

Алгоритм статистической обработки имеет цель обеспечить устойчивость, достоверность и репрезентативность выходных данных.

7. Методы обработки измерительной информации в облакомерах, использующих лазерную технологию

Принцип работы облакомеров, использующих метод оптической локации, основывается на измерении времени, необходимого для прохождения атмосферы коротким импульсом света от передатчика облакомера до нижней границы облака и в обратном направлении до приемника облакомера.

$h = ct/2$ – выражение, связывающее время задержки (t) и высоту обратного отражения (h), где c – скорость света.

Это упрощенное объяснение принципа работы в предположении, что на уровне нижней границы облаков имеет место скачок оптической плотности, как если бы нижняя граница облаков представляла собой твердую поверхность. Однако, как было сказано ранее, нижняя граница облаков представляет собой слой переменной оптической плотности с постепенным ухудшением видимости по мере проникновения вглубь облака. Кроме того, под нижней границей находится подоблачный слой, нередко достигающий поверхности земли.

Вследствие этого отражение частиц света происходит на всех высотах, и поэтому фактический отраженный сигнал может выглядеть так, как показано на рисунке 1.



Рис.1 Типичный сигнал измерения

Форма отраженного сигнала будет давать информацию о свойствах атмосферы на определенной высоте. По отраженному сигналу может быть получена информация о тумане, осадках и облаках. Так как туман и осадки ослабляют импульс света, отраженный сигнал от нижней границы облака будет меньшим по величине по отношению к сигналу от осадков. Следовательно, информация о тумане и осадках может быть использована для оценки этого затухания и вычисления необходимой коррекции формы эхо-сигнала.

Краткое теоретическое обоснование способа преобразования эхо-сигналов оптического локатора применительно к задаче измерений высоты облаков в сложных метеорологических условиях состоит в следующем. Функция, отображающая форму эхо-сигнала на входе приемника светолокатора, соответствует математическому выражению

$$i(z) = kP\mu(z)\ell \exp [-c \bar{\mu}(z)t]G(z) \quad (2)$$

где: P- мощность излучения;

k - коэффициент, учитывающий параметры приемно-передающего тракта и значение нормированной индикатрисы рассеяния назад;

$\mu(z)$ - показатель рассеяния света в элементарном объеме на удалении z от светолокатора;

$\ell = \frac{c\tau}{2}$ - толщина рассеивающего объема (половина пространственной протяженности импульса излучения);

τ - длительность зондирующего импульса;

c - скорость света;

t - время, прошедшее с момента излучения;

$c \bar{\mu}(z)t$ - удвоенная оптическая толщина подоблачного слоя атмосферы; ($c \bar{\mu} t = 2 \bar{\mu} z$);

$\bar{\mu}(z)$ - среднее значение показателя ослабления света на участке трассы длиной z;

G(z) - геометрический параметр оптической части светолокатора (обычно: $G(z) = z^2$)

Чтобы извлечь информацию о профиле средних значений оптической плотности среды вдоль трассы зондирования из (2), необходимо предварительно скомпенсировать влияние геометрического параметра G(z) (определяется экспериментально) и получить сигнал вида

$$i(z) = kP\mu(z)\ell \exp [-c \bar{\mu}(z)t] \quad (3)$$

После компенсации геометрического параметра выполняют интегрирование и получают функцию, временной ход которой соответствует выражению:

$$J(z) = [1 - \exp(-2 \bar{\mu}(z)z)] \frac{kP}{2} \quad (4)$$

Выражение (4) показывает, что для каждого отрезка трассы зондирования длиной z можно определить среднее для этого отрезка значение показателя ослабления $\bar{\mu}(z)$, другими словами - профиль средних значений показателя ослабления света в направлении трассы зондирования.

Важно отметить, что функция J(z) асимптотически стремится к максимальному значению

$$J_{\max} = \frac{kP}{2} \quad (5)$$

Величина $\bar{\mu}(z)$ влияет только на скорость приближения $J(z)$ к $J_{млх}$.

Применительно к задаче выделения сигналов от облаков на фоне мешающих сигналов от дымки и осадков важно получить информацию о профиле отражаемости, т. е. об оптической плотности атмосферы в каждой точке трассы зондирования, а не о среднем значении прозрачности на каждом отрезке трассы длиной z .

Эту информацию можно извлечь из (3), если скомпенсировать влияние множителя $\exp[-c\bar{\mu}(z)t]$, который можно определить из формул (4) и (5):

$$\exp[-c\bar{\mu}(z)t] = \exp[-2\bar{\mu}(z)tz] = \frac{J_{\max} - J(z)}{J_{\max}} = 1 - \frac{J(z)}{J_{\max}} \quad (6)$$

Разделив (3) на (6) получим:

$$J^*(z) = kP\mu(z)\ell \quad (7)$$

Из (7) видно, что временной ход функции $J^*(z)$ соответствует профилю отражаемости или профилю оптической плотности вдоль трассы зондирования $\mu(z)$.

Поскольку k , P и ℓ являются заданными или контролируются в процессе измерения, то обеспечивается прямая пропорциональность между $J^*(z)$ и $\mu(z)$. Это означает, что эхо-сигнал от подоблачной дымки после коррекции формы эхо-сигнала по интенсивности всегда меньше сигнала от облака, что и позволяет в устройствах автоматизированной обработки уверенно различать эти сигналы по амплитуде.

Оценка "вертикальной видимости" может быть вычислена по профилю коэффициента поглощения, благодаря прямой зависимости коэффициента поглощения и видимости при условии, что принят постоянный пороговый контраст. Видимость будет просто высотой, где интеграл профиля коэффициента поглощения, начиная с земли, равен натуральному логарифму порогового контраста, знак значения не имеет.

8. Алгоритмы статистической обработки результатов измерений ВНГО

Рассмотренные алгоритмы обработки измерительной информации повышают достоверность результатов единичных измерений высоты облаков, однако, на этом обработку измерительной информации нельзя считать завершенной. При наличии разрывов в облачном слое последовательность единичных измерений представляет собой скачкообразный процесс. Использовать в таком виде информацию без предварительной статистической обработки нельзя. Традиционные методы обработки для решения этой задачи непригодны. Так, например, при двухслойной облачности с разрывами в нижнем слое обычное осреднение последовательных единичных измерений приведет к ложной информации о нали-

чии промежуточного слоя.

Для решения этой задачи разработаны нетривиальные методы статистической обработки, которые используются в отечественных приборах и системах. Общими для всех методов являются следующие операции:

- формирование скользящей выборки из последовательных единичных измерений за интервал наблюдения T (обычно $T=2$ мин);
- преобразование поступающих в хронологическом порядке данных в упорядоченную выборку по возрастанию значений высоты облаков H ;
- отбор определенного заранее заданного порядкового номера из последовательных измерений, попавших в упорядоченную выборку.

Предлагается для этой цели использовать так называемую 30%-ную порядковую статистику. Это означает, что, если упорядоченная выборка содержит 100 единичных измерений, то тридцатое по порядку возрастания значение H выбирается в качестве результата статистической обработки.

Более сложный алгоритм реализован в автоматической станции КРАМС - 2. Алгоритм включает отбраковку значений, выходящих за границы диапазона измерений, отбраковку выбросов на краях упорядоченной выборки, разделение оставшихся измерений на две группы по принятому критерию, оценку принадлежности полученных измерений к одному или двум слоям, формирование выходных данных с учетом этой проверки, т. е. выдачу информации о высоте одного или двух слоев облачности, их сплоченности (пространственной протяженности).

Рассмотрим более простой алгоритм, специально разработанный для использования в лазерном измерителе высоты облаков отечественного производства ДОЛ - 2.

Результаты единичных измерений высоты облаков размещаются в ячейках цифровой памяти так, что порядковый номер ячейки определяет значение высоты, а код записи указывает количество измерений, попавших в данную градацию за скользящий интервал наблюдения T . Таким образом формируется упорядоченная по возрастанию значений высоты выборка данных, состоящая из 13 измерений за 2-х минутный интервал наблюдения T .

Затем выполняют считывание записанных данных скользящим вдоль шкалы высот «окном» с охватом нескольких соседних ячеек памяти. Общее количество ячеек памяти определяется приемлемой погрешностью дискретизации данных, а число ячеек памяти в скользящем «окне» - допустимой погрешностью измерений. Положение «окна» относительно шкалы высот, при котором количество измерений $n(H)$, попавших в данную градацию за скользящий интервал наблюдений T , равно или превышает заданное пороговое значение $n_{\text{пор}}$, определяет нижнюю границу облачного слоя. Оптимальная величина порога находится в пре-

делах: $n_{\text{пор}} = 0,3 \div 0,5N$, где N - число зондирований за интервал наблюдения T .

Скользящая выборка данных формируется таким образом, что очередной результат измерения записывают в хронологическом порядке, отбрасывая первый отсчет в хронологической выборке. Формируют новый объем входных данных и повторяют обработку до получения нового результата. Выбор порогового значения $n_{\text{пор}} = 0,3 \div 0,5N$ обеспечивает устойчивость выходных данных при наличии разрывов в облачном слое. Это объясняется тем, что положение "окна" относительно шкалы высот не изменится даже, если половина зондирующих сигналов N прошла мимо облачного слоя (при наличии разрывов).

Скользящее вдоль шкалы высот "окно" обнаружит второй слой облаков и определит его высоту таким же образом, как и высоту первого слоя. Однако при значительных колебаниях нижней границы первого слоя разброс результатов измерений может превысить ширину "окна", в этом случае часть измерений может быть ошибочно отнесена по принадлежности ко второму слою облаков. Поэтому алгоритм предусматривает дополнительное условие для обнаружения второго слоя облаков. Согласно этому условию второй слой, близко расположенный к первому, будет обнаружен в том случае, если существует второй максимум функции $n(H)$, огибающая функции $n(H)$ по существу является функцией повторяемости эхо-сигналов от облачной атмосферы вдоль трассы зондирования.

Рассмотренный метод скользящего "окна" позволяет надежно разделять облачные слои и обеспечивает устойчивость выходных данных при наличии разорванной облачности.

В заключение отметим, что алгоритмы первичной обработки эхо-сигналов и последующей статистической обработки результатов измерений по методу скользящего окна существенно повышают качество выходных данных в сложных метеорологических условиях - при наличии осадков, подоблачной дымки и разрывов в нижнем слое облаков.

Эффективность используемых алгоритмов статистической обработки результатов измерений показана на рисунках.

На рисунке 2 дан график результатов измерений высоты облаков с помощью зарубежного лазерного прибора типа СТ25К фирмы «Вайсала» (Финляндия).

На рисунке 3 показаны результаты измерений установленного рядом прибора отечественного производства ДОЛ-2, использующего статистическую обработку результатов измерений.

На рисунке 4 дополнительно показаны результаты измерений прибором фирмы «Вайсала» после статистической обработки по алгоритму прибора ДОЛ-2.

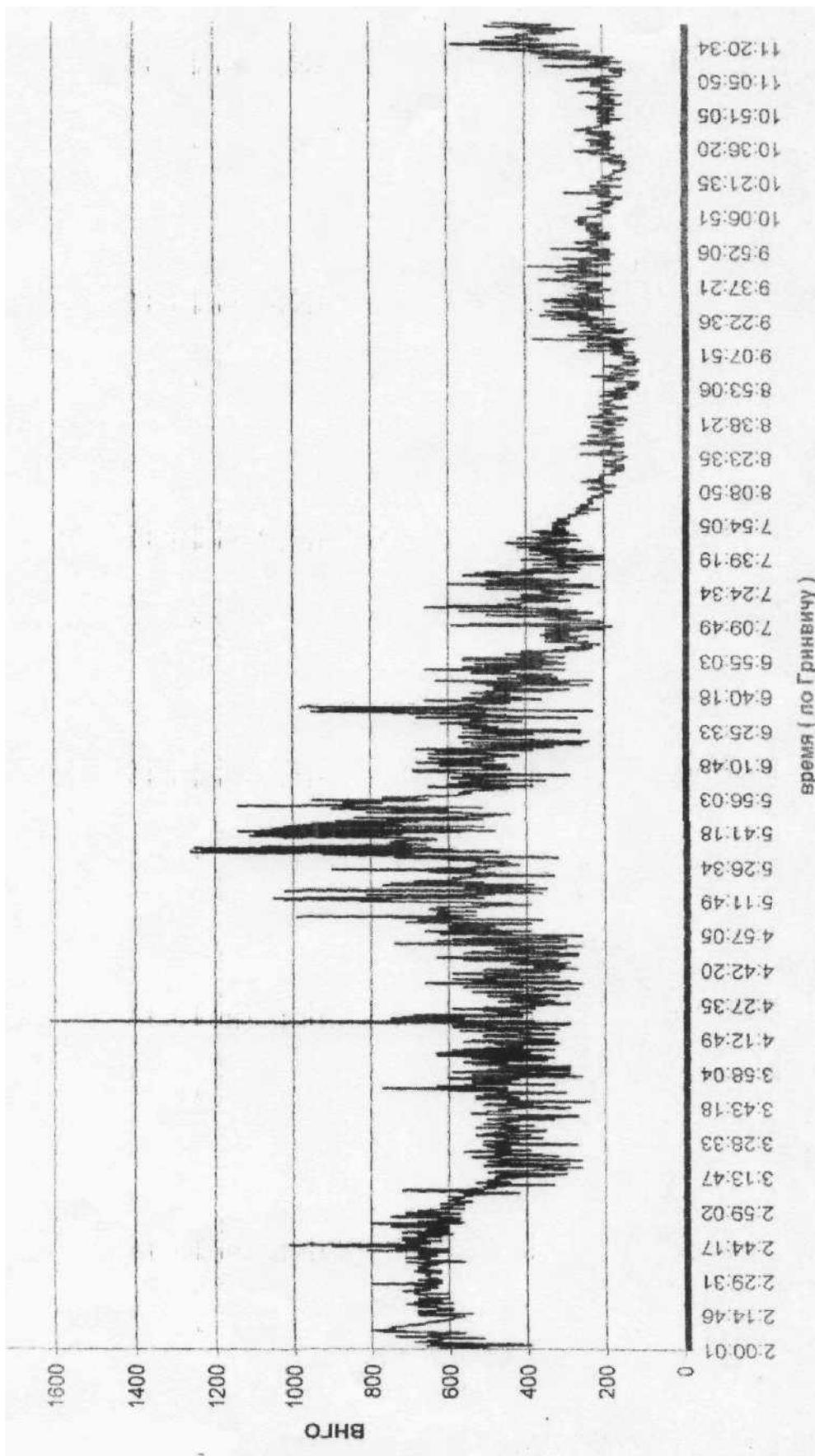


Рисунок 2 – СТ25К. График измерения ВНГО

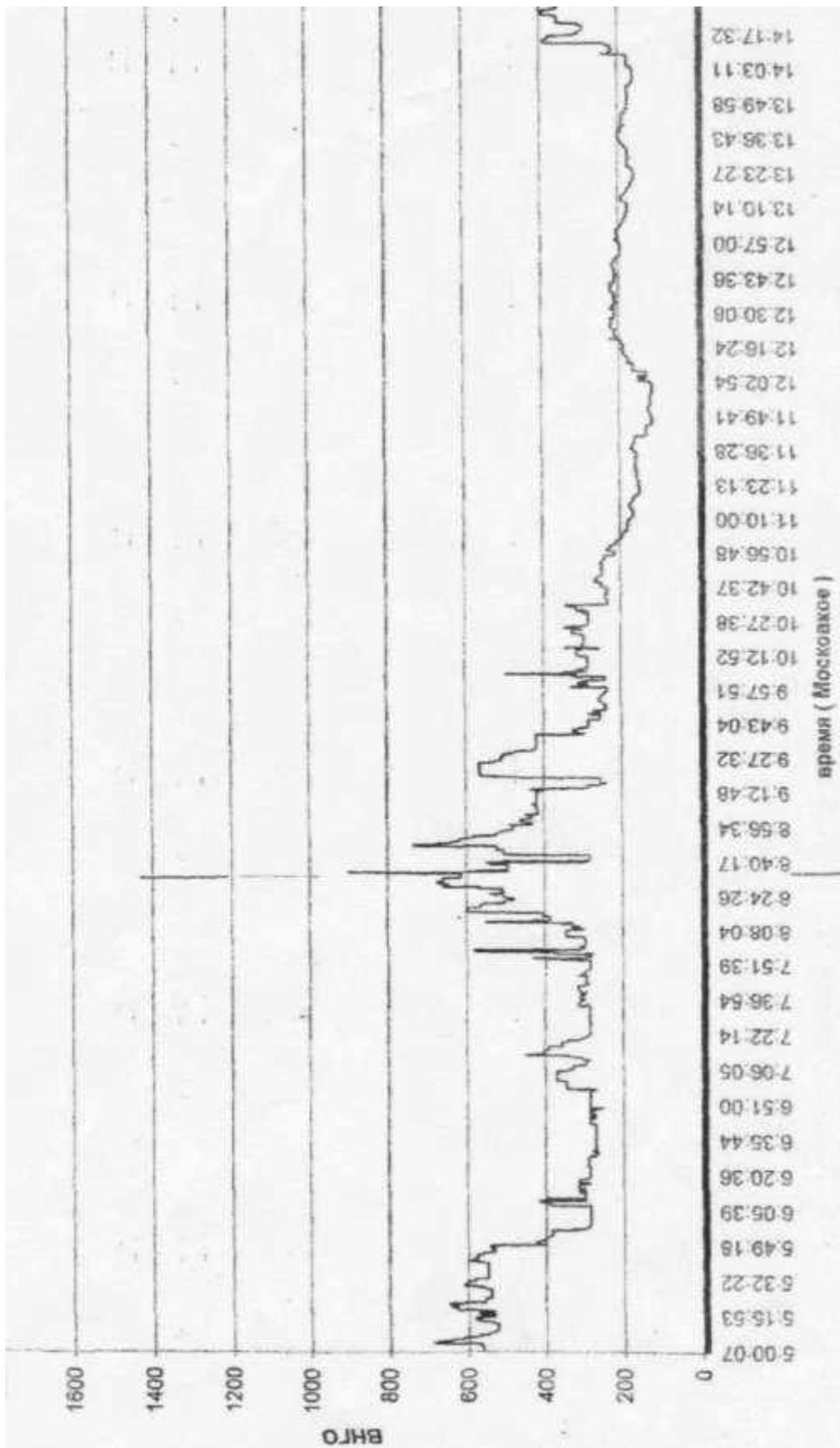


Рисунок 3 – ДОЛ-2 – График измерения ВНГО

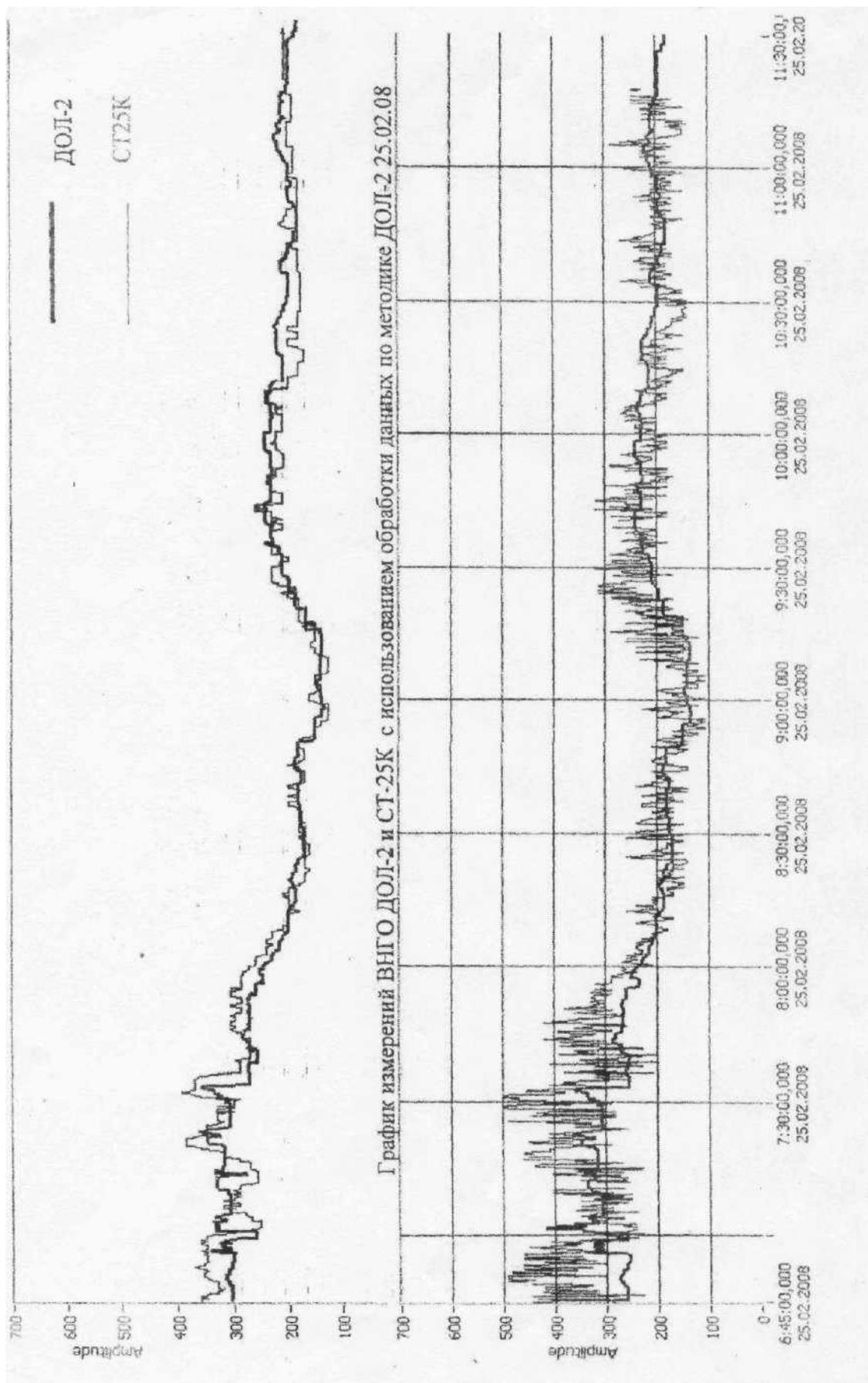


Рисунок 4 – ДОЛ-2 – График исходных измерений ВНГО ДОЛ-2 и СТ25К

9. Средства измерений высоты облаков, использующие лазерную технологию LIDAR (Light detection and ranging)

На авиаметеорологической сети станций Российской Федерации эксплуатируются как светолокационные измерители высоты облаков (ИВО, РВО), так и средства измерений нового поколения, использующие лазерную технологию обработки измерительной информации (лидары).

К основным недостаткам светолокационных измерителей относятся нарушение работоспособности в условиях осадков, особенно в виде снега.

Это прежде всего связано с параметрами зондирующего светового импульса. Длительность светового импульса (порядка одной микросекунды) слишком велика для обнаружения неоднородностей оптической плотности атмосферы в направлении зондирования. Профиль оптической плотности оказывается сильно сглаженным, что не позволяет получать достоверные данные о высоте нижней границы облаков в сложных метеорологических ситуациях при наличии осадков и подоблачной дымки.

Эхо-сигнал от осадков формируется слоем атмосферы толщиной в несколько сотен метров, что создает помеху встречного рассеяния, затушевывающую положение нижней границы облаков.

В настоящее время светолокационные измерители вытесняются приборами нового поколения, использующими очень короткие импульсы оптического излучения и современную технологию обработки измерительной информации.

Основные сведения об этих измерителях даны в приложении А.

Библиография

1. Кожарин В.С. О закономерностях колебаний высоты нижней границы облаков. - Метеорология и гидрология, 1968, № 6, с.29-35.
2. Абрамович К.Г. Об изменчивости высоты нижней границы облаков. - Метеорология и гидрология, 1968, № 5, с.30-41.
3. Клинов Ф.Я. Нижний слой атмосферы в условиях опасных явлений погоды. - Л. Гидрометеиздат, 1978, 256 с.
4. Дэвис Н.Э. Изменение основания низкой облачности в зависимости от времени, расстояния и высоты. - Гидрометеорология за рубежом, 1970, вып. 7
5. Каплан С.М. О характеристиках временной структуры облачности. - Метеорология и гидрология, 1968, вып.5, с.42-48
6. Михайленко Н.М., Щербина М.И. Сравнительная оценка различных методов измерения нижней границы облаков. - Метеорология, климатология и гидрология, 1969, вып. 4, с.49-52
7. Рубинштейн М.В. О сравнимости высот нижней границы облаков, измеренных различными способами. - Труды Гидрометцентра СССР, 1967, вып. 7, с.63-72
8. Давид Х. Дшердш Сравнительные испытания датчиков высоты нижней границы облаков, используемых при регулярных наблюдениях. - Информационные материалы по гидрометеорологическим приборам и наблюдениям. Сб.54, М.1973
9. Григорьев В.М. и др. Экспериментальные результаты лазерного зондирования облаков и подоблачной дымки. – Труды НИИП. 1982, вып. 42, с.3-14
10. Зак Е.Г., Марфенко О.В. Структура нижней кромки облачного покрова. – Труды ЦАО, 1972, вып. 7, с.3-4
11. Гоголева Е.И. Статистические исследования наклонной видимости при низких облаках. – Труды ГГО, 1964, вып.153, с.56-74
12. Резчикова А.А., Тонкова З.В. О связи высоты нижней границы облаков с дальностью видимости. – Труды ЦАО, 1952, вып. 7, с.16-21
13. Рацимор М.Я. Вертикальное распределение горизонтальной видимости под облаками и в облаках. – Труды ЦИП, 1966, вып. 157, с.57-70
14. Рацимор М.Я. О вертикальной видимости при низких облаках. – Труды Гидрометцентра СССР, 1975, вып. 162, с.53-56
15. Нестерук В.Н. Погода и полеты вертолетов. – Авиация и космонавтика, 1966, № 11, с.32-35
16. Беспалов Д.П. К определению понятия «высота нижней границы облаков». – Труды ГГО, 1975, вып.345, с.3-12

17. Абрамович К.Г. Условия образования и прогноз низких облаков.- Труды Гидромет-центра СССР, 1979, вып. 78, с.124
18. GUIDE TO METEOROLOGICAL INSTRUMENTS AND METHODS OF OBSERVATION.-WMO-No.8 (Seventh edition) (6 August 2008)
19. Fremming O. An investigation of the gorisontal visibility under low clouds in order to obtain results that can be of practical use in the air traffic. – Meteorol. Annaler., Oslo, 1959, Bd. 4, № 15, p.401-430

Приложение А (справочное)

Некоторые сведения о лазерных измерителях ВНГО

А.1 Описание лазерного облакомера ДОЛ-2 (производства ОАО «ЛОМО»)

Назначение облакомера ДОЛ-2

Датчик облаков лазерный предназначен для непрерывного дистанционного измерения высоты нижней границы облаков (ВНГО), определения количества облачных слоев, вертикальной видимости, документирования результатов измерений и отображения информации с целью метеобеспечения взлета и посадки воздушных судов на аэродромах.

Измерения могут проводиться в любое время суток.

Датчик может быть использован автономно либо в составе автоматизированных метеостанций (АМС).

Условия эксплуатации датчика:

– Устройство приемно-передающее (УПП), размещаемое на открытом воздухе (группа 1.10 исполнения УХЛ по ГОСТ РВ 20.39.304–98) сохраняет работоспособность и внешний вид при следующих климатических условиях:

- при температуре окружающей среды от минус 50 до 50 °С;
- при относительной влажности до 98% при температуре 35 °С;
- атмосферном давлении от 700 до 1067 гПа (525–800 мм рт. ст.);

– Блок управления (БУ), размещаемый в помещении, (группа 1.1 исполнение УХЛ по ГОСТ РВ 20.39.304-98) сохраняет работоспособность и внешний вид при следующих климатических условиях:

- при температуре окружающей среды от 5 до 40 °С;
- при относительной влажности до 98% при температуре 35 °С;
- атмосферном давлении от 700 до 1067 гПа (525–800 мм рт. ст.).

Оценка соответствия датчика требованиям ГОСТ РВ 20.39.304-98 в части устойчивости к климатическим воздействиям проводится по ГОСТ РВ 20.57.306-98.

Общий вид датчика показан на рисунке А.1

Технические характеристики

Диапазон измерения ВНГО от 10 до 2000 м.

Пределы допускаемой абсолютной погрешности:

- в диапазоне от 10 до 100 м.....± 10 м
- в диапазоне свыше 100 до 2000 м.....± (5,0 + 0,05Н) м, где Н – ВНГО.

Смещение нуля – значение ВНГО при нулевой высоте нижней границы облаков (3 ± 3) м;

Датчик обеспечивает индикацию на БУ:

а) в режиме тестирования

- ВНГО первого слоя (347 ± 22) м;
- ВНГО второго слоя (3040 ± 157) м;

б) индикацию работы датчика во всех режимах.

Датчик сохраняет работоспособность при напряжении сети от 187 до 242 В частотой (50 ± 2,5)

Гц.

Полная мощность, потребляемая датчиком, включая обогрев, защитного стекла, не превышает 0,6 кВА.

Датчик обеспечивает:

- мгновенные измерения ВНГО и их статистическую обработку;
- аналогичные измерения для второго облачного слоя.

В датчике обеспечено дистанционное включение и выключение лазера с блока управления.

При подаче питающего напряжения на УПП функционируют системы обогрева датчика и защитного стекла; электронные средства приема сигнала, а также контроллер готовы к работе, одна-

ко зондирование атмосферы не производится, лазер не функционирует.

Зондирование атмосферы производится УПП только при наличии связи с БУ, при отсутствии связи (БУ выключен, линия связи повреждена) зондирование приостанавливается.

При переводе датчика в режим “ТЕСТ” УПП не производит зондирования атмосферы, лазер не функционирует.

ВНИМАНИЕ – Для сбережения ресурса лазера рекомендуется отключать БУ при отсутствии облачности.

Датчик обеспечивает обмен информацией между УПП и БУ на расстоянии не менее 8 км по двухпроводной аэродромной линии связи сопротивлением не более 100 Ом на 1 км.

Время установления рабочего режима датчика после включения питания должно быть:

- при температуре окружающей среды выше 0⁰С - не более 2 мин
- при температуре окружающей среды ниже 0⁰С - не более 1,5 час.

ПРИМЕЧАНИЕ - Под рабочим режимом понимается штатный режим измерения ВНГО

Датчик зондирует атмосферу с интервалом времени между пачками зондирования лазерными импульсами 15 с.

При отсутствии облаков и при вертикальной видимости более 3000 м датчик информирует о том, что мгновенное и статистическое значение вертикальной видимости превышает 3000 м.

В датчике предусмотрена звуковая и визуальная сигнализация при достижении ВНГО порогового значения по согласованию с пользователем.

В датчике обеспечена передача данных ВНГО от БУ по интерфейсу RS-232 на АМС или ПЭВМ типа IBM PC.

Состав датчика

Датчик (рисунок А.1) состоит из УПП (1) и БУ (2), соединенных между собой аэродромной линией связи. УПП предназначен для работы на открытом воздухе. Содержит оптико-электронные узлы, необходимые для сбора и обработки информации об обнаружении облаков, их высоте и слоистости.

БУ предназначен для управления и контроля работы УПП, а также индикации результатов измерений, статистической обработки данных, архивации и передачи результатов измерений на АМС либо ПЭВМ типа IBM PC.

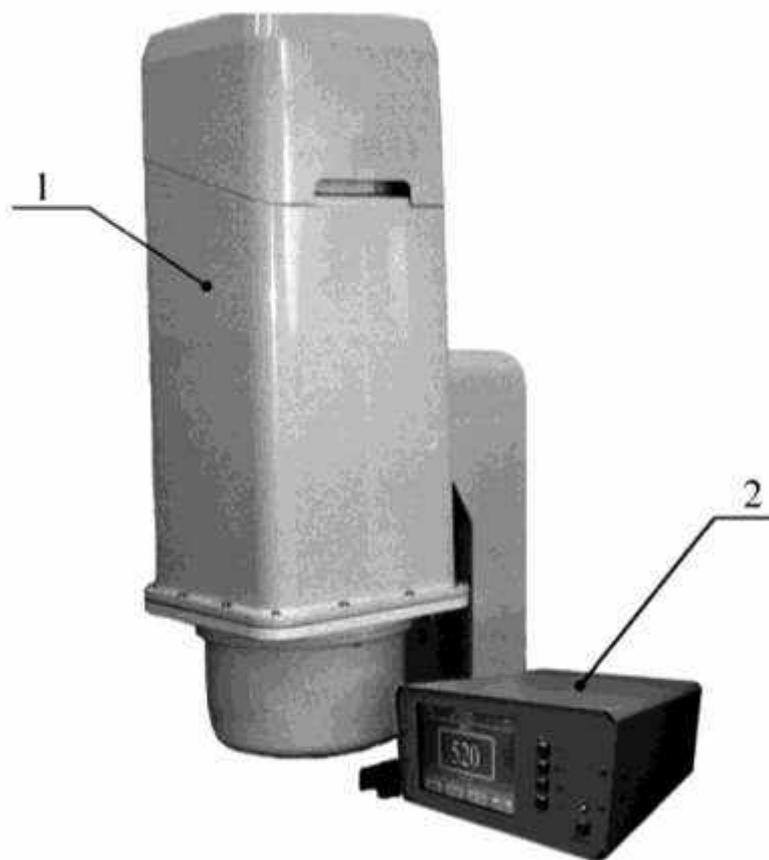


Рисунок А.1 – Общий вид датчика

Принцип действия

Принцип действия датчика основан на измерении времени прохождения атмосферы лазерным импульсом. Импульс достигает нижней границы облаков, отражается и принимается приёмником.

В датчиках использована лазерная технология, позволяющая формировать пачки лазерных импульсов и осуществлять зондирование в вертикальной плоскости. Излучение, рассеянное за счет тумана, дымки, осадков и облачных слоев, принимает фотоприемное устройство (ФПУ) и формирует результирующий профиль обратного рассеяния, который проходит цифровую обработку с целью получения необходимой информации. При этом выделяется до двух слоёв облачности и определяется высота их нижних границ.

Конструктивно канал приемо-передающий (КПП) построен по оптической схеме с совмещёнными оптическими осями излучающего канала с выходной апертурой 240 мм и приёмного канала с входной апертурой 70 мм, в фокусе которого находится рпн – фотодиод.

Электронная схема фотоприёмного устройства преобразует отражённые лазерные импульсы в электрические сигналы, которые преобразуются в цифровую форму с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) с шагом дискретности 50 нс, что соответствует прохождению лазерным импульсом (туда и обратно) расстояния в 7,5 м.

При отсутствии облаков в диапазоне более 3000 м на блоке управления выдается информация об отсутствии облаков «>3000».

При отсутствии возможности выделить границу нижнего облачного слоя датчик определяет вертикальную видимость. Индикация вертикальной видимости сопровождается сообщением «Осадки».

Период зондирования составляет (15 ± 2) с.

Схема электрическая структурная

Схема электрическая структурная представлена на рисунке А.2.

Источником сигнала зондирования является полупроводниковый лазер, который расположен в нижней части передающего канала. Сигнал от лазера, отраженный от облака, поступает через

оптическую систему на кремниевый pin – фотодиод фотоприемного устройства ФПУ. Преобразованный из оптического в электрический сигнал поступает на усилитель и с него передается в контроллер. Усилитель и контроллер установлены на диске в нижней части КПП.

Контроллер осуществляет управление передающим и приемным каналами в соответствии с временными диаграммами работы прибора, контролирует работоспособность аппаратных средств, выполняет функции по обработке профиля обратного рассеивания, получая информацию о количестве и высоте соответствующих облачных слоев, а также осуществляет обмен информацией с БУ.

В случае образования инея или попадания осадков на защитное стекло датчика, контроллер вырабатывает команду включения кондиционера защитного стекла. Кондиционер представляет собой электрический вентилятор, обдувающий защитное стекло теплым воздухом, который образуется за счет прохождения засасываемого наружного воздуха через термоэлектронагреватель (ТЭН).

Питающее напряжение 220 В, 50 Гц подается на вентилятор и ТЭН с модуля включения, расположенного в корпусе датчика.

Для обеспечения функционирования электронных компонентов КПП внутри поддерживается температура не ниже 5 °С. Для обеспечения этого режима имеются два термодатчика (термометры), с которых управляющий сигнал поступает на модуль управления, далее на модуль включения, который подает напряжение 220 В, 50 Гц на резисторы, расположенные на диске и под защитным стеклом.

Контроль функционирования прибора осуществляется с помощью тест-сигнала. Источником тест-сигнала является светодиод, расположенный рядом с pin-фотодиодом вне проходящего отраженного оптического сигнала. Питание на светодиод подается с модуля управления по команде с контроллера.

Для обеспечения электронных схем напряжениями 5, ± 12 В, ± 24 В, предусмотрены универсальный блок питания ИВЭ 220-5/3, модуль стабилизированного питания ФПУ и модули питания МС-10В, МС-10Е расположенные на модуле управления.

Оптическая схема

Оптическая схема датчика представляет собой две оптические системы передающего и приемного каналов, причем оптические оси каналов совмещены. Приемный канал расположен перед

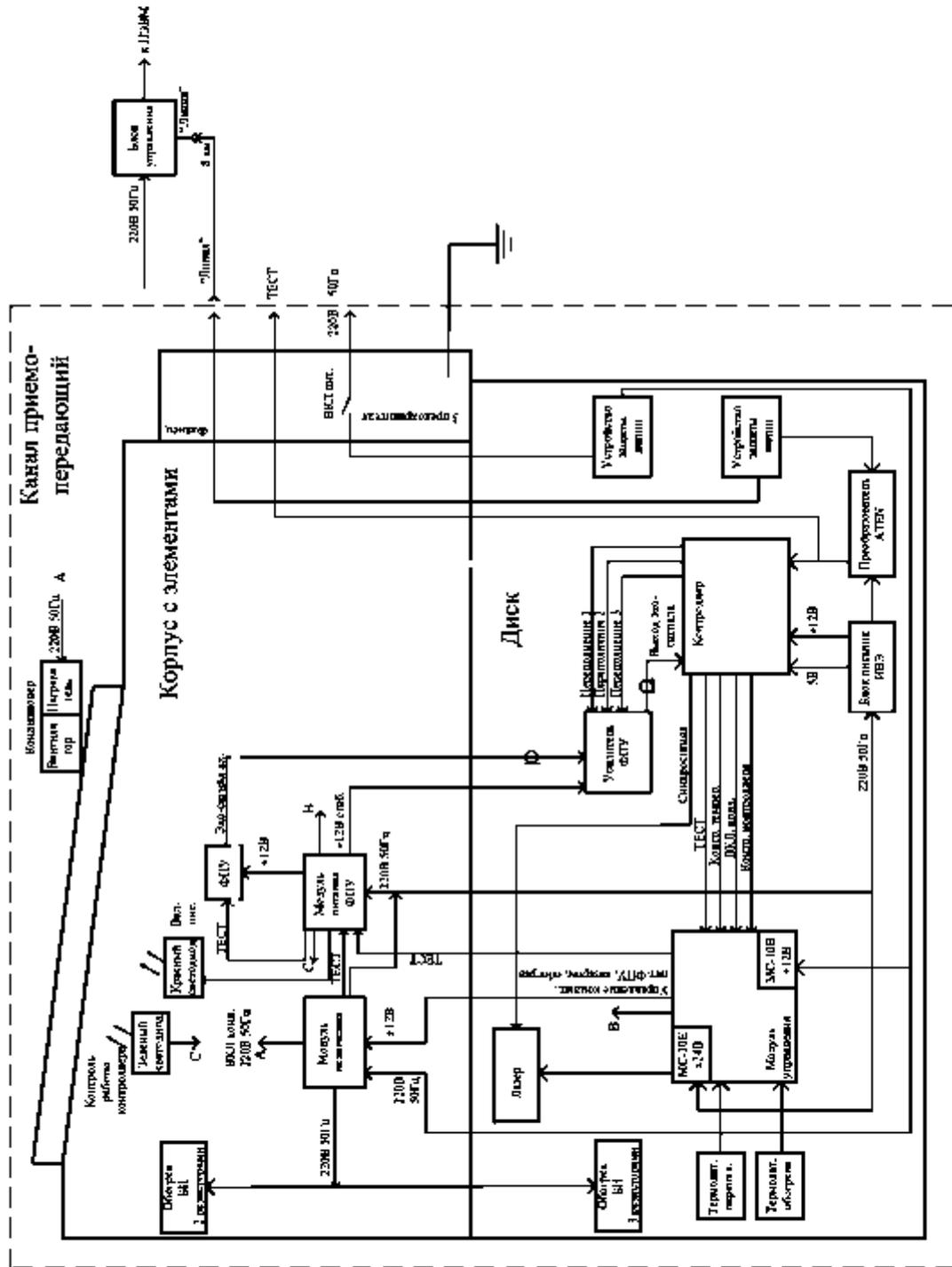


Рисунок А.2 Схема электрическая структурная ДОЛ-2

передающим в его заэкранированной центральной зоне.

Объектив передающего канала формирует поток излучения, имеющий в плоскости выходного зрачка сечение в виде эллиптического кольца с максимальным внешним диаметром 240 мм и внутренним диаметром 80 мм. Расходимость излучения не превышает 1'.

Приёмный канал состоит из линзового объектива, узкополосного фильтра и ФПУ.

От посторонних засветок приемник защищен узкополосным интерференционным фильтром с максимумом пропускания на рабочей длине волны $\lambda = 0,905$ мкм.

Все наружные поверхности оптических элементов оптической системы просветлены на рабочей длине волны, коэффициент отражения просветленных поверхностей не превышает 0,6 %, что позволяет иметь практически безбликовую оптическую систему с высоким пропусканием на рабочей длине волны.

Система безопасна в работе, так как позволяет, не уменьшая уровня используемой энергии за счет большого диаметра излучаемого пучка, снизить плотность энергии на выходе передающего канала до безопасного уровня.

Кроме того, использование широкого пучка излучения при наличии осадков, особенно в виде снега, резко снижают флуктуации амплитуды эхо-сигналов, поскольку среднее число облученных аэрозолей меняется значительно меньше при большом поперечном сечении пучка, чем в случае малого сечения пучка.

Конструкция

Конструктивно датчик (рисунок А.1) выполнен в виде двух частей – УПП (1), устанавливаемого под открытым небом, и БУ (2), устанавливаемого в помещении метеонаблюдателей. УПП и БУ соединены между собой двухпроводной аэродромной линией связи.

В свою очередь УПП состоит из двух крупных блоков – КПП (рисунок А.3) и стойки.

КПП состоит из корпуса с электроэлементами, расположенным под кожухом с защитным стеклом (3), бленды (4) и диска, расположенного под нижним кожухом (5).

Корпус КПП и нижний кожух внутри покрыты теплоизоляцией. Влагозащищенность КПП достигается установленной между корпусом с электроэлементами и диском резиновой прокладкой, герметизацией защитного стекла и применением герметизированных разъемов.

КПП установлен на стойке (1). Стойка со снятой крышкой представляет собой металлическую конструкцию. Под крышкой установлены устройство защиты питания, автоматический выключатель 220 В, 50 Гц, розетка 220 В, 50 Гц, клемма заземления, соединитель для подключения питания 220 В, 50 Гц.

Стойка крепится к двум параллельным стальным швеллерам (6), которые затем болтами крепятся к фундаменту.

Сверху на стойке закреплен поворотный механизм (2), на котором четырьмя болтами крепится КПП. В кронштейне поворотного механизма имеются три паза, служащие для фиксации КПП при развороте на углы 45 и 90° от вертикального положения. От самопроизвольного разворота механизм фиксируется болтом.

Разворот КПП можно производить только со снятым кожухом стойки.

Передающий канал состоит из сварного корпуса, в который на спайдерах вварена втулка. Втулка служит для крепления узла вторичного зеркала и сборки приёмного канала.

Главное зеркало закреплено на сферической обойме и может разворачиваться юстировочными винтами вокруг центра сферы обоймы.

Вторичное зеркало в оправе может смещаться юстировочными винтами поперек оптической оси по двум взаимно перпендикулярным направлениям.

К корпусу передающего канала крепится диск, к которому крепятся главное зеркало, лазер, контроллер, конвертер интерфейсов, усилитель, модуль управления, блок питания, устройство защиты линии.

На фланце КПП (рисунок А.4) расположены:

1 – соединитель “50 Гц 220 В”;

2 – соединитель “ЛИНИЯ”;

3 – плата с предохранителями

4 – соединитель “ТЕСТ” с заглушкой

На корпусе КПП под защитным стеклом установлены два светодиода:

– красный, который служит индикатором подачи питания 220 В 50Гц;

– зеленый, который служит индикатором правильности работы контроллера.2

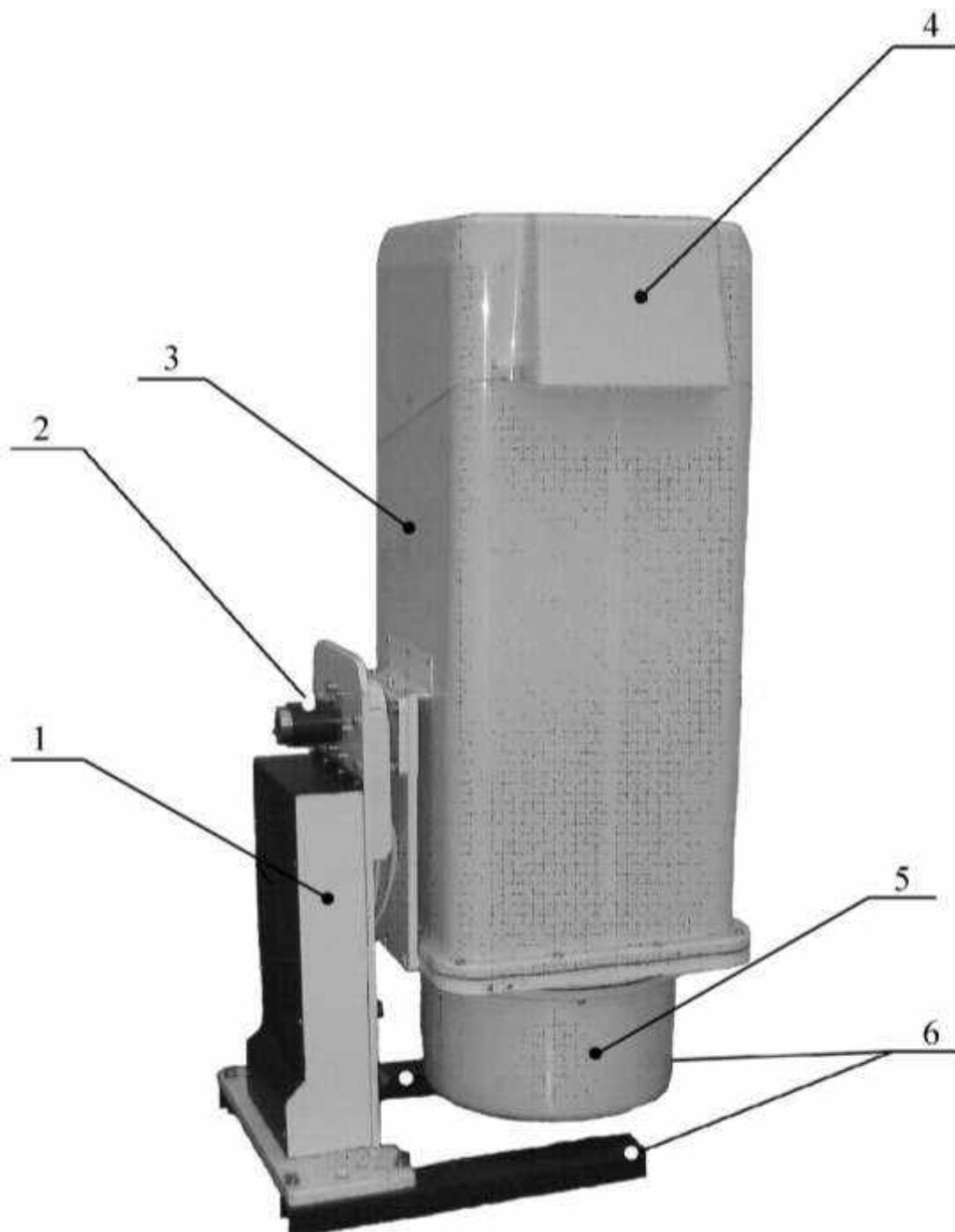


Рисунок А.3 – Устройство приемо-передающее со снятой крышкой стойки

Использование по назначению

Эксплуатационные ограничения

УПП устанавливается на открытом воздухе. При этом необходимо предусмотреть возможность очистки от заносов снега в зимнее время, а именно диаметр площадки вокруг УПП должен быть не менее двух метров. БУ устанавливается в рабочем помещении метеонаблюдателя.

Подготовка датчика к использованию

Меры безопасности

К обслуживанию датчика допускается технически подготовленный персонал, ознакомившийся с устройством, работой и эксплуатацией датчика и имеющий допуск к работе на установках с напряжением до 1000 В.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ СНИМАТЬ КОЖУХ И ЭКСПЛУАТИРОВАТЬ ДАТЧИК СО СНЯТЫМ КОЖУХОМ

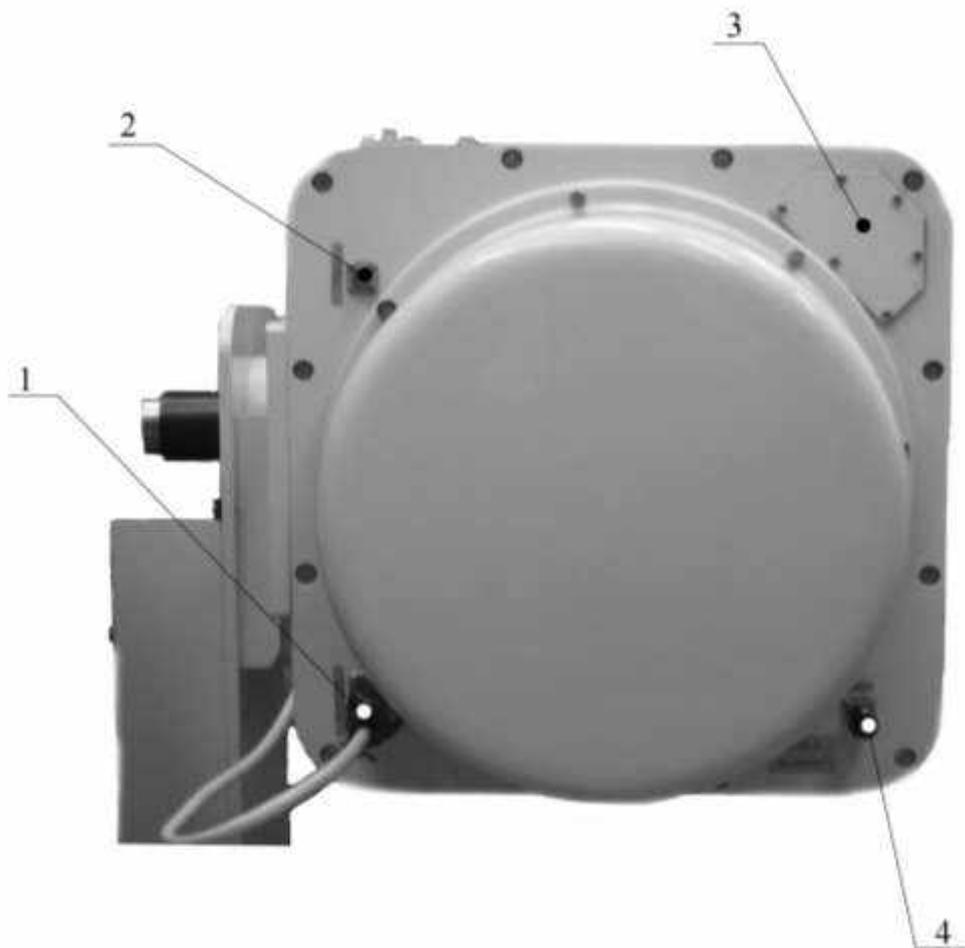


Рисунок А.4 – Блок измерительный вид снизу

УПП и БУ должны быть заземлены. Винты крепления заземляющих устройств необходимо периодически затягивать и зачищать места контактов для обеспечения соответствия параметров заземления установленным нормативам

Во избежание поражения электрическим током работы производить по истечению 5 мин после выключения датчика.

Установка датчика

На месте эксплуатации все блоки, входящие в состав датчика, установить в соответствии со схемой на рисунке А.5.

Установка датчика осуществляется в следующей последовательности:

– УПП крепится к земле при помощи штырей или на фундаменте таким образом, чтобы обеспечить отклонение УПП от горизонтальности в пределах 5 угл. град, а также защиту от заноса снегом. –БУ устанавливается в помещениях, обеспечивающих температурный диапазон от 5 до 40 °С.

Монтаж

Заземление УПП следует осуществлять проводом заземления согласно рисунку А.5.

ВНИМАНИЕ! Тумблер включения электропитания должен быть отключен.

Клеммы заземления " \equiv " БУ должен быть надежно соединены с шиной заземления помещения, в котором установлен БУ.

Сопротивление цепей от клемм заземления до заземляющих устройств (штырей, контуров заземления) должно быть не более 4 Ом.

Для обеспечения работы датчика сопротивление линии должно быть не более 100 Ом на 1 км. Для проверки сопротивления линии связи (кабель 2 рисунок А.6) необходимо соединить перемычкой контакты 1 и 2 разъема, соединяющегося с разъемом "ЛИНИЯ" БУ; измерить омметром сопротивление между контактами 1 и 2 разъема, соединяющегося с разъемом "ЛИНИЯ" КПП. Изме-

ренное сопротивление должно быть не более 1600 Ом. Для проверки сопротивления изоляции линии связи измерить сопротивление между контактом 1 разъема кабеля 2, соединяющегося с разъемом “ЛИНИЯ” КПП и клеммой " $\frac{1}{=}$ " стойки. Измеренное сопротивление должно быть не менее 5 МОм.

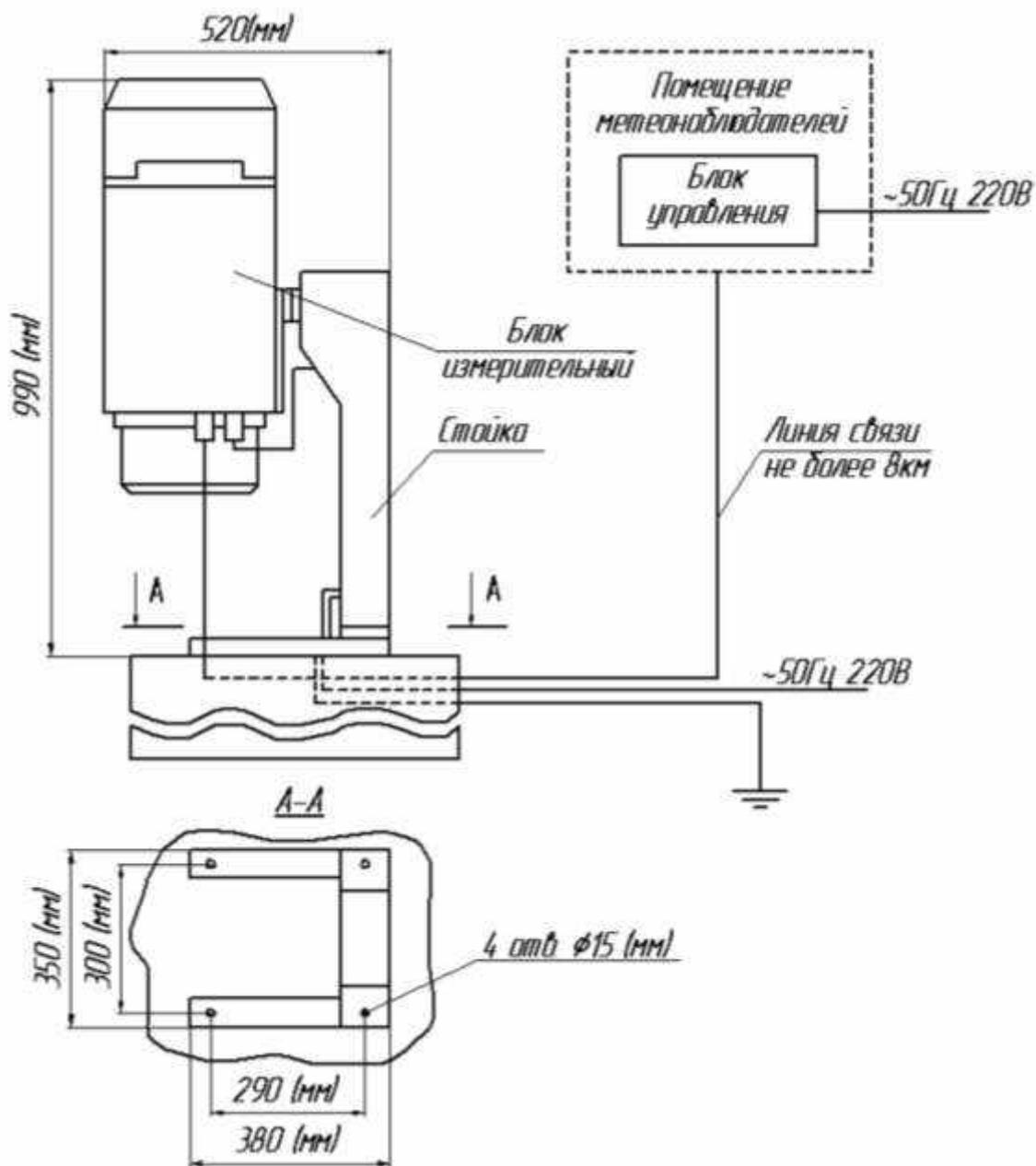


Рисунок А.5 – Схема сборки ДОЛ-2

Подготовка к работе

Подключить УПП при помощи автоматического выключателя “220 В 50 Гц” к сети 220 В 50 Гц. При этом должен загореться красный индикатор под защитным стеклом.

Контролировать работу контроллера, программируемого по зеленому индикатору, расположенному под защитным стеклом:

- зеленый мигает – контроллер работает правильно;
- зеленый не горит – контроллер не работает.

На БУ перевести два переключателя на задней панели БУ в положение « \leftarrow », при этом загорается индикатор на передней панели БУ.

Обозначение контурной линии	Обозначение	Длина кабеля измерительного кабеля	Кол	Примечание
1	МЕСП.685631022	КМТВ 3х0,75	1	50 м
2	МЕСП.685631023	КМТВ2х0,35	1	не < 8 км
3	МЕСП.685631024	Кабель оптический ОС-801-3х0,75-280-8х01-37	1	5 м по окружности
4	ОВ-9F/ОВ-9F		1	Пожилка
5	МЕСП.685615001	Плетенка ПМЛ 3х6	1	3 м
6	МЕСП.685615001	Плетенка ПМЛ 3х6	1	3 м

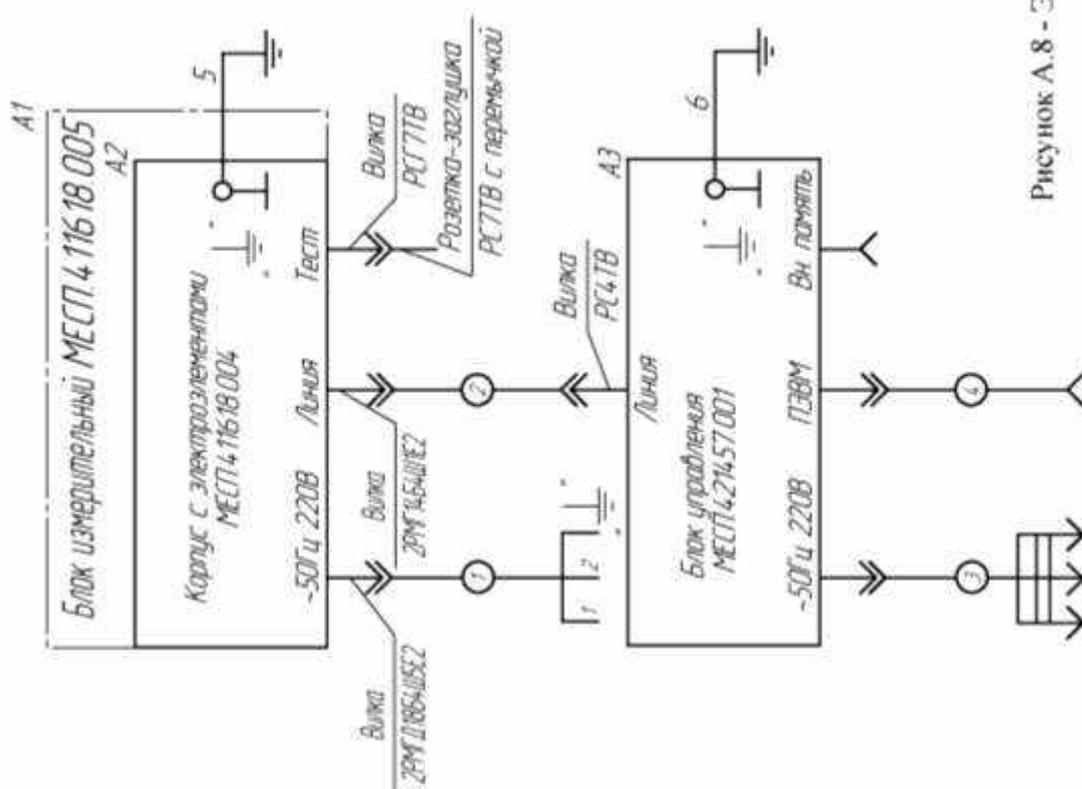


Рисунок А.8 - Электрическая схема общая ДОЛ-2

Использование датчика

Использование датчика сразу после включения

После подачи напряжения электропитания происходит загрузка программного обеспечения (ПО) на УПП и БУ. По окончании загрузки БУ производит установку соединения с УПП. Во время установки соединения или в случае отсутствия связи на дисплее БУ отображается следующая

информация (рисунок А.7):



Рисунок А.7 – Информация, отображаемая при установке связи

После установки связи между блоками УПП и БУ на дисплее появляется главное окно ПО (рисунок А.8), пульт определяет номер датчика (УПП), производит контроль его функционирования и переходит к измерению ВНГО в автоматическом режиме.

При появлении сообщения “Неиспр УПП” сразу после установки связи необходимо провести контроль функционирования датчика в ручном режиме.



Рисунок А.8 – Работа БУ в автоматическом режиме

Работа в автоматическом режиме

При работе в автоматическом режиме на дисплей БУ выводятся значения ВНГО либо ВНГО 1 и ВНГО 2 в зависимости от количества облачных слоев, которые являются результатом статистической обработки данных, принимаемых каждые (15 ± 2) сек.

Округление измеренных высот производится в сторону уменьшения значений. При высотах

до 500 м округление до 1 м, при высотах от 501 до 1000 м – до 5 м, при высотах от 1001 – до 10 м. На рисунке А.8 отмечены четыре поля, содержащие информацию, индицируемую в автоматическом режиме работы.

Во всех режимах работы БУ, когда соединение с УПП установлено, в поле 1 отображается номер подключенного датчика (УПП). При подключении БУ к другому УПП автоматически происходит смена номера датчика.

Поле 2 отображает статистическое значение ВНГО либо значения высоты первого и второго облачного слоев в зависимости от наличия многослойной облачности.

На рисунке А.8 представлен случай, когда УПП сообщает о наличии одного слоя облаков и их высоте.

На рисунке А.9 представлен случай, когда УПП сообщает о наличии многослойной облачности, отображается информация о высоте двух нижних слоев.

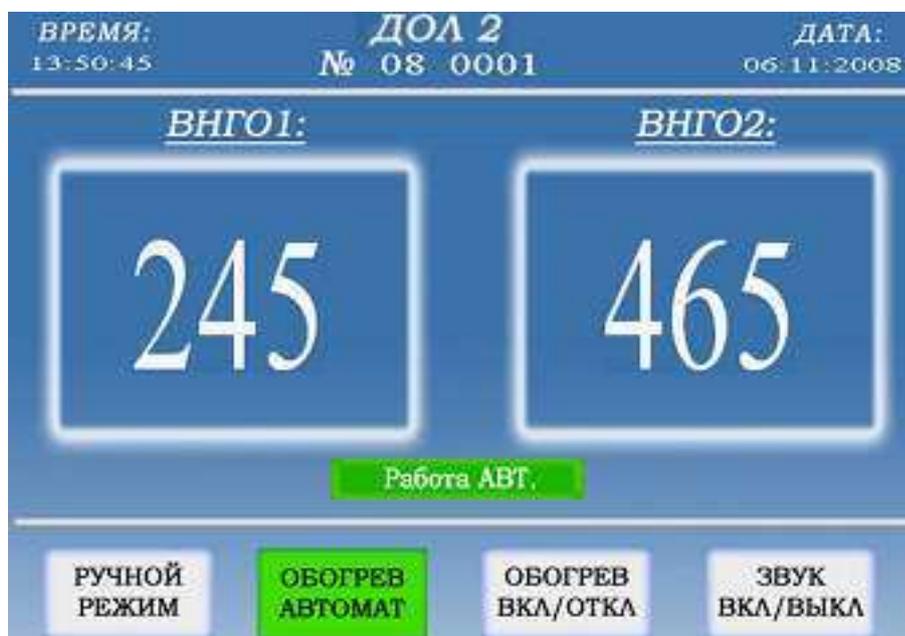


Рисунок А.9 – Индикация многослойной облачности

На рисунке А.10 представлен случай, когда УПП сообщает о невозможности однозначной идентификации ВНГО, вызванной сильными осадками либо туманом, дополнительно отображается информация о вертикальной видимости.



Рисунок А.10 – Индикация вертикальной видимости

На рисунке А.11 представлен случай, когда УПП сообщает, что информация о наличии облаков отсутствует.



Рисунок А.11 – Индикация отсутствия облаков

Поле 3, выделенное на рисунке А.8, предназначено для отображения информации о состоянии УПП и отображает сообщения, изложенные в таблице А.1.

Таблица А.1 – Информация о состоянии УПП, отображаемая при работе в автоматическом режиме

Сообщение	Класс сообщения	Информация
“ОШИБКА СВЯЗИ”	Красный	Нарушена связь УПП и БУ
“НЕИСПР УПП”		Датчик сообщает об ошибке при проведении контроля функционирования
“НЕИСПР БУ”		Программное обеспечение БУ обнаружило неисправность электронных компонентов и не может функционировать по заданному алгоритму.
“ОПАСНОСТЬ”		УПП сообщает о срабатывании охранной сигнализации.
“Обогрев Стекла”	Оранжевый	Обогрев защитного стекла датчика включен.
“Обогрев Прибора”		Внутренний обогрев прибора включен.
“Работа Авт”	Зеленый	Работоспособность в норме, БУ находится в автоматическом режиме

Поле 4, выделенное на рисунке А.8, содержит средства управления БУ, доступные в автоматическом режиме. Переход по элементам производится перемещением красной рамки – курсора с помощью физических кнопок “←” и “→”, при этом переключение выбранного режима производится нажатием физической кнопки ВВОД. Подробное описание средств управления, их состояний и соответствующих им команд представлено в таблице А.2

Таблица А.2 – Описание средств управления, их состояний и соответствующих им команд (автоматический режим)

Название	Принимаемое состояние/цвет	Назначение
----------	----------------------------	------------

“Ручной Режим”		Нажатие кнопки ВВОД при расположенном на этом элементе курсоре переводит БУ в Ручной Режим
----------------	--	--

Окончание таблицы А.2

“Обогрев Автомат”	Подсвечивается зеленым цветом в случае, когда обогрев защитного стекла КПП находится в автоматическом режиме.	Нажатие кнопки ВВОД при расположенном на этом элементе курсоре переводит прибор в режим автоматического управления обогревом стекла.
“Обогрев ВКЛ/ОТКЛ”	Подсвечивается зеленым цветом в случае, когда обогрев защитного стекла КПП принудительно включен в ручном режиме.	Нажатие кнопки ВВОД при расположенном на этом элементе курсоре осуществляет принудительное включение (в случае если обогрев выключен) или выключение (если включен) обогрева защитного стекла КПП и отключает автоматическое управление обогрева стекла.
“ЗВУК ВКЛ/ВЫКЛ”	Подсвечивается зеленым цветом в случае, когда звуковая сигнализация перехода порогового значения ВНГО включена.	Нажатие кнопки ВВОД при расположенном на этом элементе курсоре включает/отключает звуковую сигнализацию перехода порогового значения ВНГО.

Работа в ручном режиме

При работе в ручном режиме на дисплей БУ в поле 2, выделенном на рисунке А.12 выводятся мгновенные значения ВНГО 1 и ВНГО 2.



Рисунок А.12 – Работа в ручном режиме

Примечание – Переход в ручной режим осуществляется из автоматического режима нажатием кнопки ВВОД при расположенном на этом элементе курсоре.

В ручном режиме структура полей-индикаторов остается неизменной, однако имеет следующие отличия по сравнению с автоматическим режимом:

Набор сообщений, индицируемых в поле 3 (рисунок А.12), изменяется по сравнению с автоматическим режимом. Полный список сообщений для ручного режима изложен в таблице А.3.

Таблица А.3 – Информация о состоянии УПП, отображаемая при работе в ручном режиме

Сообщение	Класс сооб-	Информация
-----------	-------------	------------

	щения	
“ОШИБКА СВЯЗИ”	Красный	Нарушена связь УПП и БУ
“НЕИСПР БУ”		ДОЛ-2 сообщает об ошибке при проведении контроля функционирования

Окончание таблицы А.3

“НЕИСПР УПП”	Красный	Программное обеспечение БУ обнаружило неисправность электронных компонентов и не может функционировать по заданному алгоритму.
“ОПАСНОСТЬ”		УПП сообщает о срабатывании охранной сигнализации.
“ТЕСТ”	Оранжевый	УПП находится в режиме “ТЕСТ”, излучатель отключен. в качестве ВНГО 1, ВНГО 2 выводятся значения, генерируемые прибором и не имеющие отношения к реальной облачной обстановке.
“Обогрев Стекла”		Обогрев защитного стекла прибора включен.
“Обогрев Прибора”		Внутренний обогрев прибора включен.
“Работа Ручн.”	Зеленый	Работоспособность в норме, БУ находится в ручном режиме

В поле 4 (рисунок А.12) появляются средства управления БУ, используемые для управления в ручном режиме. Переход по элементам производится аналогично автоматическому режиму. Подробное описание средств управления, их состояний и соответствующих им команд представлено в таблице А.4.

Таблица А.4 – Описание средств управления, их состояний и соответствующих им команд (ручной режим)

Название	Состояние	Назначение
Тест Прибора	Подсвечивается зеленым цветом, когда КПП находится в режиме ТЕСТ	Нажатие кнопки ВВОД при расположенном на этом элементе курсоре переводит УПП в режим “ТЕСТ”. При этом в поле 2(рис. 2.6) индицируются тестовые значения ВНГО 1 и ВНГО 2, а в поле 3 (рис. 2.6) появляется индикация “ТЕСТ”. Выход из режима “ТЕСТ” осуществляется либо повторным нажатие кнопки ВВОД, либо при переходе в Автоматический режим нажатием кнопки ВЫХОД
НАРАБОТКА		Нажатие кнопки ВВОД при расположенном на этом элементе курсоре позволяет вывести на дисплей данные о наработке подключенного в данный момент УПП. Рассчитывается время наработки, а также количество излучений лазера.
АРХИВ		Нажатие кнопки ВВОД при расположенном на этом элементе курсоре выводит на экран диалог управления архивом данных.
НАСТРОЙКА		Нажатие кнопки ВВОД при расположенном на этом элементе курсоре выводит на экран меню настройки БУ и сервисной настройки УПП

Переход из ручного режима в автоматический производится нажатием кнопки **ВЫХОД**.

Режим ТЕСТ

Режим ТЕСТ предназначен для принудительного перевода прибора в режим контроля функционирования, а также для отключения лазера с целью сбережения его ресурса. При отсутствии облаков рекомендуется выключать БУ, либо переводить датчик в режим ТЕСТ. Перевод осуществляется согласно таблице А.4 и позволяет оценить как соответствие тестовых показаний нормативным, так и убедиться в отсутствии ошибок “Ошибка БУ”, “Ошибка УПП”. В режиме ТЕСТ на дисплее БУ появится индикация, аналогичная представленной на рисунке А.13



Рисунок А.13 – Индикация, аналогичная отображаемой на дисплее БУ в режиме “ТЕСТ”.

Наработка

При необходимости определить наработку подключенного в данный момент УПП необходимо, согласно таблице А.4, войти в режим индикации наработки. Дисплей БУ приобретет вид, аналогичный представленному на рисунке А.14, а в соответствующих полях появятся значения наработки УПП в часах работы и в излученных импульсах.



Рисунок А.14 – Вид дисплея БУ в режиме индикации наработки

Архивация данных

В ходе работы БУ производит архивацию данных измерений. Срок давности архива составляет 30 суток и ведется по принципу первый вошел - первый вышел. Таким образом, на 31-ые сутки работы прибора архив за первые сутки работы автоматически удаляется.

Меню управления архивами вызывается из ручного режима в соответствии с табл. 2.4. Вид меню “Архив” представлен на рисунке А.15.



Рисунок А.15 – Вид дисплея БУ в режиме работы с архивом

Меню позволяет получить информацию об облачной обстановке в графическом виде, произвести копирование архива на внешнюю память посредством USB порта, а также сформировать и вывести на печать отчет об измерениях производимых датчиком в предыдущие сутки.

Информация об облачной обстановке будет отображена в поле 1, выделенном на рисунке А.15. Ось ординат (Высота, м) градуируется в зависимости от выбранного временного диапазона, а абсцисс (Время, ч) в соответствии с масштабом. Переключение масштаба и временных диапазонов производится с помощью элементов управления меню АРХИВ (поле 2 рисунок А.15). Подробное описание средств управления представлено в таблице А.5.

Таблица А.5 – Описание средств управления, их назначения и соответствующей индикации (меню АРХИВ)

Название	Назначение	Индикация
МАСШТАБ	Осуществляет переключения масштаба графика облачной обстановки (поле 1 рис. А.9) по оси "Высота". Возможные значения 3200, 2000, 1200, 600 метров.	Ось "Высота" градуируется в соответствии с выбранным масштабом.
ВРЕМЯ	Осуществляет переключения масштаба графика облачной обстановки (поле 1 рис. А.9) по оси "Время". Возможные значения 24, 12, 6, 3 часа.	Ось "Время" градуируется в соответствии с выбранным масштабом.
КОПИРОВАТЬ	Производится копирование архива в присоединенную посредством USB порта внешнюю память.	В случае успешного копирования выдается сообщение "Копирование завершено", неудача сопровождается сообщением "Ошибка копирования".
ПЕЧАТЬ	БУ производит подготовку сокращенного архива за предыдущие сутки и вывод на печать.	Сообщения, сопровождающие печать, описаны в таблице А.7

Копирование архива производится на USB Flash носитель, поставляемый в комплекте прибора. В ходе копирования на внешнем носителе создается папка, название которой соответствует году выпуска и номеру прибора, содержащая полную копию архива, хранящегося в памяти БУ.

ВНИМАНИЕ - Для повторного копирования содержимого архива внешний носитель должен быть очищен.

Архивация данных ведется в текстовых файлах, содержащих информацию о работе прибора

за сутки. Название файла формируется из года, номера месяца и числа, разделенных нижним подчеркиванием. Таким образом, архив измерений, произведенных 11 марта 2009 года будет храниться в файле с названием: “2009_03_11.txt”.

Содержание файла архива изложено в таблице А.6.

Таблица А.6 – Содержание файла архива

Параметр	Значение
ВРЕМЯ	Время, согласно установленному на БУ, в которое были получены результаты измерений
ВНГО 1	Статистическая высота нижней границы первого облачного слоя, измеряемая в метрах. Значение “9999” характеризует отсутствие слоя.
ВНГО 2	Статистическая высота нижней границы второго облачного слоя, измеряемая в метрах. Значение “9999” характеризует отсутствие слоя.
Сплоченность	Статистический параметр, изменяющийся в диапазоне от 7 до 99 и характеризующий отсутствие предпосылок к существенной смене высоты нижней границы первого облачного слоя. <i>ПРИМЕЧАНИЕ</i> - Ввиду отсутствия достаточного набора данных, первые 3,5 минуты после установки рабочего режима прибора параметр сплоченности может быть меньше реального.
Состояние	В зависимости от состояния датчика может принимать следующие значения: РАБОТА – датчик функционирует ОШИБКА – автоматический контроль функционирования зафиксировал сбой в работе. ОПАСН. – охранная сигнализация УПП зафиксировала приближение на критическую дистанцию.

Таблица А.7 – Сообщения, сопровождающие вывод архива на печать

Этапы	Сообщение	Комментарий
Подготовка архива	“Подготовка к печати”	БУ формирует сокращенный архив, форматирует его для печати
Печать	“Печать...”	БУ контролирует процесс печати, отслеживает появление ошибок печати.
Успех	“Печать завершена”	БУ получил от печатающего устройства сообщение об успешном завершении печати.
Ошибка	“Ошибка связи с принтером”	БУ не удалось связаться с печатающим устройством.
	“Ошибка принтера”	Принтер сообщает о неисправности до начала печати (нет чернил, открыта крышка ...)
	“Ошибка печати”	Принтер сообщает о неисправности, возникшей в процессе печати (закончилась бумага ...)

Для снятия информационных сообщений необходимо нажать любую клавишу.

Настройка

Переход в меню НАСТРОЙКА производится из ручного режима в соответствии с таблицей А.4 и позволяет получить доступ к настройкам БУ и УПП.

Подробное описание содержания меню НАСТРОЙКА представлено в таблице А.8.

Таблица А.8 – Содержание меню НАСТРОЙКА

Элемент	Группа	Назначение
“ДАТА”	Настройка БУ	Позволяет войти в меню установки текущей даты.
“ВРЕМЯ”		Позволяет войти в режим установки текущего времени.
“Порог ВНГО”		Позволяет установить пороговое значение ВНГО, о преодолении которого БУ будет оповещать с помощью звуковой сигнализации.

Установка времени, даты и порогового значения ВНГО

Переход в режимы установки времени, даты и порогового значения ВНГО осуществляется из меню НАСТРОЙКА, изложенных в таблице А.5. При входе в режим установки времени дисплей БУ примет вид, аналогичный представленному на рисунке А.16.



Рисунок А.16. Установка времени

Передвижение красной рамочки, указывающей на изменяемое поле, осуществляется с помощью кнопки ВВОД, а изменения осуществляются посредством кнопок “←” и “→”. При нажатии кнопки “←” значение изменяемого поля будет уменьшаться на единицу, а при нажатии кнопки “→” увеличиваться.

Выход из текущего режима и переход в меню НАСТРОЙКА производится при нажатии кнопки ВЫХОД.

Работа в режимах установки даты и порогового значения аналогична режиму установки времени. Внешний вид дисплея БУ, находящегося в режиме установки текущей даты, представлен на рисунке А.17.

Внешний вид дисплея БУ, находящегося в режиме установки порогового значения ВНГО, представлен на рисунке А.18.



Рисунок А.17 – Режим установки даты



Рисунок А.18 – Режим установки порогового значения ВНГО

Методы и средства контроля метрологических характеристик.

Датчик, как измерительный прибор, должен подвергаться периодической поверке органами метрологической службы в установленном порядке не реже одного раза в год по «Методике поверки ДОЛ-2», утвержденной ВНИИ имени Д.И. Менделеева.

Внеочередная поверка производится после капитального и среднего ремонта, а также при метрологической ревизии.

При проведении ежегодной метрологической поверки используется имитатор «чистое небо», поставляемый в комплекте с датчиком. Использование имитатора «чистое небо» производится в соответствии с методикой поверки.

Между поверками периодический контроль систем датчика проводить проверкой тестового сигнала, имитирующего оптические импульсы светодиода и смещение нуля.

Контроль тест сигнала производить следующим образом:

Подать напряжение 220В, 50 Гц.

Работа в ручном режиме

После окончания контроля отключить напряжение 220 В, 50 Гц.

А.2 Облакомер СТ25К (производство ОАО «Вайсала»)

Облакомер СТ25К (рисунок А.19) имеет сертификаты Госстандарта РФ (введен в Госреестр СИ под № 15159-01) и МАК (сертификат типа № 68 от 28.02.97 г.) с определением: „СТ25К может использоваться как датчик в составе аэродромных автоматизированных метеорологических систем”. Терминал для автономного применения датчика в фирме имеется (последняя разработка DD50).

Передатчик в СТ25К лазерный (импульсный светодиод на основе арсенида индия-галлия), длительность импульса 0,1 мкс, длина волны около 900 нм. Конструктивно передатчик и приемник (фотодиод) объединены в одном блоке с кондиционером (обдув теплым воздухом защитного стекла). Предусмотрен наклон корпуса (зондирующего луча) под любым углом к горизонту, что, в частности, используется при проверке по твердой цели.



Рисунок А.19 — Датчик высоты облаков СТ25К

Имеется встроенный микропроцессор, встроенная диагностика, ЗИП. Комплект документации достаточно полон для обеспечения эксплуатации.

Технические характеристики облакомера СТ25К:

- диапазон измерения: от 15 до 7500 м;
- предел допускаемой погрешности: ± 10 м в диапазоне от 15 до 100 м, $\pm 10\%$ в диапазоне свыше 100 м;
- погрешность измерения расстояния H до твердой цели: $\pm (0,02H + 7,5)$ м;
- периодичность выдачи телеграмм в линию связи: от 15 до 120 с. Имеется встроенный модем, обеспечивающий дистанционность до 16 км;
- питание от сети;
- потребляемая мощность: до 250 Вт;
- срок службы: 10 лет.

Рабочие условия по температуре воздуха от минус 50 °С до 50 °С, работоспособен в осадках (выдает вертикальную видимость).

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы

к.г.н., В.И.Кондратюк

Исполнители темы

к.г.н., А.Лукин

к.т.н., Р.А.Круглов

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие требования по обеспечению репрезентативности результатов наблюдений за метеорологическими элементами на авиационных метеорологических станциях	2
2. Наблюдения за облачностью	3
3. Характеристика объекта измерения. Структура подоблачного слоя	4
4. Пространственная и временная изменчивость высоты нижней границы облаков (ВНГО)	5
5. Требования к информации о ВНГО в зоне взлета/посадки воздушных судов	6
6. Методы измерения ВНГО. Результаты сравнения	8
7. Методы обработки измерительной информации в облакомерах, использующих лазерную технологию	11
8. Алгоритмы статистической обработки результатов измерений ВНГО	13
9. Средства измерений высоты облаков, использующие лазерную технологию LIDAR (Light detection and ranging)	19
Библиография	20
Приложение А (справочное) Некоторые сведения о лазерных измерителях ВНГО	22
Список исполнителей	43