

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Пермский государственный университет»

**Н.И.Толмачева**

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ  
(для метеорологов)**

*Учебное пособие*

Пермь 2011

УДК 551.507.362

ББК 26.23

Т 52

**Толмачева, Н.И.**

Т52 Методы и средства гидрометеорологических измерений (для метеорологов): учеб. пособие / Н.И. Толмачева; Перм. ун-т.– Пермь, 2011.– 223 с.

ISBN 978-5-7944-1623-7

Изложены теоретические основы, принципы и методы измерения метеорологических величин в атмосфере. Рассмотрены особенности их измерения для обеспечения репрезентативности полученных результатов. Представлены методы определения параметров по рекомендациям ВМО. Уделено внимание автоматизации оценки и распознавания облаков и явлений метеорологическими измерительными системами. Описаны современные средства измерения метеовеличин, разработанные в России и других странах. Изложенный материал иллюстрируется схемами, рисунками и снимками.

Издание предназначено для студентов, магистров, аспирантов географического факультета, обучающихся по специальности 012600 «Метеорология». Может быть использовано студентами специальностей 012700 «Гидрология», 012500 «География», 013400 «Природопользование».

**УДК 551.507.362**

**ББК 26.23**

Печатается по решению редакционно-издательского совета Пермского университета

Рецензенты: д-р геогр. наук, проф. Казанского гос. ун-та *Ю.П. Переведенцев*; начальник АМСГ ФГУП «Пермские авиалинии», канд. геогр. наук, доц. *О.Ю. Булгакова*

ISBN 978-5-7944-1623-7

© Толмачева Н.И., 2011

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение	6
Глава 1. Измерение метеорологических величин	14
1.1. Основные термины и определения	14
1.2. Погрешности измерения	16
1.3. Оценка метеорологических величин	18
1.4. Точность измерения	22
Глава 2. Измерение атмосферного давления	24
2.1. Методы измерения давления	24
2.2. Датчики атмосферного давления	27
2.3. Средства измерения атмосферного давления	29
Глава 3. Измерение температуры и влажности воздуха	41
3.1. Методы измерения температуры и влажности	41
3.2. Датчики температуры и влажности воздуха	46
3.3. Средства измерения температуры и влажности	51
Глава 4. Измерение параметров ветра	58
4.1. Первичные преобразователи скорости и направления ветра	60
4.2. Датчики и средства измерения параметров ветра	62
Глава 5. Наблюдения за облачностью	71
5.1. Методы измерения высоты нижней границы облаков	72
5.2. Измерители высоты нижней границы облаков	76
Глава 6. Видимость	92
6.1. Методы измерения видимости	98
6.2. Датчики измерения видимости	100
6.3. Средства измерения видимости в атмосфере	113
Глава 7. Измерение осадков и снежного покрова	125
Глава 8. Актинометрические измерения	139
8.1. Основные понятия солнечной радиации	139
8.2. Средства измерения солнечной радиации	142
Глава 9. Автоматизированные метеорологические информационные системы	148
9.1. Комплексная метеорологическая станция КРАМС	148
9.2. Автоматические информационно-измерительные системы	163
9.3. Сеть телесвязи гидрометеорологической службы	182

Глава 10. Методы и средства измерения метеорологических величин в свободной атмосфере	184
10.1. Аэрологическое зондирование	184
10.2. Метеорологические радиолокационные комплексы	192
10.3. Метеорологические спутники	201
Список литературы	213
Приложение 1. Применяемые термины и определения	217
Приложение 2. Список аббревиатур и сокращений	221

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время информация о состоянии атмосферы широко используется как при составлении прогнозов погоды, так и при решении многих экономических задач. Множество систем и методов исследования атмосферы, а также сложности, связанные с разнообразием технических средств получения метеорологической информации, требуют тщательного изучения. В пособии рассмотрены современные методы и приборы, предназначенные для проведения метеорологических измерений, определены основные требования к эксплуатации и возможности их выбора при выполнении научных исследований, а также дано описание широко используемых приборов.

Основу пособия составляет содержание курса с тем же названием, читаемого автором в течение 10 лет на географическом факультете Пермского университета для студентов-метеорологов.

В главе 1 излагаются требования к измерению метеорологических величин с точки зрения достижения требуемой точности. В главах 2-5, 7 описаны наблюдения за метеовеличинами (атмосферное давление, температура и влажность воздуха, ветер, облачность, осадки), которые используются при метеорологическом обеспечении в соответствии с рекомендациями ВМО. Приводятся описания широко используемых и новых датчиков метеовеличин (ФИ-3, FS11, LT31, PBO-2M, CL31, ДОЛ-1, Wind 30, ИПВ-01, РТВ210, РТВ220, НМР45D).

Глава 6 посвящена видимости в атмосфере. Описаны различные методы определения (измерения) видимости, которые удовлетворяют требованиям безопасности взлета и посадки воздушных судов. Представлены термины, характеризующие видимость.

В главе 8 описаны методы и средства актинометрических измерений. Даны понятия солнечной радиации, описания актинометра, пиранометра, альбедометра и балансомера.

Глава 9 посвящена автоматизации измерения метеовеличин, необходимых для метеорологического обеспечения. Показано, что автоматические измерения и обработка производятся надежно, а информация более оперативна и достоверна, чем результаты визуальных наблюдений. В главе дано описание комплексной радиотехнической аэродромной метеорологической станции КРАМС-4 как вычислительного компонента измерительной системы.

## ВВЕДЕНИЕ

Основной фактический материал для своих исследований метеорология получает путем наблюдений в природных условиях. Существенная особенность метеорологических явлений — их пространственно-временная изменчивость. Это вызывает необходимость такой организации наблюдений, которая позволит своевременно отметить возникновение явления и проследить за ходом его развития. Эта непрерывность наблюдений во времени и пространстве достигается путем организации сети наблюдательных пунктов, в которых регулярно проводятся наблюдения по единой общей программе с помощью однотипных приборов.

*Метеорологические наблюдения* — это измерения и качественные оценки метеорологических величин: температуры и влажности воздуха, атмосферного давления, ветра, облачности, осадков, туманов, метелей, гроз, видимости, а также некоторых величин, непосредственно не отражающих свойств атмосферы или атмосферных процессов, но тесно связанных с ними. Таковы температура почвы или поверхностного слоя воды, испарение, высота и состояние снежного покрова, продолжительность солнечного сияния. На некоторых метеостанциях ведутся наблюдения над солнечным, земным излучением и атмосферным электричеством. Метеорологические наблюдения за состоянием атмосферы до высот около 40 км называются *аэрологическими*. Наблюдения за состоянием более высоких слоев атмосферы — *аэрономическими*.

Полные и точные наблюдения ведутся в метеорологических и аэрологических *обсерваториях*, имеющихся во всех странах мира. Число таких обсерваторий невелико. Кроме того, даже самые точные наблюдения в немногочисленных пунктах не могут дать исчерпывающего представления о жизни атмосферы, поскольку атмосферные процессы в разной географической обстановке протекают по-разному. Поэтому кроме метеорологических обсерваторий, наблюдения над основными метеорологическими величинами ведутся на *метеорологических и аэрологических станциях* по всему Земному шару.

Для изучения географического распределения метеорологических величин и сравнения состояния атмосферы (погоды и климата) в различных местах Земли необходимо, чтобы метеорологические станции в каждой стране и во всех странах мира вели наблюдения по возможности однотипными приборами, по единой методике, в определенные часы суток. Иными словами, станции, расположенные в каж-

дой стране и в мире должны составлять единое целое — *метеорологическую сеть*. Во всех странах, в том числе и в России, существует основная государственная сеть метеорологических станций, отвечающая указанному выше требованию единообразной и согласованной работы. Помимо нее существуют и метеорологические станции специального назначения, связанные с различными потребностями в науке и экономике (сельскохозяйственные, авиационные, береговые и др.).

Метеорологические станции государственной сети устанавливаются равномерно в местах, характерных для данного района. Нужно стремиться к тому, чтобы показания станции были *репрезентативными*, т. е. характерными не только для ее ближайших окрестностей, но и для значительно большей территории. Метеорологические станции специального назначения размещают исходя из производственных задач.

Важнейшие условия сетевых метеорологических наблюдений, помимо синхронности, — их *длительность и непрерывность*. Отдельные годы сильно отличаются друг от друга по режиму атмосферных процессов. Этим определяется необходимость иметь многолетние ряды систематических наблюдений. Перенос станции в другое место обрывает многолетний ряд наблюдений или нарушает его однородность.

Для предсказания погоды метеорологические наблюдения необходимо вести постоянно и непрерывно. Каждый день в атмосфере наблюдаются все новые бесконечно разнообразные условия, а при прогнозе погоды приходится исходить из фактических условий в настоящем и прошлом.

Система получения первичной метеорологической информации включает:

- сеть наземных метеорологических станций;
- сеть аэрологических станций;
- сеть судовых наблюдений, якорных и дрейфующих гидрометеорологических станций (бுவ);
- сеть метеорологических радиолокационных станций;
- космическую метеорологическую систему;
- систему авиационной разведки погоды.

Кроме того, в состав первичной метеорологической информации могут включаться данные, получаемые с помощью систем ракетного и аэростатного зондирования атмосферы.

Наблюдения на метеорологических станциях всего мира проводятся синхронно в 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 ч. всемирного согласованного времени. Наблюдения за атмосферными явлениями осуществляются непрерывно. Аэрологические станции проводят вертикальное

зондирование атмосферы. Основным источником получения первичной метеорологической информации с акваторий морей и океанов являются станции и суда погоды. Они проводят метеонаблюдения по той же программе и в те же сроки, что и наземные станции.

Расстояние между соседними метеостанциями не должно превышать 50–100 км, а между аэрологическими станциями — 250 км. Однако необходимая плотность наземной сети метеорологических станций имеется далеко не везде. Она удовлетворяет указанным требованиям в Европе, центральной части Северной Америки. Над океанами, в горных районах Центральной Азии расстояние между метеостанциями достигает 1000–1500 км, а между аэрологическими станциями — 2000–3000 км.

Метеорологическая космическая система состоит из метеорологических искусственных спутников Земли, функционирующих на разных орбитах, и наземного комплекса приема и обработки информации, поступающей от них.

Авиационная разведка погоды является дополнительным источником получения первичной метеорологической информации. Самолет используется как средство доставки в свободную атмосферу приборов для измерений атмосферных характеристик.

*Создание метеорологической службы в России.* Создание метеорологической службы России, ее основание, становление и развитие связаны с экономической, военной, культурной и политической жизнью Российского государства.

Издrevле русский человек вел наблюдения за погодой. Тысячу лет назад экстремальные метеорологические явления стали заноситься в летописи, которые велись во многих русских землях. Затем сложилась древняя служба погодоведения, основанная на народных приметах, выводы которой живут в народе до настоящего времени. В XII в. по указу царя Алексея Михайловича были начаты ежедневные визуальные наблюдения за погодой, значительная часть которых дошла до нашего времени. В 1834 г. по проекту А.Я. Купфера была учреждена Нормальная магнитная обсерватория в Петербурге, где проводились и метеорологические наблюдения. Метеорологическая сеть России с 1835 г. стала вести наблюдения по единому Руководству, которое переиздавалось впоследствии несколько раз. Задачей метеорологической службы было производство физических наблюдений и испытаний в обширном виде и вообще для исследования России в физическом отношении.

В 1849 г. создается Главная физическая обсерватория (ГФО), которая оказала большое влияние на развитие метеорологии во всем



мире. Начался новый этап развития метеорологической службы, главной задачей которого являлось создание центральных метеорологических обсерваторий и подчинение наблюдений единому центру. Четыре раза в год стал выходить журнал «Метеорологическое обозрение России», который давал представление об общем состоянии погоды за сезон в тех пунктах страны, где велись наблюдения.

Главная физическая обсерватория с 1 января 1872 г. приступила к изданию «Литографированного ежедневного метеорологического бюллетеня» и составлению ежедневных синоптических карт в Европе и Сибири. Первоначально ежедневный бюллетень составлялся по данным 28 станций. К концу года в бюллетень включались депеши 55 станций. 31 января 1884 г. была закончена «Записка директора Главной физической обсерватории в конференцию Академии наук об организации при Академии наук комиссии для выработки мер к объединению деятельности метеорологических станций Российской империи». В записке давался обзор состояния наблюдений в различных ведомствах, анализировались их взаимоотношения с Главной физической обсерваторией. Отмечалось, что Уральское, Харьковское и Одесское общества естествоиспытателей имеют небольшие метеорологические сети. Основной целью гидрометеорологии в то время являлось придание законодательной силы выработанным предложениям по обеспечению единства гидрометеорологических наблюдений. Единообразие метеорологических наблюдений было необходимо для развития международных контактов в области метеорологии.

*Развитие метеослужбы в начале XX в.* В России после событий, произошедших в начале XX в., важнейшей задачей являлось восстановление постоянно действующих и в первую очередь опорных метеорологических станций. План восстановления сети был подготовлен в ГФО. Сеть опорных станций должна была формироваться из числа ранее действующих станций с длительными рядами наблюдений. Согласно плану на территории России (СССР) была создана сеть из 516 постоянных станций, в число которых вошли 50 опорных станций и 11 обсерваторий. На европейскую часть России приходилось 29 пунктов, на азиатскую — 32. Поскольку территория азиатской части России была больше европейской в три раза, то для достижения такой же густоты опорных станций, как в европейской части, нужно было увеличить там число опорных станций примерно до 100. Малонаселенность, сложные топографические условия территории и недоступность многих районов не позволяли увеличить и равномерно распределить опорные станции. В 1921–1929 гг. были созданы метеорологические части (бюро) в союзных республиках, краях и областях. Развитие метеороло-

гии в этот период шло бурно, было создано пять крупных метеорологических научно-исследовательских институтов.

*Метеорология в годы войны.* Образование государственной службы метеорологического обеспечения Вооруженных сил России относится к 1864 г., когда при ГФО было организовано отделение морской метеорологии и к обсерватории была прикомандирована группа морских офицеров. В начале XX столетия в России активно велось строительство отечественных самолетов. В связи с этим метеорологическое обеспечение авиации стало одной из основных задач военного ведомства. Широкий круг исследований был выполнен в ГГО (Главная геофизическая обсерватория, бывшая ГФО) в предвоенные годы, включая разработку методов метеорологического обеспечения военных действий по «обрезанной карте», т.е. при отсутствии информации из стран Западной Европы в случае войны. По заказу Бюро военной метеорологии была подготовлена информация по аэрологии, климатологии, синоптической метеорологии и ветровому режиму России. В предвоенные годы коллектив климатологов ГГО опубликовал много томный труд «Климат Союза Советских Социалистических Республик». Все это сыграло важную роль в метеорологическом обеспечении боевых действий сухопутных войск.

Особую роль в годы войны играло метеорологическое обеспечение авиации. В феврале 1942 г. метеослужба военно-воздушных сил (ВВС) была переподчинена непосредственно штабу ВВС. Масштабы действий военной авиации в годы Великой Отечественной войны и ответственность метеорологов ВВС за ее метеорологическое обеспечение были огромны. За годы войны ВВС произвели около 4 млн боевых вылетов, связанных с трудом военных метеорологов. Только части дальней авиации совершили за годы войны 219 788 боевых вылетов. Громадную роль сыграла метеослужба Военно-морского флота в метеорологическом обеспечении морских караванов союзников, перевозок по трассе Северного морского пути.

За время войны накопился богатый опыт работы по метеорологическому обслуживанию как боевых действий войск, так и отраслей народного хозяйства. Вооруженные силы получили мощную и хорошо организованную метеорологическую службу по обеспечению всех родов войск. После окончания войны метеослужба была девоенизирована и вернулась к исполнению своих обязанностей, имея в своем составе центральный аппарат, республиканские и территориальные управления, систему научно-исследовательских институтов, специализированных вузов, техникумов, восстановленную гидрометеорологическую сеть.

*Метеорологическая служба в конце XX в.* В послевоенный период восстановление сети происходило практически сразу после освобождения территорий нашими войсками. В результате уже к концу Великой Отечественной войны число гидрометеорологических станций и постов на территории СССР, включая и освобожденную от немецко-фашистских захватчиков, не только не уменьшилось, но и по сравнению с 1940 г. увеличилось на 15%.

К концу 1950-х гг. сеть гидрометеорологических станций и постов, а также сетевые органы были восстановлены, число их возросло, была укреплена техническая база. Создавались новые сети наблюдений, такие как озонотрическая, атмосферно-электрическая и др. Существенно были расширены и технически переоснащены аэрологическая, метеорологическая и другие сети. Разрабатывались системы сбора и обработки информации на базе новых автоматических и полуполупроводниковых измерительных систем. Метеорологическая служба стала одним из лидирующих в стране ведомств по использованию в своих технологиях средств вычислительной техники.

В связи с осуществлением программы Всемирной службы погоды в Москве в 1963 г. был образован Мировой метеорологический центр (ММЦ), оснащенный современными ЭВМ. На базе ММЦ и Центрального института прогнозов вскоре был образован центральный научно-прогностический центр страны — Гидрометеорологический центр — один из трех мировых метеорологических центров.

С запуском первого искусственного спутника начались исследовательские и конструкторские работы по созданию экспериментальных, а затем и оперативно действующих систем метеорологических спутников и спутников для изучения природных ресурсов. Для организации и координации этих исследований был создан специальный научно-исследовательский центр «Планета», который функционирует и сейчас.

В 1974 г. постановлением правительства «Об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов» на метеослужбу были возложены новые функции — контроль за состоянием природной среды, в частности загрязнением воздуха. Уже в 1974 г. сеть контроля за загрязнением включала 130 городов и населенных пунктов, а в 1980–е гг. — 500. Во всех территориальных управлениях гидрометеорологической службы были созданы специальные отделы, осуществляющие мониторинг за состоянием окружающей среды.

В настоящее время после ряда преобразований центральных органов РФ метеослужба функционирует как самостоятельная Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окру-

жающей среды (Росгидромет). В ее состав в настоящее время входят 22 территориальных управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС), при этом большинство УГМС имеют в своем составе центры по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ЦГМС), расположенные в крупных городах. В составе Росгидромета работают 18 научно-исследовательских институтов.



Сеть метеорологических станций в 2009 г.

Научно-исследовательские институты отвечают за различные области метеорологии. Так, Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова в С.-Петербурге, основанная в 1849 г., отвечает за организацию климатических исследований и службу загрязнений атмосферы, Российский гидрометеорологический центр в г. Москве, созданный в 1930 г., — за все виды метеорологических прогнозов, Центральная аэрологическая обсерватория в г. Долгопрудном — за методы аэрологических измерений, изучение физических свойств атмосферы, включая облака, Российский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации в г. Обнинске — за хранение, систематизацию и распространение гидрометеорологической информации, Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт в С.-Петербурге — за метеорологическое изучение Арктики и Антарктики. Метеорологические и климатологические исследования ведутся также в Институте прикладной геофизики им. Е. К. Федорова, Институте экспериментальной метеорологии, Государственном океа-

нографическом институте, в региональных научно-исследовательских институтах (в г. Новосибирске, Владивостоке), в гидрометеорологических обсерваториях, а также в Российском учебном гидрометеорологическом институте и некоторых университетах. Фундаментальными проблемами физики атмосферы занимается Институт физики атмосферы РАН, взаимодействием океана и атмосферы — Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН и Государственный океанографический институт, палеоклиматологией — Институт географии РАН. Организацией Академии наук и Росгидромета является Институт глобального климата и экологии, задача которого — наблюдение за изменениями климата и окружающей человека среды, в частности их изменениями под влиянием антропогенных воздействий.

В настоящее время в России действует метеорологическая сеть, включающая около 3 тыс. метеостанций (рисунок) и постов, около 140 аэрологических станций и 20 судов погоды, 30 озонметрических станций, 14 ионосферных, 6 атмосферного электричества, 1 ракетного зондирования. Необходимый состав наблюдательной сети 5000 метеорологических станций, в том числе автоматических.

# ГЛАВА 1. ИЗМЕРЕНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

## 1.1. Основные термины и определения

*Объектом измерений* являются физические величины, характеризующие физические системы, их состояние и происходящие в них процессы. Различают *истинные значения* физических величин, которые идеальным образом отражают соответствующие свойства объекта, и их *действительные значения*, найденные экспериментальным путем, отличающиеся от истинных в пределах заданной *точности*. Нахождение значений физических величин опытным путем с помощью специальных технических средств называется *измерением*. *Принципы измерений* — это совокупности физических явлений, имеющих четко выраженные *метрические свойства*, наиболее общими требованиями к которым являются максимальная однозначность и линейность зависимости от изменения исследуемой величины, стабильность и воспроизводимость зависимости в заданном диапазоне условий. К важным преимуществам выбранного принципа измерений относятся возможность дистанционных измерений, быстроедействие, надежность автоматизации и прямой передачи полученной измерительной информации по каналам связи с минимальными искажениями.

*Метрология* — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности, ее основные положения определены Государственным стандартом РФ.

*Метод измерений* — это совокупность приемов использования принципов и средств измерений. В результате измерений вырабатываются *сигналы измерительной информации*, функционально связанные с измеряемыми физическими величинами. Техническое средство измерений, имеющее нормированные метрологические свойства, вырабатывающее выходной сигнал измерительной информации, называют *измерительным прибором*. Он может быть *аналоговым* или *цифровым, показывающим* или *регистрирующим*. Выходная измерительная информация в одних случаях отображает мгновенные значения исследуемой величины в точке измерений, а в других — результат временного или пространственного анализа и обобщения результатов измерений (интерполяции и экстраполяции результатов во времени или в пространстве).

*Средства отображения* могут хранить измерительную информацию в памяти, одним из видов которой является экран с изображением обновляющейся информации как периодически, так и по команде потребителя, или в соответствии с алгоритмом, например выхо-

дом исследуемых величин за заданные пределы. Показывающие и регистрирующие *индикаторы*, отображающие измерительную информацию на экране, называют *дисплеями*. Они могут быть аналоговыми или цифровыми.

Измерительный прибор может включать в себя ряд *измерительных преобразователей*, которые предназначены для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения.

*Первичный измерительный преобразователь* — преобразователь, который непосредственно взаимодействует с исследуемой средой и реагирует на изменение измеряемой физической величины; другое эквивалентное наименование — *датчик*; при измерении электромагнитных излучений используется также наименование *приемник*. Для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и использования в системах управления, распознавания образов, принятия решений при проведении исследований, используются *измерительные системы*, представляющие собой совокупность измерительных преобразователей и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи.

Измерительную систему (ИС) называют *информационно-измерительной системой* (ИИС), если управление процессами измерения и обработки и анализа автоматизировано по заданному алгоритму. ИИС могут быть самостоятельными или входить в состав более общих систем, например в автоматические системы управления воздушным движением. Измерительная информация по своему назначению может быть *оперативной*, статистической, необходимой для дальнейших обобщений или обучения адаптирующейся аппаратуры, и *отчетной*, предназначенной для контроля. Важным свойством ИИС является информативная совместимость всех входящих в нее средств, а также тех устройств, куда поступает информация, например в ПЭВМ устройства памяти. Функционально связанные устройства ИИС должны иметь общий *интерфейс*, устанавливающий алгоритм сигналов обмена информацией и управления.

*Под чувствительностью измерительного прибора*, измерительной или информационно-измерительной системы понимают отношение изменения сигнала на выходе прибора к вызывающему его изменению измеряемой физической величины. Абсолютная чувствительность  $S = dl/dx_y$ , относительная  $S_{\text{отн}} = dl/d\ln x$ , где  $l$  — сигнал на выходе,  $x$  — измеряемая величина. Аналогичную величину, отнесенную к

всему диапазону измерений, называют *коэффициентом преобразования*.

*Точность средства измерений* характеризует качество средства измерений, отражающее близость к нулю его погрешностей. *Точность измерений* характеризует качество измерений, отражающее близость результатов измерений к истинному значению измеряемой величины. Она зависит как от точности применяемых средств измерений, так и от методики измерений, включая обработку и анализ результатов. Высокая чувствительность измерительной системы — условие необходимое, но недостаточное для достижения высокой точности. Информационно-измерительные системы, применяющиеся при *зондировании окружающей среды*, в отличие от элементарных технических измерительных систем, часто характеризуются не столько чувствительностью или точностью измерений, сколько достоверностью распознавания образов, таких как грозовые очаги, зоны турбулентности, туманы, инверсии, смоги и другие опасные явления и тенденции их развития, свойства подстилающей поверхности. Информационно-измерительные системы, предназначенные для оперативного прогноза погоды и экологического мониторинга, требуют высокой точности измерений, это относится к измерению атмосферного давления, температуры и влажности воздуха, их вертикальных и горизонтальных градиентов, прозрачности атмосферы и содержания в ней примесей.

Требование *репрезентативности* выражается в том, что результаты измерений, выполняющихся дискретно как в пространстве, так и во времени, должны быть характерными для пространств и интервалов времени, больших, чем радиус действия и постоянная времени информационно-измерительных систем. Повышение репрезентативности достигается совершенствованием методики измерений, анализа, постепенным увеличением дистанционности. Для современных ИИС зондирования окружающей среды характерно широкое применение электрических, электромагнитных, оптических и акустических устройств; измерительных и вторичных преобразователей одного вида энергии в другой, усилителей сигналов, вычислительной и регистрирующей техники, синхронизирующих устройств.

## 1.2. Погрешности измерения

К особенностям метрологического обеспечения метеорологических работ (измерения метеорологических величин или элементов) можно отнести отсутствие эталонов (видимость, высота облаков и др.) и трудности измерения метеовеличин в различных условиях, например



аэродромов. Для метеовеличин характерны значительные изменения во времени и пространстве. Поэтому погрешности измерений, вызванные их нерепрезентативностью, превышают инструментальные погрешности. Диапазоны и допускаемые погрешности средств измерения метеовеличин оцениваются в лабораторных условиях по имеющимся эталонам. В публикациях ВМО представлены разработанные на основе международных стандартов термины и определения, применяемые для характеристики диапазонов и точности измерения метеовеличин, а также требования к датчикам, первичным и промежуточным измерительным преобразователям метеовеличин.

Измерение — совокупность действий, целью которых является определение значения какой-либо метеовеличины.

Результат измерения — значение метеовеличины, установленное в ходе измерения.

Откорректированный результат — результат измерения после внесения поправок на систематическую составляющую погрешности измерения.

Отклонение — значение измеряемой величины за вычетом условного действительного значения.

Значение метеовеличины — значение какой-либо конкретной физической величины, выраженное, как правило, в виде единицы измерения, умноженной на какое-либо число.

Действительное значение метеовеличины — значение, соответствующее определению заданной конкретной физической величины.

Точность измерения — степень приближения результата измерения к действительному значению измеряемой величины.

Погрешность измерения — параметр, связанный с результатом измерения и характеризующий дисперсию значений, которые могут быть логически приписаны конкретной измеряемой величине.

Повторяемость результатов измерений — степень сходства результатов последовательных измерений одной и той же измеряемой величины, проводимых при одних и тех же условиях измерений.

Поправка — значение, добавляемое алгебраически к неоткорректированному результату измерения с целью компенсации систематической погрешности.

Случайная погрешность — результат измерения за вычетом среднего значения, которое является результатом бесконечного числа измерений одной и той же величины, проводимых в повторяющихся условиях.

Систематическая погрешность — среднее значение, которое является результатом бесконечного числа измерений одной и той же из-

меряемой величины, проводимых в повторяющихся условиях, за вычетом действительного значения данной измеряемой величины.

Например, проведено  $n$  измерений, при которых измеряемая переменная величина остается постоянной. Если при помощи образцового эталона установлено действительное значение измеряемой величины и измеряемая переменная величина имеет нормальное гауссово распределение, то возможно определение следующих характеристик: систематической погрешности, которая является алгебраической разностью между средним значением измеренной величины и действительным ее значением; прецизионности, связанной со стандартным отклонением  $\sigma$  (если стандартное отклонение мало, то данные наблюдений являются воспроизводимыми в рамках статистических пределов, если велико, то данные измерений считаются воспроизводимыми только в широких статистических пределах и рассматриваются как непрецизионные (сомнительные)); точности, выраженной как  $(\bar{x} - x_d) \pm f(\sigma_0, n)$ , где  $f$  — вероятностная функция, зависящая от среднего квадратического отклонения  $\sigma_0$  и числа измерений  $n$ . Для установления стандартного отклонения и характера кривой погрешностей необходимо, чтобы число  $n$  было велико. Значение полученного среднего квадратического отклонения  $\sigma_0$  используется как первое приближение среднеквадратического стандартного отклонения. Под термином «погрешность измерения» в публикации ВМО понимается количественная оценка погрешности, определенная статистически и принятая равной  $2\sigma$  при уровне вероятности 95%.

### 1.3. Оценка метеорологических величин

Для получения достоверного значения метеорологической величины по результатам измерений необходимо знать ее действительное значение. Действительное значение физической величины определяют с помощью эталонов.

Эталон измерений — материальная мера, измерительный прибор, образцовый материал или система измерений, предназначенные для определения, физического представления, сохранения или воспроизведения единицы или одного из нескольких значений какой-либо физической величины и служащие в качестве образца.

Международный эталон — эталон, предназначенный международным соглашением в качестве основы, служащей в международном масштабе для установления значений соответствующей физической величины по другим эталонам.

Национальный эталон — эталон, признанный на основе официального решения в качестве основы в конкретной стране для установления значений соответствующей физической величины по другим эталонам.

Образцовый эталон — эталон, обладающий, как правило, наивысшим метрологическим качеством и имеющийся в наличии в конкретном месте и в конкретной организации; на его основе рассчитываются данные измерений.

Рабочий эталон — эталон, который используется для калибровки или поверки материальных мер, измерительных приборов или эталонных материалов.

Для того чтобы эффективно контролировать стандартизацию метеорологических приборов, ВМО была принята система национальных и региональных эталонов (региональные эталоны назначаются региональными ассоциациями, а национальные эталоны — отдельными государствами). Рабочие эталоны, используемые в оперативной работе, должны сравниваться с национальными эталонами. По рабочим эталонам производится поверка или калибровка метеорологических приборов, используемых в оперативной работе на сети гидрометеорологических станций. При отсутствии эталонов измерений метеовеличин (метеорологической оптической дальности видимости, высоты нижней границы облаков, вертикальной видимости) действительное значение определяется по среднему значению, синхронно измеренному несколькими датчиками. Приняв среднее значение измеренной метеовеличины за действительное, находят погрешность измерения всеми средствами измерения. Для расчета среднего используется

формула 
$$\bar{x}_{cp} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
 или

$$\sigma(\bar{x}_{cp}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i + x_2 + x_3 + \dots + x_n)^2}{n-1}},$$

где  $\bar{x}_{cp}$  — среднее значение метеорологической величины, полученное от трех и более датчиков;  $\sigma(\bar{x}_{cp})$  — среднее квадратическое значение метеовеличины, полученное от трех и более датчиков;  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  — значения метеорологической величины, измеренные датчиками;  $n$  — число датчиков. Для расчета погрешности измерения метеорологической величины используется формула среднего квадратического отклонения измеренного значения от действительного

$$\bar{\sigma}_n = \sqrt{\frac{(\bar{x}_{cp} - x_n)^2}{2}},$$

где  $\bar{\sigma}_n$  — средняя квадратическая погрешность измерения метеовеличины;  $x_n$  — значение метеовеличины, полученное при измерении. Таким методом производится оценка погрешностей измерения метеовеличин при полевых испытаниях средств измерения и сравнениях датчиков при отсутствии эталонов.

Если систематическая погрешность измерений отсутствует, то в практике метеорологических наблюдений для оценки действительного значения используют среднее значение большого количества выполненных измерений. Когда число наблюдений невелико, по среднему значению результата можно узнать только пределы, внутри которых может находиться действительное значение измеряемой величины. Если оно велико, распределение средних значений измерений является нормальным гауссовым, даже если погрешности измерений нормальному закону не удовлетворяют. Границы, в которых находится действительное значение измеряемой метеовеличины, может быть получено из соотношений для верхнего предела  $L_B = \bar{x} + z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$  и нижнего

$L_H = \bar{x} - z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ , где  $\bar{x}$  — среднее значение  $n$  измерений величины  $x_i$ , от-

корректированное на значение систематической погрешности;  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение для генеральной совокупности,

вычисляемое по формуле  $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ ,  $z$  — коэффициент, соот-

ветствующий выбранному уровню достоверности, который может быть получен из таблиц нормального распределения.

В случае, когда число наблюдений невелико, а среднее значение выборок соответствует  $t$ -распределению Стьюдента при условии, что ошибки наблюдений имеют гауссово, для выбранного уровня достоверности верхний и нижний пределы определяются по соотношениям:

верхний предел —  $L_B = \bar{x} + t \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{n}}$ , нижний предел —  $L_H = \bar{x} - t \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{n}}$ , где  $t$

— коэффициент Стьюдента, который зависит от выбранного уровня достоверности и числа измерений  $n$ ;  $\tilde{\sigma}$  — оценочное значение стандартного отклонения для генеральной совокупности.

При наблюдениях учитывается распределение погрешностей измерений, а также то, является ли распределение нормальным гауссовым. Распределения измеряемых переменных величин, таких как высота нижней границы облаков и вертикальная видимость, метеорологическая оптическая дальность видимости, влажность воздуха, не яв-

ляются гауссовыми, и их математическое описание должно основываться на индивидуальных правилах, действительных для каждого конкретного распределения. Данные измерений содержат как случайные, так и систематические составляющие погрешности измерения. В каждом конкретном случае полученное в результате наблюдений среднее значение должно быть откорректировано с учетом систематической составляющей погрешности измерения. Если систематическая составляющая погрешности неизвестна, то ее можно вычислить по формуле  $\bar{x}_c = \frac{\bar{x}_m - \bar{x}_b}{2}$ , где  $x_c$  — средняя систематическая составляющая

погрешности конкретного измерения величины в точке  $x$  диапазона измерений;  $x_m(x_b)$  — среднее значение погрешности измерения в точке  $x$  диапазона измерения метеовеличины, полученное экспериментально при изменениях информативного параметра входного или выходного сигнала средства измерения со стороны меньших (больших) значений

$x$ .  $x_m = \frac{\sum_{i=1}^n x_{mi}}{n}$ ,  $x_b = \frac{\sum_{i=1}^n x_{bi}}{n}$ , где  $n$  — число измерений;  $x_{mi}$  ( $x_{bi}$ ) —  $i$ -й отсчет

средства измерения при предварительном измерении информативного параметра входного или выходного сигнала со стороны меньших (больших) значений до значения  $x$ .

Для оценки случайной составляющей погрешности измерения

используется формула  $\bar{\sigma}(x^\circ) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_c)^2}{n-1}}$ , где  $\bar{\sigma}(x^\circ)$  — среднее

квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности измерения метеовеличины;  $x_i$  —  $i$ -й отсчет измерения;  $\bar{x}_c$  — среднее значение систематической составляющей погрешности измерения;  $n$  — число измерений. Пока систематическая составляющая погрешности измерения не выражена в понятиях вероятности, нельзя узнать уровень достоверности действительного значения измеряемой величины. Для получения действительного значения метеовеличины, измеряемой в реальных условиях, необходимо, чтобы систематическая составляющая погрешности измерений полностью определялась.

## 1.4. Точность измерения

Результат любого измерения разлагается на две составляющие: действительное значение и шум. Для определения метеорологической величины с высокой точностью шум следует исключить. Он возникает по нескольким причинам: в результате ошибок при проведении измерений (например, наблюдения проводились не в срок); за счет флуктуации измеряемой величины (например, мелкомасштабные неоднородности). Если предположить, что погрешность измерений может быть устранена, то шум покажет предел точности измерений, и дальнейшее совершенствование методов позволит улучшить измерение шума, но не приведет к значительному улучшению результатов. С другой стороны, средство измерения, погрешность измерения метеовеличины которого превышает амплитуду изменения действительного значения этой величины, может дать недостаточную информацию о ее действительном значении.

Таблица 1.1

Требования ВМО к точности измерения метеорологических величин

Параметр	Диапазон измерения	Разрешение	Требуемая точность	Период осреднения, мин	Достижимая точность
Температура	-60-+60°C	0,1°C	±0,1°C	1	±0,2°C
Влажность	5-100%	1%	±3%	1	±(3-5)%
Давление	920-1080гПа	0,1 гПа	±0,1 гПа	1	±0,3 гПа
Барич. тенденция	Не указан	0,1 гПа	±0,2 гПа	1	±0,2 гПа
Скорость ветра	0-75 м/с	0,5 м/с	±0,5 м/с	2, 10	±0,5 м/с
направление	0-360°	10°	±5%	2, 10	±5°
порывы	5-75 м/с	0,5 м/с	±10%	3 с	±0,5 м/с
Дальность видимости	<50 м-70 км	50 м	±50 до 500 м; ±10% > 500 м	3 мин	±10%
Кол-во облаков	0-8 октов	1/8	±1/8	-	±1/8
Высота нижней границы облаков	<30 м-30 км	30 м	±10 до 100 м ±10% > 100 м	-	±10 м
Количество осадков	0-400 мм	0,1 мм	±0,1 < 5 мм ±2% > 5 мм	-	±5%
Высота снежного покрова	0-10 м	1 см	± 1 до 20 см; ± 5 % > 20 см	-	-

Например, если постоянная времени первичного измерительного преобразователя скорости ветра превышает 3 с, то он не может обеспечить выбор максимальной скорости за истекшие 10 мин.

Таким образом, амплитуды шума и действительного значения метеорологической величины позволяют определить пределы эффективности, вне которых усовершенствование средства измерения не является необходимым, а полученные данные не будут приниматься в расчет.

Точность, с которой должна измеряться та или иная величина, зависит от конкретной цели. Требования эффективности с точки зрения точности измерений формируются на основе представлений о практической достижимости эффективности и потребностях пользователей. Понятие эффективности средств измерений и измерительных систем охватывает достоверность и точность измерения метеовеличин (пространственное и временное разрешение); надежность (продолжительность эксплуатации); трудоемкость обслуживания; стоимость изделия и поверки. Существуют требования (табл. 1.1) к диапазонам точности измерения и времени осреднения метеорологических величин при проведении наземных наблюдений.

## ГЛАВА 2. ИЗМЕРЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Одной из важных метеорологических величин, определяемых при метеорологических наблюдениях, является атмосферное давление. Атмосферное давление на горизонтальную поверхность — это действующая на единицу площади этой поверхности сила, обусловленная весом вышележащей атмосферы. Давление равно весу вертикального столба воздуха, простирающегося от рассматриваемой поверхности до внешней границы атмосферы, с основанием, равным единице площади. Кроме абсолютного значения атмосферного давления на метеорологических станциях определяют значение и характеристику барометрической тенденции. Значение тенденции определяют по изменению давления за 3 ч между сроками наблюдений, а ее характеристику — по виду кривой регистрации за эти 3 ч. Значения и характеристика барометрической тенденции используются при прогнозировании атмосферных процессов. В метеорологии атмосферное давление измеряется с помощью ртутных, деформационных и других барометров. Различают три типа ртутных барометров: чашечные, сифонно-чашечные и сифонные. В автоматических станциях применяют компенсационные барометры, в которых изменение атмосферного давления уравнивается весом груза, перемещаемого по плечу рычага. Разрабатываются частотные барометры, в которых атмосферное давление определяют по собственной частоте колебаний резонатора. Эти барометры позволяют обеспечить наряду с высокой точностью измерений еще и экологическую чистоту, и безопасность измерения давления.

### 2.1. Методы измерения давления

*Метод, базирующийся на измерении веса.* Этот метод основан на измерении веса столба жидкости, которая уравнивает вес вертикального столба атмосферы, т.е. давление атмосферы. На этом принципе работают ртутные барометры. Если трубку длиной 900 мм, запаянную с одного конца, наполнить ртутью, а другой ее конец опустить в чашку (сосуд) с ртутью, то вытечет только то количество ртути, которое не уравнивается атмосферным давлением. Таким образом, если трубка находится в вертикальном положении, в ней останется столб ртути, уравниваемый атмосферным давлением. Если трубка в достаточной степени вакуумирована, т. е. давление  $P_0 \leq 10^{-2}$  гПа, то давление, оказываемое ртутным столбом высотой  $H$ , равно атмосферному:



$$H\rho g = P_a,$$

где  $\rho$  — плотность ртути,  $g$  — ускорение свободного падения,  $P_a$  — атмосферное давление.

Таким образом, измерение атмосферного давления ртутными барометрами предусматривает точное измерение высоты ртутного столба над поверхностью ртути в чашке (сосуде). Точное измерение высоты ртутного столба (до миллиметра) привело к тому, что в практику измерения атмосферного давления прочно вошла единица измерения «миллиметры ртутного столба», которая используется в России и в настоящее время, несмотря на то, что по Международной системе единиц атмосферное давление должно выражаться в паскалях ( $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$ ). При измерениях атмосферного давления в метеорологических целях, например на аэродромах, принято выражать его в гектопаскалях ( $1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па}$ ). Это объясняется тем, что  $1 \text{ гПа} = 1 \text{ мбар}$  (миллибар — единица, которая ранее использовалась для измерения давления и широко применялась в метеорологии). В стандартных атмосферных условиях столб ртути, имеющий действительную высоту шкалы 760 мм (мм рт. ст.), оказывает давление, равное 1013,250 гПа, следовательно,  $1 \text{ гПа} = 0,750062 \text{ мм рт. ст.}$ , а  $1 \text{ мм рт. ст.} = 1,333324 \text{ гПа}$ . Шкалы ртутных барометров проградуированы таким образом, чтобы получались истинные значения атмосферного давления непосредственно в принятых единицах измерения при стандартной температуре  $0^\circ\text{C}$  и ускорении свободного падения, равном  $9,80665 \text{ м/с}^2$ .

*Метод, базирующийся на измерении деформации.* Мембрана из эластичного материала будет деформироваться, если давление на одной ее стороне будет больше, чем на другой. На практике используются запаянная металлическая коробка или несколько коробок (бароблок), сильфон, полностью или частично вакуумированные, с сильной металлической пружиной для предотвращения разрушения коробки под воздействием внешнего атмосферного давления. Для измерения деформации под воздействием разности давления внутренней и внешней среды коробки используются механические и электрические средства.

На основе деформационного принципа с применением механических средств измерения сконструированы широко известные барометры–анероиды. Барометры–анероиды имеют недостаточно высокую стабильность измерения атмосферного давления во времени вследствие гистерезиса и нуждаются в частой калибровке.

*Резонансный метод.* В настоящее время применяются датчики давления, в которые входят тонкостенные цилиндры из никелевого сплава, находящиеся в вакууме. Опорная резонансная частота этих

цилиндров изменяется в зависимости от разницы между давлением внутри цилиндра (атмосферное) и давлением вне цилиндра, сохраняющимся в вакууме.

Все большее распространение получают датчики абсолютного давления, в которых используется кварцевый кристаллический элемент. Оказываемое через гофрированные мембраны на поверхность кристалла давление вызывает силу сжатия, воздействующую на кристалл. Вследствие пьезоэлектрических свойств кристалла при воздействии давления изменяется баланс активного моста Уитстона. Балансирование моста позволяет обеспечить точное определение давления. Датчики давления такого типа не подвержены гистерезису.

*Гипсометрический метод.* Гипсометрический метод определения атмосферного давления основан на зависимости температуры кипения жидкости от давления. Жидкость начинает кипеть при температуре, при которой парциальное давление паров равно внешнему давлению на ее поверхности. В качестве жидкости при измерении давления гипсотермометром используется дистиллированная вода. Зная температуру кипящей воды, можно по специальным таблицам найти парциальное давление пара, а поскольку оно равно внешнему давлению, то, следовательно, равно и атмосферному. Этот метод измерения атмосферного давления применяется редко (в экспедициях, на речных или морских судах).

*Поправки к измерениям.* Если стеклянную трубку длиной 90 см, запаянную с одного конца, заполнить ртутью, затем прикрыть ее отверстие, опрокинуть и опустить незапаянным концом в чашку с ртутью, то после открытия отверстия из трубки выльется только часть ртути. Оставшийся столб ртути высотой  $H$  будет определяться атмосферным давлением  $P_a$ , т.е. давление внутри трубки  $P$  уравнивает атмосферное давление  $P_a$ :  $P = P_a$  или  $H_{\text{ртг}} = P_a$ . Таким образом, измеряя  $H$  при известных  $r$  и  $g$ , определяем атмосферное давление в данной точке. Так как  $g$  зависит от высоты и широты места (но постоянна для каждой фиксированной точки), а  $r$  — плотность ртути — от температуры, то очевидно, что в отсчеты  $H$  необходимо вводить поправки на температуру, высоту и широту, а также инструментальную поправку. Таким образом, если барометр находится в одной точке (станция), то к его показаниям вводятся три поправки: на приведение показаний барометра к  $0^\circ\text{C}$  — температурная поправка; инструментальная поправка; поправка для приведения показаний барометра к нормальному ускорению силы тяжести ( $g = 980,665 \text{ см/с}^2$ ) (на высоту и широту). Поправки объединяют в одну постоянную поправку. Если давление измеряется в различных точках, то необходимо вводить все

поправки отдельно. Такая ситуация возникает при маршрутных измерениях или на движущихся судах.

## 2.2. Датчики атмосферного давления

*Датчики атмосферного давления РТВ210* предназначены для непрерывного измерения атмосферного давления в месте их установки и дистанционной автоматической передачи измерительных сигналов на вход ПЭВМ. Датчики РТВ210 разработаны и серийно выпускаются фирмой Vaisala (Финляндия) в двух вариантах: в первом — обеспечивается измерение атмосферного давления в диапазоне 500-1100 гПа и используется более точный первичный измерительный преобразователь (сенсор); во втором — обеспечивается измерение атмосферного давления в диапазоне 50–1300 гПа. Принцип работы датчика РТВ210 описан выше (деформационные емкостные детекторы).

*Устройство и технические характеристики.* В качестве первичного измерительного преобразователя атмосферного давления в датчиках РТВ210 используется силиконовый емкостный элемент абсолютного давления BAROCAP, разработанный фирмой Vaisala. BAROCAP (рис. 2.1) состоит из двух слоев монокристаллического силикона (7), между которыми расположен слой стекла (2). Более тонкий слой силикона вытравлен с двух сторон, благодаря чему формируется чувствительная к давлению силиконовая диафрагма (5). Более толстый слой силикона служит основанием датчика и покрыт стеклянным диэлектриком.

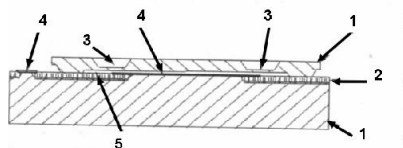


Рис. 2.1. Схема емкостного элемента давления BAROCAP

Тонкий слой силикона электрически скреплен со стеклянной поверхностью, что делает вакуумную камеру прочной и герметичной. Тонкая металлическая пленка (4), нанесенная на силикон, играет роль первого электрода емкости внутри вакуумной опорной камеры (5); роль второго электрода играет чувствительная к давлению силиконовая диафрагма (3). Монокристаллический силикон и стекло, использованные в сенсоре BAROCAP, тщательно подобраны по коэффициенту температурного расширения и минимизируют температурную зави-

симось датчика. Термическая тренировка сенсора при повышенной температуре увеличивает долговременную стабильность и низкую температурную зависимость датчика. Конструкция и компактность датчиков РТВ210 (рис. 2.2) позволяют устанавливать их на открытом воздухе и в рабочем помещении. При размещении и установке датчиков следует обеспечить защиту входного отверстия штуцера (1), соединяющего первичный измерительный преобразователь с атмосферой. Для защиты от дождя достаточно на штуцер надеть трубку с внутренним диаметром 4 мм. В условиях турбулентной среды и высокой скорости ветра для получения достоверных и точных результатов измерений атмосферного давления рекомендуется для защиты входного отверстия использовать защитный экран.

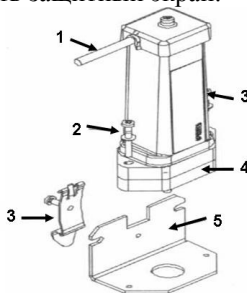


Рис. 2.2. Общий вид с креплением датчика атмосферного давления РТВ210

Датчик РТВ210 может устанавливаться на плоскую горизонтальную поверхность через уплотнительную прокладку, подкладываемую под основание датчика (4) и закрепляемую фиксирующим винтом (2), или на стену (стойку) с помощью датчика пластины (5) и зажимов (3), поставляемых в комплекте. Управление датчиком РТВ210, прием и обработка измерительных сигналов производятся ПЭВМ с помощью команд, подробно описанных в «Руководстве пользователя». Отображение результатов измерения атмосферного давления датчиком (датчиками) РТВ210 производится на экране дисплея ПЭВМ, в который поступают измерительные сигналы.

Настройка и калибровка датчиков РТВ210 производятся по эталонам, обладающим высокой точностью измерения абсолютного давления. Для датчиков РТВ210, измеряющих атмосферное давление в диапазоне 500-1100 гПа, для калибровки используются более точные эталоны. При калибровке и поверке датчиков РТВ210 регулировка не производится, но вводятся поправки. Ввод поправок описан в «Руководстве пользователя». Для датчиков РТВ210, измеряющих атмосфер-

ное давление в диапазоне 500-1100 гПа, предел допускаемой погрешности измерения составляет  $\pm 0,25$  гПа: за счет нелинейности шкалы  $\pm 0,1$  гПа, гистерезиса  $\pm 0,05$  гПа, неточности калибровки  $\pm 0,07$  гПа, воздействий температуры  $\pm 0,2$  гПа. Датчики РТВ210 работоспособны при температуре воздуха от  $-40$  до  $60^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность воздуха до 100 %. Масса датчика РТВ210 составляет 110 г.

### 2.3. Средства измерения атмосферного давления

**Барометры ртутные.** *Барометр чашечный стационарный с компенсированной шкалой (СР-А, СР-Б).* Барометрическая трубка этого барометра — калиброванная стеклянная, запаянная с верхнего конца, с внутренним диаметром 7,2 мм и длиной 800 мм — укреплена нижним открытым концом в крышке пластмассовой или чугунной чашки при помощи шайбы с винтовой нарезкой (рис. 2.3). Чашка барометра состоит из трех свинчивающихся частей. Средняя часть имеет диафрагму с отверстиями, которая служит для гашения колебаний ртути, что исключает попадание воздуха в барометрическую трубку.

Трубка и чашка заполняются очищенной ртутью. Воздух из трубки до заполнения ее ртутью откачивается не менее чем до  $10^{-5}$  гПа. С атмосферным воздухом барометр сообщается через отверстие в крышке чашки, закрывающееся винтом. Высота ртутного столба в стеклянной трубке измеряется по шкале, нанесенной в верхней части металлической защитной оправы (нуль шкалы совпадает с уровнем ртути в чашке). Сквозная прорезь позволяет видеть мениск ртутного столба в стеклянной трубке. В прорези при помощи кремальеры движется кольцо с укрепленным на нем нониусом.

Десять делений нониуса равны 19 делениям шкалы барометра. Благодаря этому можно производить отсчеты с точностью до десятых долей шкалы (номер деления нониуса, точно совпадающего с каким-либо делением шкалы, дает число десятых долей). Термометр, укрепленный еще в одной прорези защитной оправы, служит для определения температуры барометра (ртути и шкалы). В верхней части оправы имеется кольцо для подвешивания барометра.

Несмотря на то, что уровень ртути в чашке при изменении давления меняется, в этих барометрах отсчитывают только положение столбика ртути в стеклянной трубке, не фиксируя положение ртути в чашке. Это возможно, потому что в чашечном барометре шкала скомпенсирована на изменение ртути в чашке. Соотношение изменений уровней ртути в трубке и чашке при изменении атмосферного давления пропорционально соотношению площадей их поперечного сече-

ния. Для барометров это соотношение равно 0,02. Это значит, что при изменении атмосферного давления на 1 мм рт. ст. изменится уровень ртути в чашке на 0,02 мм, длина столба ртути в барометре — на 0,98 мм. У стационарных барометров с миллиметровой шкалой длина одного деления равна 0,98 мм. Барометры выпускаются двух модификаций: СР-А с пределами измерений 810...1070 гПа и СР-Б с пределами измерений 680...1070 гПа.

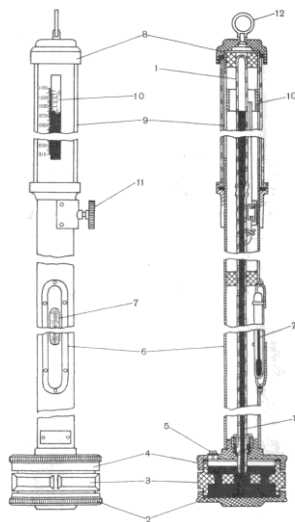


Рис. 2.3. Барометр стационарный чашечный СР:

1 — стеклянная трубка; 2 — дно чашки; 3 — диафрагма чашки; 4 — крышка чашки; 5 — винт; 6 — металлическая оправа; 7 — ртутный термометр; 8 — крышка; 9 — стеклянная трубка; 10 — нониус, 11 — кремальера; 12 — кольцо

*Барометр сифонно-чашечный контрольный (КР)* (рис. 2.4,а). Стеклянная барометрическая трубка имеет сложное устройство. Верхняя ее часть, составляющая 1/3 всей длины трубки, имеет диаметр 14 мм, а остальные 2/3 значительно тоньше. Тонкая часть трубки в месте сужения изогнута в сторону от верхней части и спаяна при помощи стеклянного баллона со второй (короткой) трубкой. Нижние концы трубок вмонтированы в металлический конус (наконечник), который вставляется в чашку и закрепляется в ней. Трубка 1 является длинным коленом, трубка 2 — коротким. Короткое колено в верхней части имеет цилиндрический прилив с отверстием; на нем укреплен ниппель, закрывающийся колпачком 7. Обе стеклянные трубки вставлены в металлическую оправу со шкалой 11, соединяющуюся с чашкой. В опра-

ве имеются сквозные прорезы, через которые видны столбики ртути в верхнем (длинном) и нижнем (коротком) коленях. На правом крае прорезей нанесена шкала: внизу (у нижней прорези) от 0 до 130 гПа, у верхней прорези — от 850 до 1070 гПа. В нижней прорези устанавливается индекс 12, соединенный с кольцом, которое крепится к оправе винтом 13 так, чтобы нижний срез индекса установился точно против нулевого деления шкалы. Винт трогать нельзя, так как это может привести к смещению индекса и изменению инструментальной поправки барометра.

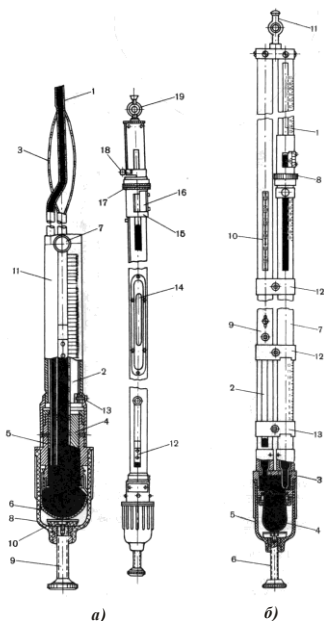


Рис. 2.4. Ртутные барометры:

а) барометр контрольный КР (вид и разрез): 1, 2 — стеклянные трубки; 3 — баллон; 4 — стальной конус; 5 — чашка; 6 — мешок; 7 — колпачок; 8 — стакан; 9 — винт; 10 — пятка винта; 11 — оправка; 12 — пластина нулевого индекса; 13 — винт; 14 — термометр; 15 — муфта; 16 — нониус; 17 — микрометрическое кольцо; 18 — стопорный винт; 19 — подвес;

б) барометр инспекторский ИР: 1, 2 — стеклянные трубки; 3 — металлическая чашка; 4 — лайковый мешок; 5 — пластмассовый стакан; 6 — подъемный винт; 7, 9 — металлическая оправка; 8 — муфта; 10 — термометр; 11 — подвес; 12, 13 — хомуты

Дном чашки служит мешок 6 из лайки, нижняя часть мешка с помощью винта 9, ввинчивающегося в дно защитного цилиндра, может перемещаться вверх и вниз, меняя уровень ртути в обоих коленах. В средней части оправы барометра установлен термометр 14. На оправе у верхней прорези имеется подвижная муфта 15 с прорезью, у правого края которой укреплен нониус 16 с 20 делениями (с его помощью отсчет по шкале барометра может производиться с точностью до 0,05 гПа). Муфта состоит из нескольких подвижных частей. Верхняя часть ее может быть закреплена винтом 18 на любом участке верхней прорези (для грубой установки среза нониуса у мениска ртути). Нижняя часть может перемещаться относительно верхней части муфты при помощи микрометричного кольца 17, что позволяет точно установить срез кольца на вершину мениска ртути. Барометр подвешивается за подвес 19.

*Барометр сифонно-чашечный инспекторский ртутный (ИР)* ввиду его прочности и постоянства инструментальной поправки широко используется в качестве инспекторского барометра (рис. 2.4, б). Состоит из стального резервуара-чашки 3, которая имеет диафрагму и эластичное дно (мешок из лайки) 4. В крышку чашки вставлены две стеклянные трубки 1 и 2: правая (барометрическая) 1 — длинная (около 86 см) с запаянным верхним концом, левая 2 — короткая. На ее верхнем конце укреплен металлический кран, который открывается при наблюдениях для сообщения с воздухом. На пробке крана имеются риски. Если риска пробки совпадает с буквой О, то кран открыт; если риска совпадает с буквой З, то кран закрыт — барометр не сообщается с окружающим воздухом. На чашку навинчивается цилиндр, через дно которого в резьбовом отверстии проходит винт со свободно вращающимся диском. Вращением винта поднимают или опускают дно мешка, тем самым меняя уровни ртути в обеих трубках барометра.

Стеклянные трубки заключены в металлическую оправу. Оправа состоит из металлических трубок 7 и 9, которые закреплены в чашке и соединены между собой неподвижными хомутами 12, 13 и головкой с подвесом 11. В оправе трубки 2 установлен термометр 10. На оправе трубки 1 нанесена миллибаровая шкала от 0 до 1070 мб с перерывом от 130 до 545 мб, а также установлена подвижная муфта 8. Муфта имеет нониус и микрометричное кольцо для точной наводки на верхний мениск ртути и снятия отсчета. Хомут 13 установлен так, что его нижний срез совпадает с нулевым делением шкалы и является нулевым индексом барометра; хомут 12 устанавливается на любое верхнее деление нижней части шкалы и может служить нулем барометра при измерении давления менее 570 мб. Пределы измерения барометра —



от 570 до 1070 мб. Шкала нониуса имеет 20 делений и обеспечивает возможность отсчета с точностью 0,05 мб. Нуль шкалы нониуса совпадает с его нижним визиром. Погрешность измерения  $\pm 0,3$  мб.

**Барометры деформационные.** Самым распространенным первичным преобразователем являются барокоробки (вакуумированные мембранные коробки), которые преобразуют изменение давления в линейное перемещение или усилие. Барокоробка представляет собой две круглые мембраны (диаметром несколько десятков миллиметров), сваренные по окружности. В качестве преобразователя давления в линейные перемещения коробка действует следующим образом. Атмосферное давление, сжимающее коробки, уравнивается силой упругости мембран (или дополнительной пружины). Если давление изменяется, мембраны и пружина деформируются, и равновесие вновь восстанавливается. Мерой измерения давления служит величина перемещения жестких центров мембран относительно друг друга.

На метеорологических станциях для измерения давления анероиды не используются, их применяют, например, в экспедициях, на метеорологических постах. Принцип действия барометра-анероида основан на деформации металлических анероидных коробок (внутри которых воздух разряжен) под действием давления (рис. 2.5). Линейные изменения толщины коробок преобразуются передаточным рычажным механизмом в угловые перемещения стрелки барометра-анероида относительно шкалы. Шкала градуирована в паскалях. Цена одного деления — 100 Па или 1 гПа. Для измерения температуры прибора в прорези шкалы прикреплен дугообразный ртутный термометр (цена деления шкалы  $1^{\circ}\text{C}$ ).

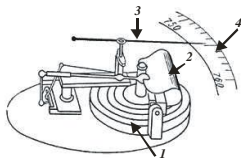


Рис. 2.5. Схема барометра-анероида:

- 1 — металлическая коробка; 2 — полосовая пружина; 3 — стрелка;  
4 — шкала

Рабочее положение барометра-анероида — горизонтальное. Футляр, в котором находится анероид, предохраняет его от резких колебаний температуры и открывается только на время измерений. В показания анероида вводят три поправки: шкаловую, температурную и добавочную, которые указываются в поверочном свидетельстве к каж-

дому прибору. Шкаловая поправка учитывает инструментальную неточность работы самого прибора, поэтому на различных участках шкалы она может быть разной. В поверочном свидетельстве шкаловые поправки приводятся через каждые 1000 Па. Для промежуточных показаний поправку определяют путем интерполяции двух соседних поправок. Температурная поправка учитывает влияние температуры. При одинаковом давлении, но разной температуре прибора показания анероида могут быть разными, так как по мере изменения температуры упругость анероидных коробок не остается постоянной. Чтобы исключить влияние температуры, показания анероида приводятся к 0°C. Для этой цели дается температурный коэффициент  $k$  на 1°C. Для получения температурной поправки его нужно умножить на температуру прибора:  $\Delta t = kt$ . Добавочная поправка, учитывающая остаточную деформацию (гистерезис) коробок, меняется во времени. Барометр-анероид поверяется не реже одного раза в 6 месяцев.

Правила измерения и вычисления давления по барометру-анероиду: открыть футляр, отсчитать показания термометра при анероиде с точностью до 0,1°C; слегка постучать по стеклу анероида для преодоления трения в передаточном рычажном механизме; отсчитать положение стрелки относительно шкалы с точностью до 0,1 деления (10 Па); найти по поверочному свидетельству шкаловую, температурную и добавочные поправки с соответствующим знаком + или -; поправки суммировать алгебраически, ввести в результат отсчета и записать исправленные показания в Па и гПа.

Примечание: 1 Па = 1Н/м<sup>2</sup> = 0,01 гПа; соотношение между гПа, мб и мм следующее: 1 гПа = 1 мб = 0,75 мм рт. ст.; 1 мм рт. ст. = 1,33 мб = 1,33 гПа.

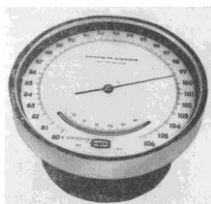


Рис. 2.6. Барометр-анероид БАММ

*Барометр-анероид БАММ-1* (рис. 2.6) измеряет атмосферное давление в пределах 600–800 мм рт. ст. (800–1060 гПа) с погрешностью ±1,5 мм рт. ст. (±2 гПа). Линейное перемещение мембран преобразуется передаточным механизмом в угловое перемещение

стрелки. Чувствительный элемент барометра представляет собой блок из трех последовательно соединенных анероидных мембранных коробок, один конец которого неподвижен, а другой шарнирно соединен с жесткой тягой и далее с рычагом, установленным на промежуточной оси прибора. На рычаге закреплен один конец гибкой пластинчато-шарнирной цепочки, намотанной на ролик, установленный на оси стрелки прибора. Специальная спиральная пружина (волосок), связанная с осью, натягивает цепочку, выбирая лифт в соединениях механизма. При изменении атмосферного давления свободный конец бароблока перемещается и поворачивает промежуточную ось, которая через натянутую цепочку вращает ролик и ось со стрелкой прибора. Измерение температуры прибора производится по ртутному термометру. Установка стрелки при регулировке прибора на деление шкалы, соответствующее значению атмосферного давления, осуществляется с помощью специального винта через отверстие в корпусе прибора. Барометр предназначен для работы в помещении при температуре 10...+40 °С.

*Барометр-анероид М-67 (МД-49-2) (рис. 2.7) измеряет атмосферное давление в пределах 610–790 мм рт. ст. с погрешностью  $\pm 0,8$  мм.*

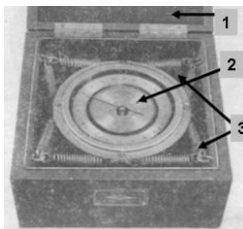


Рис. 2.7. Барометр-анероид М-67:

1 — крышка футляра; 2 — анероид; 3 — амортизаторы

Чувствительным элементом прибора является блок анероидных мембранных коробок. При изменении давления бароблок деформируется и с помощью передаточного механизма поворачивает центральную ось вместе со стрелкой, расположенной над зеркальной шкалой. Механизм прибора смонтирован в корпусе, который закреплен в футляре на пружинных амортизаторах. Для уменьшения погрешности и повышения надежности в приборе применены неподвижные струнные оси и миниатюрная пластинчатошарнирная цепочка, а также зеркальная шкала. Анероидные коробки, применяемые в приборе, обладают хорошей надежностью и небольшой величиной гистерезиса (ос-

таточной деформации). Барометр может применяться на открытом воздухе при температуре  $-40\dots+40^{\circ}\text{C}$ . Для повышения чувствительности деформационных барометров иногда применяют несколько барокоробок, скрепленных между собой (например в барографах).

*Барограф метеорологический М-22АН* (рис. 2.8) может регистрировать атмосферное давление в пределах  $780\text{--}1060$  гПа, в диапазоне изменений  $100$  гПа при температуре воздуха  $-10\dots+45^{\circ}\text{C}$  с погрешностью  $1\text{--}2$  гПа. Датчиком давления (чувствительным элементом) является блок барокоробок. Каждая барокоробка состоит из двух сваренных круглых металлических мембран. Воздух из коробок откачан. Атмосферное давление, направленное на сжатие коробки, уравнивается силой упругой деформации мембран. Изменение давления нарушает равновесие — коробки или сжимаются, или расширяются. Нижнее основание блока коробок укреплено на плате прибора с помощью биметаллического температурного компенсатора. Центр верхней коробки через передаточную систему связан с металлической стрелкой. Термокомпенсатор, который служит для исключения влияния температуры на показания прибора, представляет собой биметаллическую пластину. Действует он следующим образом. Если, например, при неизменном атмосферном давлении будет изменяться температура, то упругость коробок (мембран) будет уменьшаться (при увеличении температуры) или увеличиваться (при понижении температуры), а значит, соответственно будет перемещаться весь бароблок. Однако одновременно с этим будет деформироваться (изгибаться) в противоположном направлении и примерно на ту же величину биметаллическая пластинка. В результате этих взаимно противоположных действий перо не будет перемещаться по ленте.

Изменение атмосферного давления приводит к изменению длины столбика барокоробок, перемещению его верхнего конца, которое передается стрелке с надетым на нее пером. Перо делает запись на бумажной диаграммной ленте, которой обернут барабан с расположенным внутри вращающим его часовым механизмом. Вся эта система смонтирована в пластмассовом корпусе. Металлическое перо заполняется специальными чернилами для метеорологических самописцев. Положение пера по вертикали может изменяться с помощью винта. Кнопкой можно сделать отметку (засечку) на ленте. Концы ленты зажаты на барабане плоской пружиной. Часовой механизм рассчитан на  $180$  ч. хода от одного полного завода, заводится ключом. Ход его можно регулировать через отверстие, закрытое пробкой.

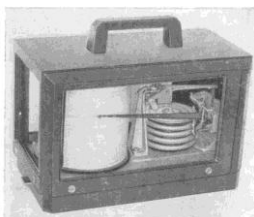


Рис. 2.8. Барограф метеорологический М-22АН

На ленте нанесена шкала, деления которой соответствуют 2 гПа между горизонтальными линиями и 2 ч. — между вертикальными (при наблюдениях на станциях, как правило, применяются барографы с одним оборотом барабана за 176 ч.).

*Авиационный барометр PA21.* Авиационный барометр PA21 предназначен для измерения атмосферного давления в месте установки датчика, а также для вычисления давления на уровне порогов ВПП, на уровне моря по стандартной атмосфере, на уровне моря по реальной атмосфере и барической тенденции. PA21 серийно выпускается фирмой Vaisala (Финляндия). PA21 может использоваться автономно как средство измерения атмосферного давления, так и с расширением T/V (по измерению температуры и влажности) как средство измерения атмосферного давления, температуры и влажности воздуха. PA21 сертифицирован Госстандартом России и допущен к применению в Российской Федерации.

Принцип работы датчика атмосферного давления в измерителе PA21 основан на принципе действия деформационных барометров, использующих зависимость упругой деформации твердых тел от оказываемого на них давления. Первичным измерительным преобразователем атмосферного давления в PA21 являются три независимые анероидные коробки и преобразователи линейного перемещения, управляемые микропроцессором. Температура коробки измеряется датчиками температуры, встроенными в каждый преобразователь для обеспечения точности температурной компенсации. Выдаваемые PA21 значения атмосферного давления являются средним арифметическим значением из показаний трех преобразователей. В том случае, когда показание одного из трех преобразователей отличается от остальных более чем на 0,6 гПа, оно из осреднения исключается, и об этом выдается соответствующее сообщение. Плата преобразователей установлена на амортизаторах для защиты от ударов и вибрации.

Выдаваемые первичным измерительным преобразователем значения атмосферного давления преобразуются в следующую информа-

цию об атмосферном давлении: давление, приведенное к уровню порогов ВПП; давление, приведенное к уровню моря по стандартной атмосфере; давление, приведенное к уровню моря по реальной атмосфере; барическую тенденцию (изменения атмосферного давления за три часа).

Расширение T/V состоит из датчика температуры и влажности воздуха, например, HMP45D (HMP35D), аналогового преобразователя DAT 12 и платы АЦП 12400 PA, подсоединяемых к PA21. В том случае, когда измеряются температура и влажность воздуха, производится расчет температуры точки росы. С подключенным расширением T/V PA21 на дисплее терминала наряду с информацией об атмосферном давлении выдается информация о температуре, относительной влажности воздуха и температуре точки росы. В PA21 имеется возможность регистрации измеренных и вычисленных метеовеличин в цифровой и графической форме при подключении блока регистрации DR21.

Диапазон измерения атмосферного давления PA21 500–1060 гПа. Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения атмосферного давления:  $\pm 0,3$  гПа при температуре от 5 до 55 °С в диапазоне 800–1050 гПа;  $\pm 0,5$  гПа в диапазоне 500–1050 гПа. Разрешение 0,1 гПа. PA21 работоспособен при следующих условиях: температура воздуха от 5 до 55 °С; относительная влажность до 100 %. Потребляемая мощность не более 35 ВА.

Индикация информации осуществляется на лицевой панели цифрового дисплея (рис. 2.9) на светодиодных индикаторах с микропроцессорным управлением. Светодиодные индикаторы имеют большие размеры и высокую яркость. Вывод данных — последовательный интерфейс RS232C и токовая петля для терминала, принтера, субдисплея или компьютера.



Рис. 2.9. Передняя панель авиационного барометра PA21

Периодическое техническое обслуживание PA21 минимальное и состоит из полугодовой проверки первичного измерительного преобразователя атмосферного давления по капсулам (коробкам) и годового технического обслуживания.

**Цифровые барометры.** Барометры серии РТВ220 предназначены для непрерывного измерения атмосферного давления и барической тенденции в месте установки. Устанавливаются в рабочих помещениях и на открытом воздухе. Цифровые барометры серии РТВ220 имеют цифровой выход, последовательный интерфейс и могут применяться в качестве датчиков атмосферного давления в автоматизированных метеорологических измерительных системах. Барометры серии РТВ220 разработаны и серийно выпускаются фирмой Vaisala (Финляндия). Принцип действия барометров серии РТВ220 (вибрационно-частотные барометры) основан на использовании усовершенствованного RC-генератора и трех опорных емкостей, относительно которых непрерывно опрашиваются емкостные первичные измерительные преобразователи давления и сенсоры температурной компенсации. Мультиплексор соединяет поочередно каждую из пяти емкостей генератором, так что за время одного цикла измеряется пять значений частоты (рис. 2.10), пропорциональной атмосферному давлению. Микропроцессор осуществляет линеаризацию и компенсацию температурной зависимости результатов измерений. Этот режим измерения является стандартным для цифровых барометров серии РТВ220.

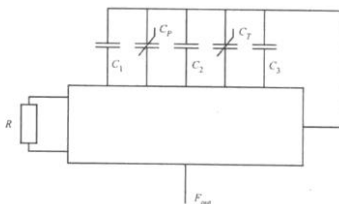


Рис. 2.10. Схема генератора с пятью емкостями

В барометрах, имеющих один датчик, применяется режим быстрого измерения, когда непрерывно измеряется частота измерительного преобразователя давления BAROCAP, а частоты трех опорных емкостей и сенсора температурной компенсации раз в 30 с. (изменение частоты опорных емкостей за любой промежуток времени можно считать пренебрежимо малым, а температура внутри прочного металлического корпуса датчика атмосферного давления остается устойчивой в течение десятков секунд). В барометрах серии РТВ220 емкостный преобразователь абсолютного давления BAROCAP с RC-генератором является датчиком атмосферного давления.

**Устройство и технические характеристики.** Барометры серии РТВ220 состоят из платы процессора и датчиков давления (от одного до трех). Барометры, изготовленные со встроенным жидкокристалли-

ческим дисплеем (рис. 2.11), могут использоваться автономно в качестве измерителей текущих значений атмосферного давления и барометрической тенденции. РТВ220 без указателей измеренных значений атмосферного давления используются в качестве дистанционных датчиков атмосферного давления в автоматизированных метеорологических измерительных системах (АМИС) и подсоединяются к ПЭВМ.

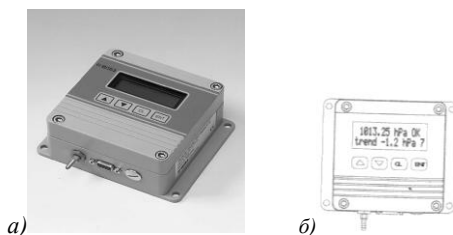


Рис. 2.11. Барометр серии РТВ220: *а* — общий вид; *б* — отображение на дисплее

При использовании в качестве датчиков атмосферного давления в АМИС РТВ220 работают по командам, к одной ПЭВМ может подключаться несколько. С помощью команд производится выбор режимов измерения атмосферного давления, передачи измерительных сигналов, работы импульсно-частотного выхода, а также определения формата данных, например, единиц измерения атмосферного давления и температуры, формы вывода данных на дисплей. Барометры серии РТВ220 выпускаются двух классов (А и В). Рабочий диапазон измерения атмосферного давления составляет 500–1100 гПа. Пределы допускаемой погрешности измерения атмосферного давления —  $\pm 0,15$  гПа для класса А и  $\pm 0,25$  гПа для В; разрешение — 0,01 и 0,1 гПа. Выходные значения атмосферного давления, измеренные в месте установки датчика или барометра, и значения барометрической тенденции высвечиваются на экране дисплея барометра (рис. 2.11). Габаритные размеры: длина 120 мм, ширина 65 мм, масса 1 кг.

В РТВ220 входят датчик атмосферного давления с одним, двумя или тремя первичными измерительными преобразователями давления (BAROCAP с RC-генератором), жидкокристаллический дисплей и последовательный интерфейс. Средний срок службы РТВ220 — 10 лет, настройка и калибровка производятся фирмой-изготовителем при выпуске по эталонам, обладающим высокой точностью измерения абсолютного давления во всем диапазоне. В процессе эксплуатации барометр периодически поверяется и вносятся соответствующие поправки.



## ГЛАВА 3. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

### 3.1. Методы измерения температуры и влажности

Температура и влажность воздуха как метеорологические величины используются при составлении прогнозов погоды. Температура измеряется в диапазоне от  $-60$  до  $60^{\circ}\text{C}$  с точностью  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Влажность воздуха измеряется в единицах относительной влажности воздуха (%) как отношение фактического значения абсолютной влажности или массовой доли водяного пара к их значению при состоянии насыщения воздуха при той же температуре, выражается температурой точки росы. Широко используемые методы и приборы (датчики) измерения температуры и влажности воздуха: психрометрический метод измерения температуры и влажности воздуха с использованием стеклянных ртутных термометров, платиновых термометров сопротивления, адсорбционный метод измерения относительной влажности воздуха.

*Психрометрический метод измерения температуры и влажности воздуха.* Психрометрический метод заключается в одновременном измерении температуры с помощью размещенных рядом термометров. Поверхность чувствительного элемента (резервуара жидкостного термометра или платинового резистора) одного из них покрыта тонкой пленкой воды или льда. Такой термометр называется смоченным. Чувствительный элемент другого термометра находится в воздухе, и этот термометр называется сухим. Психрометрический метод измерения влажности воздуха основан на зависимости интенсивности испарения с водной поверхности от дефицита влажности соприкасающегося с ней воздуха. Влажность воздуха определяется косвенно по интенсивности испарения путем измерения понижения температуры тела, с поверхности которого происходит испарение, за счет затраты тепла тела на испарение.

Масса воды  $\Delta M$ , испаряющейся с некоторой поверхности площадью  $S$  в единицу времени, описывается формулой Дальтона

$$\Delta M = \frac{cS(E' - e)}{P}, \quad (3.1)$$

где  $c$  — коэффициент пропорциональности, зависящий главным образом от скорости движения воздуха относительно испаряющей поверхности;  $E'$  — парциальное давление насыщенного водяного пара при температуре испаряющей поверхности;  $e$  — парциальное давление водяного пара в воздухе;  $P$  — атмосферное давление.

Расход тепла  $\Delta Q_1$  на испарение массы воды  $\Delta M$  будет равен

$$\Delta Q_1 = \Delta ML = \frac{cS(E' - e)}{P} L, \quad (3.2)$$

где  $L$  — теплота испарения воды.

Как только температура поверхности тела станет ниже температуры окружающего воздуха, благодаря теплообмену из воздуха к телу через охлаждающую поверхность начнет поступать тепло  $\Delta Q_2$ , которое определяется формулой

$$\Delta Q_2 = BS_1(T - T_1), \quad (3.3)$$

где  $B$  — коэффициент внешнего теплообмена;  $T$  и  $T_1$  — температура воздуха и охлажденного тела соответственно;  $S_1$  — площадь поверхности, через которую осуществляется обмен.

При установившемся процессе расход тепла на испарение  $\Delta Q_1$  будет равен притоку тепла из воздуха:

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2, \quad (3.4)$$

и, следовательно, на основании (3.2)-(3.4) получим

$$\frac{cSL(E' - e)}{P} = BS_1(T - T_1). \quad (3.5)$$

Решая это уравнение относительно  $e$  и полагая, что  $S = S_1$ , найдем

$$e = E' - \frac{B}{cL}(T - T_1)P, \quad (3.6)$$

или

$$e = E' - A(T - T_1)P. \quad (3.7)$$

Выражение (3.7) называется психрометрической формулой, а величина  $A$  — психрометрическим коэффициентом, который зависит от конструкции психрометра и вентиляции чувствительных элементов, т.е. от скорости движения воздуха относительно поверхности, с которой испаряется вода.

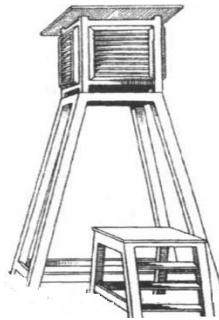


Рис. 3.1. Психрометрическая будка

С увеличением скорости движения воздуха коэффициент уменьшается. Однако при скорости более 2,5-3 м/с уменьшение становится небольшим. Психрометрический коэффициент зависит от конструкции психрометра и устанавливается на основе эмпирического определения по эталонному психрометру.

*Психрометры* устанавливаются в жалюзийных стандартизованных будках, называемых психрометрическими (рис. 3.1). Для выполнения условий установки термометров на высоте 2 м от поверхности земли будка устанавливается на подставке, а для обеспечения снятия отсчетов температуры около будки устанавливается лесенка.

Психрометр монтируется на специальном штативе (рис. 3.2). Кроме сухого (1) и смоченного (3) термометров на штативе устанавливаются волосной гигрометр (2), минимальный (4) и максимальный (5) термометры. Смачивание головки смоченного термометра происходит с помощью намотанного на нее батиста и дистиллированной воды, наливаемой в психрометрический стаканчик (6). Измерение температуры и влажности воздуха с помощью стационарного психрометра проводится наблюдателем в сроки наблюдений.

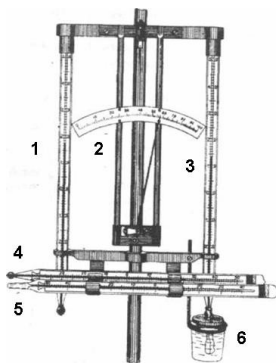


Рис. 3.2. Психрометр стационарный

Для психрометра (стационарного) установлен и принят психрометрический коэффициент, равный  $7,947 \cdot 10^{-4}$ , для удобства при проведении измерений влажности воздуха на гидрометеорологических станциях применяются психрометрические таблицы. Погрешность измерения температуры воздуха психрометрами, установленными в психрометрической будке, не превышает  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ , погрешность измерения относительной влажности  $\pm 5\%$  при температуре выше  $0^\circ\text{C}$  и  $\pm 10\%$  при температуре ниже  $0^\circ\text{C}$ . При наличии постоянной искусственной

вентиляции чувствительных элементов термометров точность измерения температуры сухим и смоченным термометрами и, следовательно, влажности воздуха повышается. Поэтому в качестве контрольных средств измерения температуры и влажности воздуха используются психрометры аспирационные.

Психрометры аспирационные по размерам подразделяются на приборы большой и малой модели, а по способу вентиляции — на механические (с механической аспирацией) и электрические (с электрическим приводом аспирации). Во всех аспирационных психрометрах, независимо от модели (большой или малой) и привода аспирации (механический или электрический), скорость аспирации должна быть постоянной и одинаковой (2 м/с).

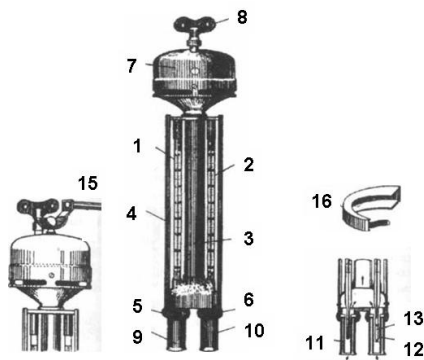


Рис. 3.3. Психрометр аспирационный

Психрометры аспирационные (рис. 3.3) представляют собой два специальных стеклянных ртутных термометра (1 и 2), укрепленных в металлической оправе, состоящей из трубки, раздваивающейся снизу (3), и планочных защит (4). К нижней раздвоенной части трубки с помощью пластмассовых теплоизоляционных трубок (5 и 6) прикреплены две трубки защиты головок термометров (9 и 10, 11 и 12). Верхний конец трубки (раздваивающейся внизу) соединен с аспиратором (7), втягивающим воздух через разветвленные трубки, в которых расположены головки термометров (сухого и смоченного, 13); таким образом, головки термометров обдуваются (вентилируются) воздухом, температура которого измеряется. Аспиратор имеет пружинный механизм, который приводит во вращение крыльчатку (вентилятор). Пружина заводится специальным ключом (8). Головка одного из термометров обвязана батистом (13), коротко обрезанным под головкой. Батист

смачивается дистиллированной водой с помощью пипетки (14, 17) за 4 мин. до наблюдений летом и за 30 мин. зимой. Для измерения температуры и влажности воздуха психрометр аспирационный устанавливается с помощью крючка для подвески психрометра (15) там, где необходимо измерить температуру и влажность воздуха. При сильном ветре аспиратор защищается специальной защитой (16). Весь прибор никелирован, чтобы прямые солнечные лучи хорошо отражались и не влияли на точность измерения температуры и влажности воздуха. Психрометр аспирационный используется для проверки работоспособности и калибровки термометров, психрометров стационарных и других датчиков температуры и влажности воздуха. Рекомендуется устанавливать его для эпизодических измерений на отдельном специальном столбе около психрометрической будки или датчика температуры и влажности воздуха с его наветренной стороны.

*Адсорбционные (абсорбционные) методы измерения влажности воздуха.* Адсорбционные (абсорбционные) методы измерения влажности воздуха основаны на использовании химических и физических свойств некоторых материалов, проявляющихся при взаимодействии с водяным паром, находящимся в воздухе. Водяной пар адсорбируется или абсорбируется материалом, при этом под адсорбцией понимается поглощение одного вещества поверхностным слоем другого, а под абсорбцией — проникновение какого-либо вещества внутрь массы другого вещества. Вещество, внутрь которого проникает водяной пар, называется гигроскопичным. Это вещество абсорбирует водяной пар, находящийся в атмосфере. Одно из необходимых условий процесса абсорбции заключается в том, чтобы давление водяного пара в окружающей атмосфере было не выше давления насыщенного пара в веществе. Для процессов адсорбции и абсорбции характерно следующее: изменение размеров гигроскопичных материалов в зависимости от изменения влажности; изменение электрических свойств гигроскопичных материалов при изменении влажности окружающей среды, очень слабой зависящей от температуры. При использовании методов измерения влажности воздуха, основанных на принципе изменения электрических свойств гигроскопичных материалов, применяются химически обработанные пластиковые материалы с электропроводящим поверхностным слоем, изменяющие электрическое сопротивление (емкость) в зависимости от изменения влажности.

### 3.2. Датчики температуры и влажности воздуха

*Электрические термометры сопротивления* применяются при автоматизации измерения метеорологических величин и являются стандартными датчиками температуры воздуха в автоматизированных метеорологических измерительных системах. Действие электрических термометров сопротивления основано на принципе изменения сопротивления вещества (металла) при изменении температуры, которое описывается уравнением

$$R_t = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)], \quad (3.8)$$

где  $R_t$  и  $R_0$  — сопротивление определенного количества металла при температуре  $T$  и исходной температуре  $T_0$  соответственно,  $\alpha$  — температурный коэффициент сопротивления при температуре  $T_0$ . Разность температур  $T$  и  $T_0$ , как правило, невелика.

При исходной температуре  $0^\circ\text{C}$  уравнение (3.8) принимает вид

$$R_t = R_0(1 + \alpha T). \quad (3.9)$$

При более значительных изменениях температуры и для некоторых металлических сплавов взаимосвязь сопротивления и температуры более точно выражается соотношением

$$R_t = R_0 [1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2], \quad (3.10)$$

где  $\beta$  — температурный коэффициент сопротивления, который определяется так же, как  $\alpha$ , при соответствующей градуировке термометра.

Металлический термометр сопротивления удовлетворяет следующим требованиям: физические и химические свойства остаются неизменными во всем диапазоне измерений; сопротивление постоянно и непрерывно увеличивается при повышении температуры; коррозия и физическая деформация не влияют на сопротивление; сопротивление и температурный коэффициент большие для использования в измерительной цепи. Таким требованиям отвечает чистая платина, поэтому она используется в эталонных и стандартных датчиках температуры. Платина — металл, не поддающийся коррозии, чувствительный элемент температуры из платиновой проволоки обладает превосходной стабильностью во времени и любых атмосферных условиях. Эксплуатация датчиков температуры с платиновыми чувствительными элементами показала стабильность и точность измерения температуры.

Измерение температуры точки росы производится с использованием метода конденсации в гигрометрах точки росы, которые применяются в качестве рабочих эталонов. Распространенным методом определения температуры точки росы является метод одновременного измерения температуры и относительной влажности воздуха в

одном и том же объеме воздуха. Температура точки росы определяется по измеренным значениям температуры и влажности воздуха с помощью формул или психрометрических таблиц. Формулы для расчета температуры точки росы:

$$T_d = \frac{243,12 \frac{\ln e'}{6,112f(p)}}{17,62 - \frac{\ln e'}{6,112f(p)}}, \quad (3.11)$$

$$T_f = \frac{272,62 \frac{\ln e'}{6,112f(p)}}{22,46 - \frac{\ln e'}{6,112f(p)}}, \quad (3.12)$$

где  $T_d$  — температура точки росы (вода при температуре от минус 45 до 60°C);  $T_f$  — температура точки инея (лед при температуре от минус 65 до 0°C);  $e' = e'_w(p, T_w) - 6,53 \cdot 10^{-4} (1 + 0,0009447T_w)p(T - T_w)$  для воды;  $e' = e'_i(p, T_w) - 5,75 \cdot 10^{-4} p(T - T_i)$  для льда;  $f(p) = 1,0016 + 3,15 \cdot 10^{-6} p - 0,074 p^{-1}$ .

Технические достижения, обеспечивающие измерение температуры воздуха электрическими термометрами сопротивления (Pt 100), дали возможность дистанционного измерения температуры и влажности воздуха. Был сконструирован датчик температуры и влажности воздуха для комплексной радиотехнической аэродромной метеорологической станции (КРАМС), принцип работы которого основан на психрометрическом измерении влажности воздуха при температуре воздуха выше 0°C. При температуре ниже 0°C используется волосной гигрометр, производящий измерение относительной влажности на основе адсорбционного принципа.

**Психрометрический датчик температуры и влажности воздуха КРАМС** состоит из двух одинаковых платиновых термометров сопротивления. Один термометр предназначен для измерения температуры воздуха, другой — для измерения температуры поверхности термометра, с которой происходит испарение. Они устанавливаются в корпусе датчика и закрепляются, в нижней части корпуса размещаются вентилируемые экраны, предохраняющие термометры от солнечных лучей. Система смачивания термометра Pt 100 состоит из двух сообщающихся сосудов, бачка с запасом воды и резервуара, расположенного внутри экрана смоченного термометра. Автоматическая система смачивания приводится в действие вентиляционной системой датчика. При включении вентиляции в бачке создается пониженное давление, вода из резервуара смоченного термометра уходит в бачок. Смоченный термометр начинает вентилироваться воздухом, засасываемым

вентилятором. Аспирация термометров производится центробежным вентилятором, размещенным на боковой стенке корпуса датчика (рис. 3.4). Лопаточное колесо, приводимое во вращение электродвигателем (5), помещено в улиткообразный кожух. Выброс воздуха производится вверх, что уменьшает влияние ветра на работу вентилятора и исключает попадание отработанного воздуха к термометрам снизу.

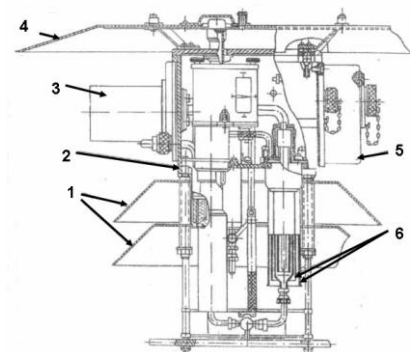


Рис. 3.4. Датчик температуры и влажности воздуха КРАМС

Корпус датчика (2) служит для размещения основных элементов датчика (психрометра, вентилятора и гигрометра). В нижней части корпуса установлены четыре металлические стойки и скрепляющее их кольцо. Стойки с кольцом предохраняют от поломки радиационные экраны, трубопроводы и другие выступающие элементы. Для уменьшения влияния прямой солнечной радиации служит система радиационной защиты, к которой относятся экраны с естественной вентиляцией, а также искусственно вентилируемые экраны (6). Верхний экран (4), выполненный в виде усеченного конуса, крепится на крышке корпуса. Он предназначен для защиты датчика от солнечных лучей при большой высоте солнца. Два малых экрана (7), устанавливаемых на стойках, защищают датчик при небольшой высоте солнца. Наружные поверхности датчика окрашены в белый цвет, а экраны отполированы. Эти меры повышают отражаемость поверхности датчика и уменьшают влияние прямой солнечной радиации.

Свойство гигроскопичных материалов изменять размеры в зависимости от влажности используется в волосных гигрометрах, устанавливаемых в психрометрических будках и в датчике температуры и влажности воздуха КРАМС (рис. 3.5).



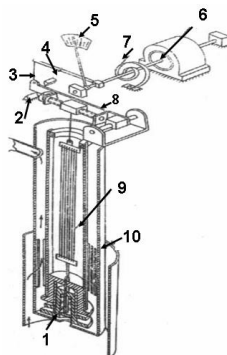


Рис. 3.5. Датчик относительной влажности КРАМС

Гигрометрический датчик влажности КРАМС (рис. 3.5) состоит из волосной гитары (9), рычажной системы с возвратной спиральной пружиной и индукционного потенциометра. Один конец гитары закреплен, а другой через регулируемое плечо (8) связан тягой (3) с осью ротора индукционного потенциометра (6). Обратный ход обеспечивается спиральной ленточной пружиной (7). При влажности воздуха менее 15 %, когда плечо (8) упирается в нижний ограничитель (2), растяжению волоса препятствует жесткая пружина (7), до этого времени не работавшая. При влажности воздуха 100 % рычаг (8) упирается в верхний ограничитель (4). Гигрометр защищен вентилируемыми экранами (10). Для визуального контроля влажности в гигрометре предусмотрена шкала со стрелкой (5).

*Емкостные гигрометры и гигрометры сопротивления.* Изменение электрических свойств гигроскопичных материалов при изменении влажности используется в емкостных гигрометрах и гигрометрах сопротивления. В емкостных гигрометрах чувствительным элементом является слой меди, покрытый органическим веществом и металлическим слоем (золото), толщина которого настолько мала, что он пропускает водяной пар, находящийся в воздухе, влажность которого измеряется. Измеряемая электрическая емкость колеблется в соответствии с диэлектрической постоянной слоя органического вещества, которая зависит от относительной влажности воздуха. Использование принципа измерения влажности воздуха, основанного на зависимости изменения электрической емкости чувствительного элемента от изменения относительной влажности, покажем на примере работы датчика температуры и влажности воздуха НМР45D.

**Датчик температуры и влажности воздуха НМР45D.** Датчик температуры и влажности воздуха НМР45D предназначен для дис-

танционного автоматического непрерывного измерения температуры и влажности воздуха, сертифицирован Госстандартом России.

Принцип измерения температуры в НМР45D основан на измерении сопротивления платинового резистивного преобразователя Pt 100 при изменении температуры среды, в которой он находится. Принцип измерения относительной влажности воздуха основан на изменении электрической емкости тонкопленочного полимерного преобразователя HUMICAP 180, изготавливаемого фирмой Vaisala (Финляндия), в зависимости от изменения относительной влажности среды.

*Устройство и технические характеристики.* Для защиты чувствительных элементов температуры (Pt 100) и относительной влажности (HUMICAP 180) от пыли и других частиц, присутствующих в атмосфере, они помещены в специальный корпус. Для защиты первичных измерительных преобразователей температуры и влажности от осадков и солнечной радиации они помещены в экран радиационной защиты DTR13. Специальный корпус (зонд) представляет собой цилиндр (рис. 3.6), изготовленный из пластика, длиной 240 мм и диаметром от 18,5 до 24 мм. В нижней части корпуса находится съемная головка, в которую помещены чувствительные элементы (Pt 100 и HUMICAP 180). В нижней части съемной головки располагается мембранный фильтр. Через верхнюю часть цилиндра вводятся провода электропитания и связи, соединяющие его с промежуточным измерительным преобразователем для передачи аналоговых измерительных сигналов в терминал. Экран радиационной защиты DTR13 (рис. 3.7) жалюзийный состоит из 12 конических колец, изготовленных из полиэстера, укрепленного фиброволокном. Поверхность экрана стабилизирована по ультрафиолетовому излучению. Для защиты от солнечного излучения поверхность, на которую падают прямые солнечные лучи, окрашена в белый цвет, внутренняя — в черный цвет (для поглощения накопленного тепла). Внутри экрана радиационной защиты устанавливается зонд.



Рис. 3.6. Первичный измерительный преобразователь температуры и влажности воздуха



Рис. 3.7. Экран радиационной защиты DTR13

С помощью датчика НМР45D производятся измерения в диапазонах: температура воздуха от  $-40$  до  $50^{\circ}\text{C}$ ; относительная влажность воздуха 10-100 % при температуре от  $-30$  до  $50^{\circ}\text{C}$ . Предел допускаемой погрешности измерения составляет: температуры воздуха  $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ ; относительной влажности воздуха  $\pm 5$  % при влажности от 90 до 100 % и  $\pm 4$  % при влажности от 10 до 90 %. Выходные измерительные сигналы аналоговые. Датчик НМР45D работоспособен при воздействии следующих внешних условий: температура воздуха от  $-40$  до  $50^{\circ}\text{C}$ ; относительная влажность воздуха от 10 до 100 %; атмосферное давление от 600 до 1080 гПа; осадки, иней, роса, пыльная и песчаная буря, гололед со скоростью намерзания льда до 12 мм/ч; скорость воздушного потока (ветра) до 55 м/с. Размеры НМР45D составляют: высота 229 мм, диаметр 220 мм; чувствительных элементов температуры и влажности воздуха: длина 240 мм, диаметр от 20,0 мм.

### 3.3. Средства измерения температуры и влажности воздуха

**Жидкостные термометры.** Термометр психрометрический ртутный метеорологический ТМ4 со вставной шкалой используется для определения температуры, а также влажности воздуха. Длина термометра 41 мм, диаметр 16 мм. Капилляр термометра круглый с наружным диаметром не более 2,5 мм. Пространство над ртутью в капилляре заполнено азотом. Пределы измерений:  $-35 \dots 40^{\circ}\text{C}$  (ТМ4-1) или  $-25 \dots 50^{\circ}\text{C}$  (ТМ4-2), цена деления  $0,2^{\circ}\text{C}$ .

Коэффициент инерции психрометрических термометров в малоподвижном воздухе (0,5 м/с) составляет около 300 с. Для установки термометра на верхнем конце защитной трубки укреплен металлический колпачок.

Термометр спиртовой метеорологический низкоградусный ТМ9. Так как ртуть замерзает при  $-39^{\circ}\text{C}$ , то для определения темпера-

туры воздуха ниже  $-35^{\circ}\text{C}$  употребляется специальный спиртовой термометр, так называемый дополнительный (к ртутному психрометрическому). Устройство этого термометра отличается тем, что в качестве термометрической жидкости в нем использует спирт. Он несколько длиннее психрометрического, резервуар термометра имеет форму цилиндра диаметром около 6 мм. Пределы измерений:  $-60\dots 20^{\circ}\text{C}$  (ТМ9-1),  $-70\dots 20^{\circ}\text{C}$  (ТМ9-2), цена деления  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Наблюдения по дополнительному спиртовому термометру следует производить параллельно с психрометрическим ртутным, как только температура воздуха начнет опускаться ниже  $-15\dots -20^{\circ}\text{C}$ . Это необходимо, чтобы определить так называемую добавочную поправку для спиртового термометра.

*Термометр ртутный метеорологический максимальный ТМ1* служит для определения максимального значения температуры за какой-либо промежуток времени. Термометр устроен таким образом, что сохраняет показание, соответствующее максимальной температуре за время, прошедшее после предыдущего наблюдения. Термометр к очередному наблюдению готовится путем встряхивания (показания термометра приводятся в соответствие с температурой в данный момент). Термометр имеет вставную стеклянную шкалу с делениями через  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Общая длина термометра 340 мм. Диаметр внешней стеклянной оболочки 18 мм. Резервуар цилиндрический диаметром около 8 мм. В пространстве над ртутью в капилляре создается вакуум. Пределы измерений:  $-30\dots 50^{\circ}\text{C}$  (ТМ1-1) или  $-20\dots 70^{\circ}\text{C}$  (ТМ1-2).

Максимальные показания термометра сохраняются благодаря специальному приспособлению. Оно состоит из стеклянного штифта, припаянного к дну внутри резервуара термометра. Верхний конец штифта входит в капилляр, оставляя в нем узкое (кольцеобразное) отверстие. Когда температура начинает повышаться, ртуть, находящаяся в резервуаре термометра, расширяется и под действием сил, вызывающих расширение, несмотря на большое трение в месте сужения, проталкивается между стенками капилляра и стеклянным штифтом. При понижении температуры (и уменьшении вследствие этого объема) ртуть не вернется в резервуар, так как силы, стремящиеся это сделать, небольшие, и сил сцепления ртути недостаточно для преодоления сил трения, возникающих при прохождении ртути места сужения. В этом месте столбик ртути разорвется, а часть ртути, находившаяся в капилляре до начала падения температуры, останется (на той же высоте). Для подготовки максимального термометра к следующему измерению его берут за середину и, держа резервуаром книзу, делают несколько резких взмахов рукой, встряхивая термометр, чтобы перегнуть часть ртути из капилляра в резервуар. (После этого показания максимального-

го термометра обычно отличаются от показаний психрометрического не более чем на  $0,1-0,2^{\circ}\text{C}$ .)

*Термометр спиртовой метеорологический минимальный ТМ2* служит для определения минимальной температуры за данный промежуток времени. Он имеет вставную шкалу с делениями  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Резервуар термометра цилиндрический, общая длина термометра около 300 мм, диаметр внешней стеклянной трубки около 18 мм, диаметр резервуара 7–10 мм. Пределы измерений:  $-70...20^{\circ}\text{C}$  (ТМ2-1),  $-60...30^{\circ}\text{C}$  (ТМ2-2),  $-51...40^{\circ}\text{C}$  (ТМ2-3). Термометрическая жидкость — спирт. Внутри спирта, в капилляре, находится небольшой штифт из темного цветного стекла, имеющий на своих концах утолщение в форме булавочных головок. Штифт свободно перемещается в спирте.

Подготавливая минимальный термометр к измерениям, его наклоняют резервуаром кверху и ждут, пока штифт дойдет до поверхности спирта в капилляре. У поверхности спирта штифт останавливается (не может прорвать поверхностную пленку спирта). Затем термометр кладут горизонтально. Если после этого температура начнет повышаться, то спирт, расширяясь, будет обтекать штифт, не сдвигая (сила трения головок штифта о стенки капилляра удерживает его на месте). Поскольку при понижении температуры объем спирта начинает уменьшаться, он переходит из капилляра в резервуар. Поверхностная пленка спирта будет перемещать штифт к резервуару, так как сила трения головок о стенки капилляра меньше силы поверхностного натяжения пленки. Если после этого температура начнет повышаться, то штифт останется на месте и укажет, таким образом, наиболее низкую температуру с момента предыдущей подготовки термометра.

*Термометр ртутный метеорологический ТМ3* используется для измерения температуры поверхности почвы или снежного покрова. Термометр имеет вставную шкалу с делениями через  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Пределы измерений:  $-35...60^{\circ}\text{C}$  (ТМ3-1),  $-25...70^{\circ}\text{C}$  (ТМ3-2),  $-10...85^{\circ}\text{C}$  (ТМ3-3).

*Термометры ртутные метеорологические коленчатые (ТМ5)* (Савинова) служат для определения температуры почвы на глубинах 5, 10, 15 и 20 см. Термометры выпускаются комплектом по четыре термометра, отличающиеся длиной (290, 350, 450 и 500 мм) за счет разной длины подшкальной части. Цена деления шкалы  $0,5^{\circ}\text{C}$ , пределы от  $-10$  до  $50^{\circ}\text{C}$ . Вблизи резервуара термометр изогнут под углом  $135^{\circ}$ . От резервуара до начала шкалы капилляр покрыт теплоизоляционным слоем, что уменьшает влияние на показания термометра слоя почвы, лежащего над его резервуаром, и обеспечивает более точное измерение температуры на глубине, где установлен резервуар.

*Установка с почвенно-вытяжными термометрами ТПВ-50* предназначена для измерения температуры почвы и грунта на глубинах от 20 до 320 см (пять или семь термометров). В установке применяется почвенно-глубинный термометр. Это *ртутный метеорологический термометр ТМ10*. Пределы измерений:  $-20 \dots 30$ ;  $-5 \dots 40^\circ\text{C}$ . Цена наименьшего деления шкалы  $0,2^\circ\text{C}$ . Термометр вставляется в винипластовую оправу с металлическим колпачком и прорезями для просмотра шкалы. В оправу вокруг резервуара термометра насыпают медные опилки, обеспечивая тем самым его тепловой контакт с металлическим колпачком оправы, а также увеличивая термическую инерцию термометра, что необходимо для сохранения показаний термометра во время производства отсчетов.

Оправа с термометром укреплена на деревянном шесте, на другом конце которого надет колпачок с кольцом. Внутри колпачка помещается фетровая кольцевая прокладка. Длина шеста зависит от глубины, на которую устанавливается термометр. На шесте в нескольких местах укреплены войлочные или фетровые кольца, препятствующие обмену воздуха в трубе. Деревянный шест с укрепленным на нем термометром в оправе опускается в эбонитовую трубу, закрытую с нижнего конца металлическим колпачком. На верхнюю часть трубы надевается металлический хомутик с тремя ушками для оттяжек, которыми крепится труба при установке. Термометр, опущенный в трубу, должен касаться дном оправы металлического дна стаканчика трубы, а фетровые прокладки на шесте плотно закрывать трубу.

Надземная часть трубы имеет длину 40 см, а для районов с высоким снежным покровом — 100 см. Установка выпускается комплектом для измерения температуры на пяти (0,2; 0,4; 0,8; 1,6 и 3,2 м) или семи (0,2; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,4 и 3,2 м) глубинах.

***Деформационные термометры.*** При метеорологических измерениях применяется вид деформационных термометров — биметаллические. Чувствительным элементом в них является биметаллическая пластинка. При изменении температуры такая пластинка изгибается вследствие различного расширения составляющих ее металлов. Обычно применяют биметаллическую пластинку, состоящую из инвара и стали. Если инвар (имеющий меньший коэффициент расширения) будет расположен наверху, то при увеличении температуры пластинка изогнется таким образом, что инвар окажется с ее вогнутой стороны. При понижении температуры пластинка изогнется в противоположную сторону. Биметаллические чувствительные элементы используются в термографах, метеорографах, радиозондах и других приборах.

*Термографы.* Измерение температуры в отдельные моменты времени не всегда является достаточным. Во многих случаях важно знать непрерывный ход изменения температуры. Для регистрации изменения температуры применяются самописцы, называемые термографами.

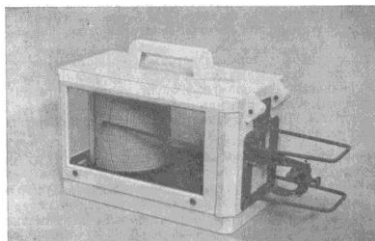


Рис. 3.8. Термограф

*Термограф метеорологический М-16АС* (рис. 3.8) предназначен для регистрации изменений температуры воздуха в диапазонах  $-45...35$ ,  $-35...45$ ,  $-25...55^{\circ}\text{C}$ . Чувствительным элементом является биметаллическая пластинка, смонтированная на кронштейне. Кронштейн крепится к другому кронштейну, на котором собран рычажный механизм, связывающий биметаллическую пластинку со стрелкой, заканчивающейся пером. При изменении температуры биметаллическая пластинка деформируется и перемещает стрелку с пером вдоль барабана с лентой. Барабан вращается часовым механизмом вокруг вертикальной оси, закрепленной на плате. Продолжительность одного оборота барабана часового механизма — 26 ч. Лента термографа разграфлена прямыми горизонтальными линиями и вертикально расположенными дугами. Цена деления горизонтальной шкалы —  $1^{\circ}\text{C}$ , вертикальной — 5 мин.

*Гигрометр метеорологический М-19* (рис. 3.10) состоит из рамы со шкальной пластиной и волоса, верхний конец которого закреплен с помощью клина и клея в отверстии хвостовика регулировочного винта, а нижний связан со стрелкой. Винт с помощью контргайки может перемещаться в скобе. Нижний конец волоса закреплен в отверстии кулачка (дужки). Кулачок закреплен на стерженьке, на конце которого имеется грузик. Стерженьек входит в отверстие оси, на которой сидит стрелка, и закрепляется винтом. Таким образом, стрелка под воздействием волоса и грузика может поворачиваться вместе с осью, перемещаясь вдоль шкалы.

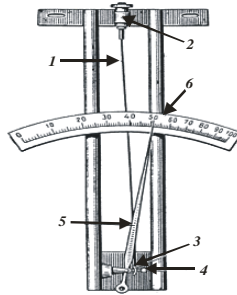


Рис. 3.10. Гигрометр:

1 — обезжиренный волос; 2 — регулировочный винт; 3 — дужка; 4 — рычажок; 5 — стрелка, 6 — шкала

Передвигая стерженек относительно оси, можно менять чувствительность гигрометра, так как при этом меняется длина рычага, на который насажен кулачок (дужка), позволяющий волосу перемещать стрелку. С помощью винта-регулятора можно устанавливать стрелку на любом нужном делении шкалы. Для этого освобождают контргайку, затем вращением гайки винт перемещается вверх или вниз. Когда стрелка гигрометра установится на нужном делении шкалы, винт закрепляется контргайкой. На шкале нанесены неравномерно 100 делений, уменьшающихся от 0 до 100. Отсчеты по шкале производятся с точностью до целого деления. При увеличении относительной влажности волос удлиняется, и стрелка под действием грузика поворачивается вправо, при уменьшении влажности волос сокращается и поворачивает стрелку влево. Волосной гигрометр устанавливается в психрометрической будке вместе с психрометром и крепится на штативе между сухим и смоченным термометрами.

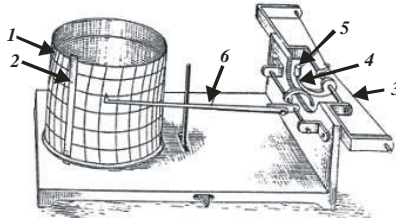


Рис. 3.11. Гигрограф:

1 — барабан; 2 — полосовая пружина; 3 — пучок волос; 4 — рычажок; 5 — грузик; 6 — рычаг со стрелкой



*Гигрограф волосной М-21АС* (рис. 3.11). Для непрерывной регистрации изменений относительной влажности воздуха служат гигрографы. Выпускаемый промышленностью гигрограф метеорологический М-21АС может регистрировать относительную влажность воздуха при температуре от  $-45$  до  $+55^{\circ}\text{C}$ . Датчиком влажности (чувствительным элементом) является пучок волос, который с двух концов закрепляется в цапфах кронштейна. Середина пучка надета на крючок, который с помощью специального устройства связан со стрелкой. Датчик защищен от повреждений каркасом. Изменение относительной влажности вызывает изменение длины пучка волос, что в свою очередь приводит к перемещению стрелки с пером. Гигрографы выпускаются как волосные, так и пленочные.оборот барабана, как и у термографа, суточный и недельный. Значения относительной влажности, снятые с ленты, переводятся в исправленные значения по переводному графику, полученному аналогично графику гигрометра.

## ГЛАВА 4. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРА

Ветер — это движение воздуха относительно земной поверхности, описывается как двумерная векторная величина, характеризующаяся направлением и скоростью. Турбулентный характер ветра в приземном слое атмосферы обуславливает сложную картину пространственной изменчивости его параметров, которые представляют собой случайный процесс, для его описания используется статистический подход. Поле ветра разделяется на поле средних значений и пульсаций мгновенных значений относительно среднего уровня. Для оценки ветра проводится осреднение во времени его скорости и направления, а также выбор максимальных мгновенных значений скорости ветра (порывов) за период осреднения.

Спектр частот скорости ветра в пределах суток включает периоды колебаний от  $0,3 \text{ с}^{-1}$  до  $0,04 \text{ ч}^{-1}$ . Для спектральной плотности скорости ветра характерно наличие двух максимумов: в области низких частот с периодом от нескольких часов до десятков часов (мезометеорологический участок) и в области частот с периодами от секунд до минут (турбулентный участок). Между этими двумя максимумами наблюдается минимум спектральной плотности (периоды от минуты до 2-3 ч.). Разделение турбулентного и мезометеорологического участков спектра производится путем осреднения за оптимальный временной интервал, а также путем выбора максимальной скорости ветра. Установлено, что при устойчивой стратификации атмосферы оптимальный временной интервал осреднения составляет 10 мин., а при безразличной и неустойчивой — 15 и 20 мин. соответственно. За оптимальный период осреднения скорости и направления можно принять 10 мин. Данные о продолжительности порыва 3 с. удовлетворяют требованиям большинства потребителей информации о параметрах ветра. Порывы продолжительностью около трех секунд соответствуют «длине порыва ветра» (продолжительность, умноженная на среднюю скорость ветра) от 50 до 100 м при сильном ветре. Этого достаточно, чтобы разрушить сооружения обычного размера или подвергнуть их максимальному воздействию потенциально разрушительного порыва.

Некоторые ветроизмерительные приборы, например анеморумбометр М63М, обладая определенной инерционностью, выдают мгновенную скорость ветра, соответствующую осредненной за 3–5 с. Современные, более чувствительные анемометры выдают мгновенные значения за менее короткие временные интервалы, поэтому они должны скользко осредняться (сглаживаться) за временной интервал, равный 3 с. При измерении параметров ветра высокочувствительными

анемометрами для точного измерения максимальных порывов ветра рекомендуется делать выборку отфильтрованных сигналов каждые 0,25 с. (частота 4 Гц). Можно использовать выборку более низкой частоты, однако следует принимать во внимание, что оценка предельного значения будет в большинстве случаев ниже, так как в отфильтрованном сигнале предельное значение может оказаться между замерами. Поэтому при низкой частоте выборки максимального значения скорости ветра (порывов) применяется корректировка этого эффекта.

Для точного измерения стандартного отклонения направления ветра требуется минимальная разрешающая способность процесса преобразования направления ветра в цифровую форму, которое часто осуществляется по оси флюгера посредством цифрового кодирующего устройства. В этом случае вполне достаточным является разрешение 7 бит, так как при этом стандартное отклонение  $5^\circ$  может быть измерено с точностью до  $\pm 1\%$ .

Максимальные значения скорости ветра (порывы), осредненные за 3 с., относятся к турбулентному участку спектральной плотности ветрового поля. Если осреднение за 10-минутный интервал позволяет практически исключить турбулентные возмущения, то это означает, что отфильтровываются и все максимальные значения (порывы), которые имелись и измерялись на любом 10-минутном интервале осреднения. Как было показано, с целью повышения достоверности информации о характеристиках ветра, влияющих на безопасность взлета и посадки воздушных судов, определяются максимальные значения скорости ветра (порывы) за истекший 10-минутный период осреднения. Это уменьшает вероятность риска превышения максимальной скорости ветра за последующее время воздействия порыва ветра на объект. В рекомендациях ВМО указано, что максимальная скорость ветра (порывы) должна всегда выбираться за истекшие 10 мин. даже при двухминутном периоде осреднения, применяемом при метеорологическом обеспечении взлета и посадки воздушных судов, т. е. в информации, распространяемой в регулярных и специальных сводках на аэродроме. При этом для того чтобы информация о максимальном ветре (порывах) передавалась без задержки (ожидания периода осреднения), должен быть обеспечен скользящий выбор максимальной скорости (порывов) ветра с периодичностью обновления не более 1 мин.

Диапазон измерения скорости ветра определяется максимальными значениями скорости (порывов) ветра, наблюдаемыми в географическом районе, где предполагается его измерение. В соответствии с климатическими характеристиками России скорость ветра на аэродромах Российской Федерации, исключая аэродромы Камчатки и

Курильских островов, не превышает 50 м/с. Следовательно, верхним пределом диапазона измерения мгновенной скорости ветра должно быть значение, равное 50 м/с. Нижний предел ограничивается начальной чувствительностью анемометра. Реальным и удовлетворительным нижним пределом диапазона измерения скорости ветра по стандартам и рекомендациям ВМО считается 0,5 м/с, по стандартам и рекомендациям ИКАО — 1 м/с. Таким образом, диапазон измерения мгновенной скорости ветра на аэродромах гражданской авиации России должен быть 1-50 м/с.

Диапазон измерения направления ветра определяется сторонами света, т. е. всем диапазоном окружности от 0 до 360°, так как движение воздуха относительно земной поверхности (ветер) может наблюдаться с любой стороны земного горизонта.

В соответствии с рекомендациями и стандартами ВМО с точки зрения удовлетворения потребностей различных отраслей народного хозяйства (мониторинга и прогноза погоды, климатологии ветровых нагрузок, оценки ущерба от ветровых нагрузок, оценки испарения для сельскохозяйственного применения и др.) при измерении скорости ветра достаточной считается точность измерения скорости ветра не хуже  $\pm 0,5$  м/с при скорости до 5 м/с и  $\pm 10$  % при скорости более 5 м/с, а направления ветра не хуже  $\pm 5^\circ$  во всем диапазоне.

#### **4.1. Первичные преобразователи скорости и направления ветра**

*Чашечные и лопастные вертушки для измерения скорости ветра.* Обычно для измерения скорости ветра используются чашечные или лопастные анемометры, которые состоят из двух узлов: вертушки и генератора. В анемометрах угловая скорость чашечной и лопастной вертушки в основном прямо пропорциональна скорости ветра. Однако вблизи начальной пороговой скорости наблюдаются значительные отклонения от линейности. В хорошо сконструированных анемометрах линейность выходного сигнала не зависит от плотности воздуха, прибор устанавливается на ноль и имеет устойчивый диапазон измерения. Характеристикой анемометров чашечного и лопастного типа при измерении скорости ветра является путь синхронизации, величина которого прямо пропорциональна моменту инерции вертушки и зависит от ряда геометрических факторов. Для большинства первичных измерительных преобразователей скорости ветра чашечного и лопастного типа путь синхронизации несколько больше при увеличении скорости, чем при уменьшении, и вертушки завывают фактическую скорость ветра. Общее превышение скорости может составлять 10%. Этот не-

достаток можно свести к минимуму за счет использования анемометров с малым путем синхронизации. Лопастные анемометры имеют преимущества по сравнению с чашечными, так как они не реагируют на вертикальную составляющую скорости ветра.

Чашечные и лопастные вертушки вращаются с угловой скоростью, прямо пропорциональной скорости ветра, они удобны для использования с генераторами измерительных сигналов. Применяются генераторы переменного и постоянного тока, оптические и магнитно-импульсные, циферблатные шкалы и самописцы. Выбор генератора сигналов и вертушки зависит от используемого процесса измерения скорости ветра и способа считывания. Необходимо также, чтобы подшипники вертушек и генераторов сигналов имели низкие начальные и вращающие моменты трения. Характеристиками датчиков скорости ветра являются диапазон измерения скорости ветра 0,5-75 м/с, точность измерения скорости ветра  $\pm 0,5$  м/с, путь синхронизации 2-5 м.

**Флюгеры.** Для измерения направления ветра используется флюгер, который сбалансирован и сконструирован так, чтобы не реагировать на отклонение его оси от вертикали и обеспечивать устойчивую фиксацию равновесия относительно изменения направления ветра. Чувствительность флюгера к резкому изменению направления ветра характеризуется отклонением и колебанием вблизи его истинного положения. Для определения этой реакции используются два параметра: естественная частота колебаний с докритическим затуханием или длина волны; степень затухания, т. е. отношение истинного затухания к критическому. Степень затухания между 0,3 и 0,7 считается удовлетворительной, при этом не возникают большие колебания.

Генератор сигнала по направлению, который обычно используется в ветроизмерительных приборах, представляет собой преобразователь угол-код. Для такого преобразования успешно использовались потенциометры сельсины переменного и постоянного тока, конденсаторы переменной емкости и индикаторы, шкалы прямого считывания, поворотные переключатели. Выбор генератора зависит от типа используемого процессора и способа считывания. Удовлетворительными характеристиками флюгеров, измеряющих направление ветра, считаются следующие: диапазон измерения ветра 0-360° при скорости ветра от 0,75 до 50 м/с; линейность от  $\pm 2$  до  $\pm 5^\circ$ ; разрешающая способность 3°; длина незатухающей волны менее 10 м; степень затухания от 0,3 до 0,7.

На сети гидрометеорологических станций для измерения параметров ветра используются датчики в комбинации лопастной анемометр—флюгер или чашечный анемометр и флюгер. Существуют и

другие датчики параметров ветра, основанные на различных физических принципах. Акустические датчики параметров ветра представляют собой двухосный акустический анемометр, который благодаря сложным дополнительным деталям позволяет измерять скорость и направление ветра более точно по сравнению с вертушечными датчиками, описанными выше. Он более чувствителен к вертикальной составляющей скорости ветра, но хуже работает во время дождя, когда капли попадают на измерительную дорожку. Акустический датчик параметров ветра в качестве датчика в любых метеорологических условиях практически не используется. Существуют аэродинамические анемометры, проволочные термоанемометры, измерительные устройства для потоков Кармана, дистанционные измерители с использованием звуковых (SODAR), световых (LIDAR) или электромагнитных (RADAR) волн. Датчики параметров ветра измеряют и выдают мгновенные значения скорости и направления.

#### 4.2. Датчики и средства измерения параметров ветра

**Анеморумбометр М63М-1.** Анеморумбометр М63М-1 (рис. 4.1) (в дальнейшем по тексту М63М-1) предназначен для дистанционного измерения мгновенных, осредненных за 3–5 с. скоростей и направления ветра, а также определения средней, осредненной за 2 и 10 мин. скоростей ветра и максимальной скорости ветра за истекшие 10 мин. Используется на гидрометеорологической сети России.

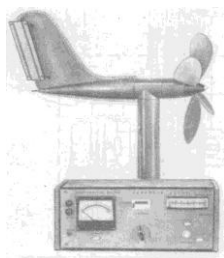


Рис. 4.1. Анеморумбометр М-63М-1

Принцип работы анеморумбометра М63М-1 основан на зависимости между скоростью ветра и числом оборотов винта и между направлением ветра и положением свободно ориентирующейся флюгарки датчика ветра. При этом скорость и направление ветра выдаются в виде частоты следования и фазового сдвига последовательности элект-

трических импульсов, которые после дальнейших преобразований позволяют производить отсчеты значений измеряемых анеморумбометром величин. Зависимость скорости вращения винта нелинейная. В паспорте М63М-1 указано, что при скорости вращения винта 336 об/мин скорость ветра составляет 6,2 м/с. Конструктивно М63М-1 выполнен в виде трех блоков: датчик мгновенной скорости и направления ветра (М127); пульт М63М-1 (МВ2-1); блок питания.

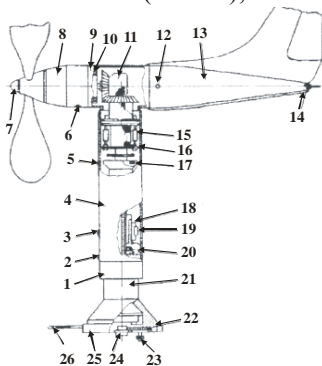


Рис. 4.2. Датчик мгновенной скорости и направления ветра (М127) анеморумбометра М63М-1: 1 — втулка; 2, 3, 5 — винты; 4 — труба; 6 — стопорный винт; 7 — анкерный болт; 8 — корпус узла скорости; 9 — тройник; 10, 15–17, 20 — подшипники; 11 — шестерня с экраном; 12 — регулировочный болт; 13 — флюгарка; 14 — шпилька регулировочная; 18 — геркон; 19 — магнит; 21 — стопка; 22 — плата; 23 — болт; 24 — штепсельный разъем; 25 — кольцо; 26 — ориентир

*Датчик мгновенной скорости и направления ветра (М127)* (рис. 4.2) смонтирован на вертикальной стойке, укрепляемой на мачте неподвижно, в горизонтально расположенном сигарообразном корпусе с прикрепленным к нему патрубком (цилиндром), вместе с которым он может свободно поворачиваться (на шарикоподшипнике) вокруг стойки. Сигарообразный корпус является флюгаркой. В передней части его на горизонтальной оси установлен четырехлопастный винт, а задняя часть оканчивается вертикально расположенными лопастями флюгарки. Подвижная часть датчика скорости ветра устанавливается навстречу воздушному потоку. *Пульт МВ2-1* смонтирован в прямоугольном корпусе. На его передней панели расположены три указателя: направления ветра, мгновенной, средней и максимальной скорости ветра. Здесь же расположены органы управления и надписи, указывающие их назначение. *Блок питания* содержит аккумуляторную батарею (12 В) и выпрямитель, который обеспечивает работу анеморумбометра от сети переменного тока.

Формируемые датчиком измерительные сигналы преобразуются в пульте в соответствии с функциональной схемой. Средняя скорость ветра определяется по сумме импульсов за соответствующий интервал времени (2 или 10 мин.), импульсы опорной серии через масштабный делитель частоты поступают на вход счетчика. Для согласования аэродинамической характеристики винта датчика и принятого масштаба измерения делитель частоты имеет переменный коэффициент деления в пределах от 40 до 64, время осреднения задается часовым механизмом. Мгновенная (текущая) скорость ветра, пропорциональная частоте входных импульсов, определяется величиной тока на выходе преобразователя частота-ток. На выходе преобразователя включен указатель скорости, при разомкнутой цепи на вход преобразователя поступают импульсы основной серии, при замкнутой — основной и сдвинутой серий, поскольку частота следования всех трех импульсов одинакова, входной ток преобразователя при разомкнутой цепи пропорционален скорости от 0 до 60 м/с, а при замкнутой — от 0 до 30 м/с.

Максимальная скорость ветра запоминается механическим устройством, фиксирующим наибольшее отклонение стрелки указателя скорости за период измерения. Направление ветра определяется по среднему значению тока, пропорциональному величине фазового сдвига между импульсами опорной и основной серий; импульсы основной серии или сдвинутой серии через переключатель серий, управляемый указателем положения указателя направления, поступают на вход триггера. На выходе триггера формируются импульсы направления, скважность которых пропорциональна текущему направлению ветра, если отсчет ведется по импульсам основной серии, или направления плюс  $180^\circ$ , если используются импульсы сдвинутой серии; указанные импульсы нормируются по амплитуде и подаются на интегратор, на выходе которого включен указатель направления, измеряющий ток.

Диапазон измерения скорости ветра: мгновенная (осредненная за 3–5 с.) 1,5–55 м/с; максимальная 3–55 м/с; средняя 1–40 м/с. Диапазон измерения направления ветра  $1\text{--}360^\circ$ . Предел допускаемой погрешности измерения направления ветра  $\pm 10^\circ$ . Дистанционность передачи измерительных сигналов от датчика до пульта управления или аналого-цифрового преобразователя по аэродромным линиям связи до 8 км.

***Измеритель параметров ветра Wind 30.*** Измеритель параметров ветра Wind 30 предназначен для измерения мгновенной скорости и направления ветра в месте установки датчика параметров ветра, преобразования измеренных значений мгновенной скорости и направле-



ния ветра в величины и отображения их на дисплее. Измеритель параметров ветра Wind 30 выпускается фирмой Vaisala (Финляндия), сертифицирован Госстандартом России.

В состав Wind 30 входят: датчик параметров ветра (рис. 4.3), состоящий из первичного измерительного преобразователя скорости ветра WAA 15A/151 (1), первичного измерительного преобразователя направления ветра WAV 15A/151 (2), преобразователя измерительных сигналов WAT15 (5) ; устройство сетевого питания WHP151; кронштейн для установки преобразователей WAC15 (4); мачта DKP12; многоканальный дисплей параметров ветра (рис. 4.4).

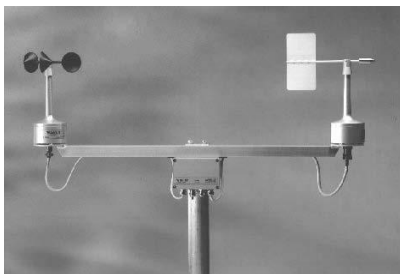


Рис. 4.3. Датчик параметров ветра Wind 30

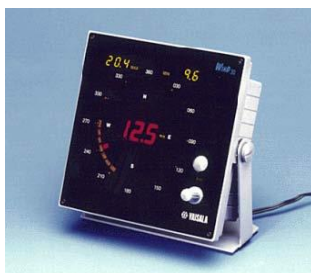


Рис. 4.4. Многоканальный дисплей измерителя Wind 30

Датчик параметров ветра предназначен для непрерывного измерения мгновенных значений скорости и направления ветра, скользяще осредненных за истекшие 3 с., в месте его установки. Скорость ветра измеряется первичным измерительным преобразователем WAA15A/151, направление — WAV15A/151.



Рис. 4.5. Анемометр WAA151

*Первичный измерительный преобразователь скорости ветра WAA15A/151* (рис. 4.5) — это высокочувствительный чашечный анемометр с оптоэлектронными элементами преобразования вращения чашек в частоту. Он состоит из зубчатого диска, укрепленного на валу анемометра, и чашек. Диск вращается вместе с чашками. Находясь между светоизлучающим диодом и фототранзистором оптического накопителя, размещенного на печатной плате, диск при вращении за один оборот генерирует выходной сигнал в виде 14 импульсов. Скорость вращения вала (чашек) прямо пропорциональна скорости ветра. Таким образом, частота импульса  $f$  определяется по формуле

$$f = \frac{V - 0,232}{1,402} \cdot 14, \quad (4.1)$$

где  $V$  — скорость ветра (м/с). Нагревательный элемент внутри крышки в туннеле вала при низкой температуре окружающего воздуха поддерживает температуру подшипников выше точки замерзания воды с целью исключения образования льда на чашках и обеспечения вращения вала.

*Первичный измерительный преобразователь направления ветра WAV15A/151* (рис. 4.6) — это сбалансированный низкороговый флюгер. Светодиоды и фоторезисторы закреплены на шести дорожках с каждой стороны кодового диска. В состав флюгера входит диск с маской кода Грея. За один шаг происходит изменение только на один бит, что соответствует изменению угла на  $5,6^\circ$ . Для обеспечения определения направления относительно севера WAV 15A/151 устанавливается на конце кронштейна WAC15, ориентируемого на север. В осевом канале WAV15A/151 помещен нагревательный элемент, который поддерживает температуру подшипников выше уровня замерзания воды. Потребляемая обогревателем мощность составляет 10 Вт. В кронштейне WAC15 имеется термостатный переключатель, с помощью

которого нагревательный элемент автоматически выключается при температуре 4 °С.



Рис. 4.6. Флюгер WAV151

*Преобразователь измерительных сигналов* WAT 15, блок управления датчиками, производит первичное преобразование измерительных сигналов, поступающих от первичных измерительных преобразователей скорости и направления ветра (частота), в цифровой код ASCII и передачу этой информации в многоканальный дисплей Wind 30 или другой промежуточный измерительный преобразователь (например Milos) или на вход ПК автоматизированной метеорологической измерительной системы. Микропроцессорный блок WAT15 производит преобразование сигналов, поступающих от первичных измерительных преобразователей скорости и направления ветра, в двоичный код ASCII, обеспечивает их электропитанием и производит осреднение скорости и направления ветра за истекшие 1, 2, 3, 4, 8, 16 с. Встроенный модем обеспечивает дистанционную передачу сигналов в коде ASCII на расстояние до 50 км. Конструктивно WAT15 представляет собой литой алюминиевый корпус, крепящийся к кронштейну WAC15 (рис. 4.3), в котором размещены микропроцессорный блок и модем. Устройство сетевого питания WHP151 — это малогабаритный блок сетевого питания, предназначенный для подачи питания в датчик параметров ветра. Блок имеет два выхода: один используется для подачи питания на обогрев первичных измерительных преобразователей скорости (WAA15A/151) и направления (WAV15A/151) ветра, другой — для питания измерительной схемы этих первичных измерительных преобразователей. Он помещается в литой герметичный алюминиевый корпус и устанавливается на стандартную.

Кронштейн WAC15 — конструкция, на которой устанавливаются первичные измерительные преобразователи скорости (WAA15A/151) и направления (WAV15A/151), а также преобразователь WAT15. Кронштейн изготовлен из алюминия. Он снабжен крепежной муфтой, с помощью которой крепится на вершину мачты

ДКР12. Для подключения проводов питания датчика и связи с терминалом на кронштейн устанавливается водонепроницаемая коробка. Кронштейн ориентируется по линии север—юг так, чтобы первичный измерительный преобразователь направления ветра находился на северном конце кронштейна. Мачта ДКР12 предназначена для установки датчика параметров ветра, устройства сетевого питания WHP151 и других средств, например, датчика температуры и влажности воздуха, промежуточного измерительного преобразователя. Изготавливается из дюралюминия или стали, снабжается тросовыми оттяжками на высотах 9,6 или 6 м.

*Многоканальный дисплей Wind 30.* Многоканальный дисплей параметров ветра Wind 30 (рис. 4.4) предназначен для приема и обработки измерительных сигналов мгновенной скорости и направления ветра, поступающих от датчика параметров ветра в коде ASCII, формирования информации о средней скорости и направлении ветра, скользяще осредненных за 2 и 10 мин., скользящего выбора максимальной скорости ветра за истекшие 10 мин. и отображения этой информации на дисплее. Мгновенные, средние за 2 и 10 мин. и экстремальные значения скорости ветра отображаются в числовом виде с помощью трехзначных семисегментных светодиодных элементов. Направление ветра и его вариации отображаются с помощью двух концентрических контуров, состоящих из 36 светодиодов каждый. Размер лицевой панели многоканального дисплея параметров ветра Wind 30 составляет 144×144 мм. В Wind 30 измерительные сигналы от датчиков параметров ветра могут подаваться как в цифровом коде, так и в аналоговом. К одному датчику параметров ветра может подключаться несколько пультов Wind 30.

*Технические характеристики.* Измеритель параметров ветра Wind 30 производит измерения мгновенной (осредненной за 3 с.) скорости ветра в диапазоне 0,6–75 м/с с погрешностью измерения не более  $\pm(0,4 + 0,035 \cdot V)$  м/с, где  $V$  — измеренная скорость ветра (м/с). Дискретность представления скорости ветра 1 м/с. Измерения мгновенного (осредненного за 3 с.) направления ветра производятся в диапазоне 0–360° с погрешностью измерения не более  $\pm 3^\circ$ . Дискретность представления направления ветра 6°. Измеритель параметров ветра Wind 30 обеспечивает:

– скользящий выбор максимальной скорости ветра за истекшие 10 мин. в диапазоне 0–75 м/с с погрешностью не более  $\pm 0,5$  м/с и выдачу сообщений (индикацию) о ней, если разность между значениями мгновенной скорости, осредненной за 3 с., и средней скорости ветра, осредненной за 10 мин., составляет 5 м/с и более;

– скользящее осреднение скорости и направления ветра за истекшие 2 и 10 мин. в диапазоне 1–50 м/с с погрешностью не более  $\pm 0,5$  м/с, а также отображение осредненных значений на экране дисплея;

– выявление заметной нестабильности направления и скорости ветра и сигнализацию о ней.

Дистанционность передачи измерительных сигналов от датчика параметров ветра до многоканального дисплея или входа ПЭВМ АМИС по двухпроводной линии связи составляет не более 50 км. Электропитание измерителя параметров ветра Wind 30 производится от однофазной сети переменного тока напряжением 115/230 В  $\pm 10$  % и частотой 50-60 Гц. Измеритель параметров ветра обеспечен сигнализацией об отказах первичных измерительных преобразователей скорости и направления ветра, обрыве линии связи и других сбоях. Имеется защита от гроз и перенапряжения в линиях электропитания. Габаритные размеры WAA 15A/151: высота 240 мм, диаметр 86 мм, масса 500 г; WAV15A/151: высота 300 мм, диаметр 90 мм, масса 660 г.

**Измеритель параметров ветра ИПВ-01.** Измеритель параметров ветра ИПВ-01 (рис. 4.7) выпускается серийно ОАО «Гидрометприбор» (г. Москва), сертифицирован Госстандартом Российской Федерации, допущен к применению в качестве измерителя параметров ветра на сети гидрометеорологических и авиаметеорологических станций России. ИПВ-01 является новым средством измерения параметров ветра с винтовым первичным измерительным преобразователем скорости ветра и флюгером для измерения направления, базирующимся на применении оптоэлектронных преобразователей в блоках чувствительных элементов.



Рис. 4.7. Измеритель параметров ветра ИПВ-01

*Устройство и технические характеристики.* Измеритель параметров ветра ИПВ-01 состоит из нескольких блоков. Датчик скорости и направления ветра представляет собой блок первичных измеритель-

ных преобразователей скорости и направления ветра (винтовой ветроприемник и флюгер). Он выдает измерительные сигналы о мгновенной скорости и направлении ветра в последовательном двоичном коде с периодичностью 1 с. и скоростью передачи 128 бит/с. Блок сопряжения преобразует измерительные сигналы, получаемые от датчика, в мгновенные (за 1 с.) скорость и направление ветра. На лицевой панели блока расположено несколько светодиодов, на которых отображаются текущие значения мгновенных (за 1 с.) скорости и направления ветра; при включении питания блока сопряжения на его лицевой панели высвечивается индикатор питания и индикаторы, отражающие состояние датчика и линий связи. Блок измерения преобразует получаемые от датчика и преобразованные в блоке сопряжения сообщения о мгновенных (за 1 с.) значениях скорости и направлении ветра в значения, скользяще осредненные за 5 с., 2 и 10 мин., а также скользяще выбранные максимальные (порывы) скорости ветра за истекшие 2 и 10 мин. Блок измерения (до 10 блоков) подключается к блоку сопряжения через разветвительную коробку. Блок индикации отображает мгновенные (за 1 с.) значения скорости и направления ветра; текущие значения скорости и направления ветра, скользяще осредненные за 5 с.; средние значения скорости и направления ветра, скользяще осредненные за 2 и 10 мин.; экстремальные (максимальные и минимальные) скользяще выбранные за 10 мин. значения скорости ветра. Диапазон измерения мгновенной скользяще осредненной за 5 с. скорости ветра составляет 0,5-80 м/с. Предел допускаемой погрешности измерения скорости ветра  $\pm 0,3$  м/с при скорости ветра от 1 до м/с  $\pm 5$  % при скорости ветра более 6 м/с. Диапазон измерения мгновенных скользяще осредненных за 5 с. значений направления ветра 0–360°. Предел допускаемой погрешности измерения направления ветра  $\pm 10^\circ$  при средней скорости до 1 м/с и  $\pm 3^\circ$  при средней скорости ветра более 1 м/с. Порог чувствительности первичных измерительных преобразователей скорости и направления (анемометра и флюгера) составляет 0,5 м/с. Разрешение флюгера не превышает 2°. Дистанционность передачи измерительных сигналов от датчика до блока сопряжения по линии связи составляет 10 км.

## ГЛАВА 5. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОБЛАЧНОСТЬЮ

*Формы облаков.* Формы облаков многообразны и находятся в постоянной динамике во времени и в пространстве, поэтому существуют различные методы их классификации. В публикациях ВМО предложены четыре метода классификации облаков: по характерным формам (виды облаков по форме и структуре, разновидности по расположению и прозрачности; по ярусам; по внешнему виду; по составу (кристаллические, жидко-капельные и смешанные). Форма облаков определяется визуально. Исключение составляют кучево-дождевые, мощные кучевые и слоисто-дождевые облака, которые определяются с помощью радиолокаторов и метеорологических спутников.

*Количество облаков.* Общее количество облаков определяется как часть небосвода, покрытая всеми видами облаков, видимыми с места наблюдения.

Таблица 5.1

Оценка и запись количества облаков по степени покрытия небосвода

Цифра кода	Количество облаков	Степень покрытия небосвода облаками
0	0	0
1	1 октант или менее, но не ноль	1/10 или менее, но не ноль
2	2 октанта	2/10–3/10
3	3 октанта	4/10
4	4 октанта	5/10
5	5 октантов	6/10
6	6 октантов	7/10–8/10
7	7 октантов или более, но не 8	9/10 или более, но не 10/10
8	8 октантов	10/10
9	Небо скрыто по причине тумана и/или других атмосферных явлений	
/	Облачный покров не различим по причинам, не связанным с наличием тумана или других атмосферных явлений, либо наблюдения не проводились	

Для оценки и записи данных о количестве облаков ВМО разработана таблица (код КН-01) (табл. 5.1). Кодовая цифра 9 используется в тех случаях, когда небо закрыто туманом, падающим снегом или когда наблюдатель не может дать оценку количества облаков вследствие темноты или постороннего освещения. В темное время суток общее

количество облаков оценивается по затуманности звезд. Оценка количества облаков каждого типа производится независимо от оценки общего количества облаков.

*Высота нижней границы облаков (вертикальная видимость).* Нижняя граница облаков определяется как самая нижняя зона, в которой прозрачность от значений, соответствующих ясному небу или дымке, переходит к значениям, соответствующим совокупности водяных капель и кристаллов льда. Высота нижней границы облаков (ВНГО) — расстояние по вертикали между поверхностью суши (воды) и нижней границей самого низкого слоя облаков. Разорванный и неустойчивый характер основания многих видов облаков не позволяет однозначно определить высоту нижней границы облаков. Невозможность четкого и однозначного определения нижней границы облаков создает трудности в измерении ее высоты. При измерении высоты нижней границы облаков облакомерами (прожекторы, светолокаторы, лазеры) фактически определяется расстояние от излучателя до светового пятна, возникающего в основании облака от светового потока, посланного этим излучателем, яркость которого соответствует чувствительности приемного устройства облакомера. При тумане, снеге и других атмосферных явлениях измеренное расстояние от передатчика светового потока до светового пятна принимается за вертикальную видимость.

## 5.1. Методы измерения высоты нижней границы облаков

*Принципы и методы измерения высоты нижней границы облаков.* Принцип измерения высоты нижней границы облаков основан на отличиях характеристик спектральной селективности внутри облака от соответствующих характеристик атмосферы, предшествующей облачности. Благодаря этому свойству в нижней части облака образуется световое пятно от источника света, установленного на поверхности земли, над которой измеряется высота нижней границы облаков. Расстояние между источником света и образованным им световым пятном в основании облака в настоящее время определяется двумя методами: путем измерения углового превышения (триангуляционный метод) и посредством отсчета времени прохождения луча света от источника света (передатчика) к световому пятну в основании облака и обратно к приемнику. Иногда для определения высоты нижней границы облаков (вертикальной видимости) рекомендуется использовать шаропилотный метод.



*Измерение углового превышения* (рис. 5.1) заключается в определении высоты светового пятна, образовавшегося в основании облачного слоя в результате освещения его узким направленным лучом. Световое пятно может образоваться от прожектора, направленного вертикально вверх с перемещающимся в вертикальной плоскости сканирующим лучом. Высота нижней границы облаков (высота светового пятна) в обоих случаях определяется по формуле  $h = \delta \operatorname{tg} \alpha$ , где  $h$  — высота светового пятна на основании облака, принимаемая за высоту нижней границы облаков;  $\delta$  — базовое расстояние между приемником света, отражаемого от светового пятна, и прожектором;  $\alpha$  — угол, под которым наблюдается световое пятно.

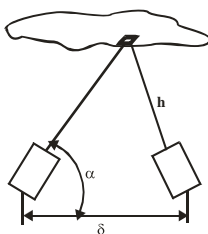


Рис. 5.1. Измерение высоты нижней границы облаков методом угловых превышений

По принципу вертикально направленного светового луча работает потолочный прожектор ПИ-45. Вследствие небольшой силы света прожекторного луча и отсутствия светочувствительного элемента он используется для измерения ВНГО только в темное время суток. В регистраторе высоты нижней границы облаков М-105 (использовался в 80-е гг.) световое пятно на основании облака создавал качающийся в вертикальной плоскости мощный импульсный прожектор, направленный вертикально вверх. Длина базы М-105 составляла 100 м, и он использовался для измерения ВНГО круглосуточно.

*Измерение ВНГО по времени прохождения сигнала.* На принципе измерения расстояния путем определения времени прохождения луча света к нижнему основанию облака и обратно основаны светолокационные измерители высоты нижней границы облаков. Расстояние от источника световых импульсов до светового пятна на основании облака, образованного этим источником, определяется по соотношению  $h = \frac{ct}{2}$ , где  $h$  — расстояние от светового пятна, яркость которого равна чувствительности приемника, принимаемое за нижнюю границу облаков;  $c$  — скорость света, равная  $2,9929 \cdot 10^8$  м/с;  $t$  — время прохож-

дения луча от передатчика до светового пятна и обратно к приемнику. На этом принципе основана работа светолокационных измерителей ВНГО РВО-2М, лазерных облакомеров СТ25К (Финляндия), Aviator LD12 (Германия), Пеленг СД-01-2000 (Беларусь).

В наблюдениях за высотой нижней границы облаков на аэродромах, оборудованных средствами для посадки по приборам, иногда используются шары-пилоты. До внедрения в оперативную работу светолокаторов (ИВО) шары-пилоты были единственным средством измерения высоты нижней границы облаков в дневное время, ночью использовались потолочные прожекторы. Шары-пилоты, предназначенные для определения высоты нижней границы облаков, представляют собой латексную оболочку, наполненную легким газом (водородом или гелием) таким образом, чтобы их вертикальная скорость составляла 120-180 м/мин. Скорость подъема шара-пилота определяется по длине окружности наполненной оболочки и свободной подъемной силе. Использование шаров-пилотов полезно в случае выхода из строя основных приборов.

Средства измерения ВНГО конструктивно состоят из передатчика, приемника и пульта управления. Для измерения высоты нижней границы облаков в светлое время суток необходим мощный источник света, излучаемого от передатчика к основанию, и чувствительный приемник света. В качестве источника света в светолокационных измерителях используются импульсные газоразрядные лампы большой мощности, обеспечивающие с помощью параболического зеркала излучение света. Световые импульсы, которые отражаются от основания облака, принимаются чувствительным фотоэлементом и преобразуются в электрический сигнал, который усиливается и передается в пульт управления. Там измеряется время между моментом излучения импульсного светового сигнала и моментом приема отраженного сигнала. Время прохождения светового сигнала от передатчика до основания облака и обратно определяется с помощью измерителя временных интервалов или электронно-лучевой трубки, которая используется в измерителях высоты нижней границы облаков ИВО (РВО). Передатчики и приемники световых импульсов устанавливаются в открытых местах, над которыми должно производиться измерение высоты нижней границы облаков. Пульт управления устанавливается в рабочем помещении и служит не только для преобразования измерительных сигналов, поступающих от измерителя ВНГО, в высоту нижней границы облаков, но и для дистанционного управления передатчиком, приемником и индикации результатов измерения.

В гидрометеорологической сети России измерители высоты нижней границы облаков, работающие на светолокационном принципе, получили широкое применение. Измеритель высоты облаков (ИВО) много раз модернизировался (ИВО-1, ИВО-1м, РВО, РВО-2 и РВО-2м). Приборы ИВО-1 м и РВО-2м являются основными средствами измерения высоты нижней границы облаков на аэродромах гражданской авиации России.



Рис. 5.2. Схема лазерного измерителя ВНГО

Лазерные измерители ВНГО (рис. 5.2) состоят из передатчика-приемника и обрабатывающего (регистрирующего) устройства. Передатчик, приемник и обрабатывающее устройство монтируются в одном блоке. В современных лазерных измерителях в качестве источника световых импульсов используются полупроводниковые лазеры, вырабатывающие импульсы света мощностью около 75 Вт с частотой около 1 кГц. Длина волны излучения лазера составляет 900 нм. Оптические устройства передатчика располагаются таким образом, что лазерный источник и детектор приемника находятся в фокусе телескопической системы. На поверхности линз наносятся соответствующие покрытия толщиной в одну четверть длины волны излучения лазера с целью уменьшения отражения и обеспечения высокого уровня пропускания света. Отверстие источника света герметично закрывается стеклянным окошком и устанавливается под углом для обеспечения стока воды от осадков. Приемник имеет ту же конструкцию, что и передатчик, только вместо источника света в него входят фотодиод и оптический фильтр. Фильтр не пропускает большую часть фонового рассеянного солнечного излучения, облегчая прием рассеянного лазерного излучения. Излучатель и приемник устанавливаются таким образом, чтобы пучок света излучателя и поле зрения приемника совмещались на высоте 300 м. Верхние части передатчика и приемника

снабжены оптическими отражателями, предохраняющими устройство от прямого солнечного излучения. Лазерные импульсы света практически пронизывают атмосферу до 3-5 км. Встречая на пути облака, лазерные импульсы отражаются, рассеиваются и поглощаются. Входные сигналы отражения и рассеяния, поступающие на детектор приемника, разделяются электронным обрабатывающим устройством на последовательные импульсы, каждый из которых отображает минимальное обнаружимое приращение высоты. В лазерных облакомерах оно равно 15 м. Для того чтобы отличить полезный сигнал от шумов, а также получить профиль сигналов обратного рассеяния и отражения, число сигналов обратного рассеяния и отражения, поступивших в приемник от лазерных импульсов, суммируется. Полезный сигнал умножается на число импульсов лазерного света, а шумы при суммировании подавляют друг друга. Степень подавления белых (гауссовых) шумов равна корню квадратному из числа выборок (импульсов). Технические подробности излучения лазерных импульсов, приема рассеянных и отраженных от них сигналов и их обработка не полностью раскрываются изготовителями. Лазерные облакомеры являются в настоящее время наиболее точными средствами измерения высоты нижней границы облаков и вертикальной видимости.

## **5.2. Измерители высоты нижней границы облаков**

*Измеритель высоты нижней границы облаков РВО-2М.* Измеритель высоты облаков РВО-2М является последней модернизацией измерителя высоты облаков ИВО (ИВО-1, ИВО-1М, РВО-2), используемого на аэродромах для определения высоты нижней границы облаков (вертикальной видимости). Основным отличием РВО-2М от ИВО является конструкция защитных стекол передатчика и приемника. Открывающиеся и закрывающиеся дистанционно управляемые защитные крышки для защиты стекол передатчика и приемника из конструкции ИВО и РВО-2 исключены. Защитные стекла передатчика и приемника ИВО (необогреваемые) заменены в РВО-2М на наклонные стекла с токопроводящим обогревным покрытием. Включение (выключение) обогрева стекол производится с пульта управления. РВО-2М предназначен для определения высоты нижней границы облаков непосредственно над местом установки передатчика и приемника световых импульсов в любое время суток. Действие РВО-2М основано на принципе измерения времени прохождения светового луча до светового пятна на основании облака и обратно. При работе с пульта управления по отсчетам на электронно-лучевой трубке и шкале высот произ-

водится измерение времени запаздывания импульса, поступившего от приемника, относительно импульса, поступившего от передатчика. Конструктивно РВО-2М состоит из трех основных блоков: передатчика, приемника, пульта управления (рис. 5.3).

*Передатчик световых импульсов* состоит из импульсной газоразрядной лампы (типа ИСШ-100-1), конденсатора основного разряда, конденсатора поджига и развязывающих сопротивлений. Генерация светового импульса происходит при разряде через лампу и конденсатор, который заряжается через кабель, идущий от пульта управления. Начальная ионизация, вызывающая разряд, создается при разряде через промежуток поджига конденсатора (С2). С участка минусовой шины, соединяющей конденсатор (С1) с лампой, снимается импульсное напряжение, возникающее при разряде конденсатора (С1), и подается по коаксиальному кабелю в отметчик для запуска развертки (время излучения светового импульса передатчиком).

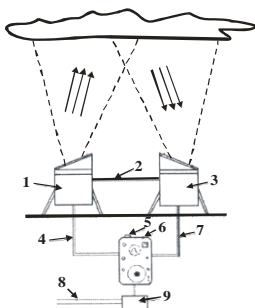


Рис. 5.3. Измеритель высоты облаков РВО-2М:

- 1 — передатчик; 2 — кабель, соединяющий передатчик и приемник; 3 — приемник; 4 — кабель, соединяющий пульт управления с передатчиком; 5 — эквивалент приставки дистанционной; 6 — пульт управления; 7 — кабель, соединяющий пульт с приемником; 8 — кабель сетевой; 9 — фильтр сетевой

Тело свечения импульсной лампы выставлено в фокусе параболического зеркала (отражателя). Отражатель вместе с лампой и конденсаторами установлен на карданном подвесе. Сверху передатчик защищен защитным стеклом, покрытым токопроводящим слоем, который обеспечивает обогрев стекла. Для установки на подставку кожух передатчика имеет четыре гнезда, в которые вставляются трубчатые опоры.

*Приемник отраженных сигналов* включает в себя фотоусилитель, прямоугольная диафрагма которого расположена в фокальной плоскости параболического отражателя. Фотоусилитель служит в качестве преобразователя световых импульсов в электрические и для их предварительного усиления. Он состоит из однокаскадного фотоэлектронного умножителя ФЭУ-1 и трехкаскадного лампового усилителя, состоящего из трех ламп. В приемнике расположен блок питания (трансформатор, диоды), от которого питаются некоторые коммутирующие реле, телефон. Трансформатор обеспечивает накал ламп фотоусилителя. Конструкция остальных узлов приемника аналогична конструкции передатчика.

*Пульт управления* комплектом измерителя работает в режиме измерения и индикации результатов на экране электронно-лучевой трубки. В нем совмещены измерительная схема, схема АРУ, основные органы управления измерителем и узлы питания передатчика, приемника и измерительной схемы. Измерительная схема состоит из видеоусилителя, электронно-лучевой трубки, схемы компенсации и схемы калибровки. Все блоки РВО-2М соединяются кабелями. К сети электропитания РВО-2М подсоединяется через сетевой фильтр. Диапазон определения высоты нижней границы облаков составляет 30–2000 м, а при дистанционных измерениях — 30–1000 м. Погрешность определения высоты нижней границы облаков ( $H$ ) не превышает:  $\pm(5 + 0,1H)$  м при  $H$  от 30 до 150 м;  $\pm(10 + 0,07H)$  м при  $H$  от 150 до 500 м;  $\pm(15 + 0,05H)$  м при  $H$  от 500 до 1500 м;  $\pm(50 + 0,05H)$  м при  $H$  более 1500 м.

Передатчик и приемник РВО-2М работоспособны при следующих условиях: температура воздуха от  $-50$  до  $50$  °С; относительная влажность воздуха до 100 % при температуре  $25$  °С; атмосферное давление 1000 гПа. Дистанционность передачи измерительных сигналов от передатчика и приемника до пульта управления ограничена длиной соединяющего кабеля 70 м. Текущий ремонт РВО-2М производится инженерно-техническим персоналом, осуществляющим его техническое обслуживание, или ремонтными бригадами УГМС (ЦГМС).

**Облакомер СТ25К.** Облакомер СТ25К предназначен для измерения высоты нижней границы облаков (до трех слоев одновременно при многослойной облачности) и вертикальной видимости над местом установки датчика. Выпускается фирмой Vaisala (Финляндия) с 1995 г., сертифицирован Госстандартом России, допущен к применению в Российской Федерации как средство измерений.

Действие СТ25К основано на принципе измерения расстояния путем определения времени прохождения луча света. В отличие от светоимпульсных измерителей ВНГО, например РВО-2М, в качестве

зондирующего луча используются лазерные импульсы. В СТ25К используется принцип пульсирующего лазерного зондирования (Lidar), обнаружения света и определения расстояния. Лазерные импульсы света пронизывают атмосферу до высоты 7500 м. Встречая на пути облака, облачную дымку, осадки лазерные импульсы отражаются, рассеиваются и поглощаются. Мгновенное значение отраженного сигнала позволяет получить информацию о свойствах атмосферы (туман, дымка, осадки, облака) на определенной высоте. Поскольку туман и осадки ослабляют импульс света, отраженный от нижней границы облака, сигнал от облаков будет меньше по величине. Следовательно, информация о тумане и осадках приводит к снижению уровня сигнала от облаков и требует введения необходимой коррекции о состоянии атмосферы вплоть до нижней границы облаков.

СТ25К в нормальном режиме работы производит цифровые выборки отраженных сигналов через каждые 100 нс в интервале от 0 до 50 мкс, обеспечивая пространственную разрешающую способность 15 м от земли и до высоты 7500 м. В целях безопасности в СТ25К используется лазерный луч небольшой мощности (16 Вт), при которой помехи от света окружающей среды значительно превышают сигналы обратного рассеяния. Поэтому для выделения сигнала обратного рассеяния в СТ25К применяется суммирование отраженных (рассеянных) сигналов. Таким образом, полезный сигнал умножается на число импульсов, а шумы при этом суммировании частично подавляют друг друга. Степень подавления белых (гауссовых) шумов равна квадратному корню из числа выборок (импульсов). Следует отметить, что такое улучшение соотношения сигнал/шум не бесконечно, так как положение облаков в атмосфере не стационарно. Мгновенные значения мощности отраженного сигнала  $P_r(Z)$  (Вт) в общем виде описываются для лидара уравнением

$$P_r(Z) = E_0 \frac{c}{2} \frac{A}{Z^2} \beta(Z) e^{-2 \int_0^Z \sigma(Z') dz'}, \quad (5.1)$$

где  $E_0$  — эффективная энергия импульса, учитывающая любое затухание за счет оптики (Дж);  $c$  — скорость света (м/с);  $A$  — апертура приемника ( $\text{м}^2$ );  $Z$  — рассматриваемое расстояние или в данном случае высота (м);  $\beta(Z)$  — объемный коэффициент обратного рассеяния для расстояния  $Z$  ( $\text{м}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$ );  $e^{-2 \int_0^Z \sigma(Z') dz'}$  — атмосферный коэффициент пропускания, который учитывает затухание переданной вверх и обратно отраженной мощности по поглощению ( $Z'$ ) между приемником и рассматриваемым расстоянием (высотой). При чистой атмосфере, т. е.

когда затухание отсутствует, величина коэффициента пропускания равна единице.

Объемный коэффициент обратного рассеяния  $\beta(Z)$  характеризует ту часть луча, которая отражается назад к облакомеру с расстояния (высоты)  $Z$ , например, от водяных капель, облака. Чем плотнее облако, тем выше величина отраженного сигнала. Эта зависимость описывается формулой

$$\beta(Z) = k \sigma(Z), \quad (5.2)$$

где  $k$  — постоянный коэффициент пропорциональности,  $\sigma(Z)$  — показатель ослабления, т. е. коэффициент затухания в прямом направлении, который зависит от видимости по прямой линии. Если видимость определять по порогу контрастной чувствительности глаза 0,05 (принятое значение ВМО), то

$$\sigma = \frac{3}{\text{МОД}}, \quad (5.3)$$

где  $\sigma$  — показатель ослабления (коэффициент затухания в прямом направлении); МОД — метеорологическая оптическая дальность видимости. Постоянный коэффициент пропорциональности  $k$  (или коэффициент лидара) во многих случаях равен 0,03. Однако в условиях высокой влажности он понижается до 0,02, а при низкой влажности повышается до 0,05, в условиях выпадения различного вида осадков диапазон его значений расширяется.

Наличие на пути зондирующего луча между землей и нижней границей облаков тумана, осадков и других образований, ухудшающих видимость в атмосфере, может привести к значительному ослаблению отраженного от нижней границы облаков сигнала. Для того чтобы определить истинный отраженный от нижней границы облаков сигнал, необходимо учитывать затухание в тумане, осадках и других образованиях путем нормализации степени затухания по отношению к коэффициенту поглощения. Полученный таким образом профиль прохождения зондирующего луча, пропорциональный коэффициенту поглощения на разных высотах, позволяет использовать пороговый критерий прямой видимости для определения того, что является облаком. Предполагая линейную зависимость между обратным рассеянием и коэффициентом поглощения в соответствии с формулой (5.2) и тем, что коэффициент  $k$  — величина постоянная во всем зондируемом диапазоне, можно получить профиль коэффициента поглощения с помощью математических расчетов. Оценка вертикальной видимости вычисляется по профилю коэффициента поглощения благодаря прямой зависимости видимости (МОД) от коэффициента ослабления (5.3) при условии, что принят постоянный пороговый контраст. Вертикальная



видимость будет высотой, где интеграл профиля коэффициента поглощения, начиная от земли, равен натуральному логарифму порогового контраста.

Испытания показали, что принятый ВМО порог контрастной чувствительности  $\varepsilon = 0,05$ , успешно используемый для измерения МОД в горизонтальном направлении, не подходит для определения вертикальной видимости. В СТ25К используется такой порог контрастной чувствительности, при котором определяемые значения вертикальной видимости наиболее близки к вертикальной видимости, наблюдаемой пилотами воздушных судов. СТ25К состоит из трех основных частей (рис. 5.4): блока измерения, кожуха, основания.



Рис. 5.4. Облакомер СТ25К

*Блок измерения* включает в себя оптический узел СТВ21, лазерный передатчик СТТ21, приемник СТР21, оптический монитор СТЛ21, корпус DMF51, интерфейс питания линии СТР21, батарею бесперебойного питания, узел внутренних нагревателей СТ2690, датчик угла наклона СТ3675, внутренние кабели.

*Оптический узел* СТВ21 состоит из конической оптической трубки с зажимным приспособлением для объектива, блока интегратора точного пучка в нижней части, который включает разделитель пучка в узкополосный фильтр, и соединительного фланца для узлов лазерного передатчика и приемника отраженных сигналов.

*Лазерный передатчик* СТТ21 состоит из диода лазера, центральная длина волны излучаемого импульса света 905 нм при температуре 25 °С.

*Приемник CTR21* состоит из двух идентичных лавинных фотодиодов (кремниевый лавинный фотодиод ADP с чувствительностью 65 А/Вт для волны длиной 905 нм). Первый ADP принимает фактический сигнал измерения и выдает текущий импульс через усилитель с обратной связью. Второй ADP компенсирует большую часть оптических отражений сигнала, появляющихся в системе линз объектива. Компенсация обеспечивается соединением ADP типа полумост.

*Оптический монитор CTL2J* имеет два точечных (PIN) фотодиода, которые принимают от лазерного передатчика CTT21 лазерные импульсы и после соответствующего усиления и аналого-цифрового преобразования передают их на плату процессора. Они используются для управления выходной мощностью лазера, а также дают сигнал в цепь дополнительного фотодиода, измеряющего свет, отраженный от защитного окна вследствие загрязнения.

*Корпус DMF51* является узлом, в который вставляются плата процессора DMC50A, плата преобразователя постоянного тока DPS51, интерфейсная плата облакомера DCT51 и плата модема DMX55. Будучи полностью металлическим, он защищает электронное оборудование от электромагнитных помех.

Процессор DMC50A имеет полностью статический (память не требует регенерации) 16-разрядный CMOS-процессор типа 80C188EB. Память процессора используется в качестве устройства хранения операционной системы реального времени и специальным образом закодированных прикладных файлов. Преобразователь постоянного тока DPS51 является эффективной самоследящей мощной платой распределения питания. Она имеет пять независимых переключаемых преобразователей напряжения и дает питание мощностью 30 Вт.

*Интерфейс линии питания CTR21* кроме сопряжения линий (питания, обслуживания, данных и др.) предназначен для преобразования переменного тока низкого напряжения в постоянный, которым питается DS-преобразователь DPS51. Он имеет реле для управления питанием внутренних нагревателей (CT2690), мотор вентилятора оконного кондиционера и нагреватель воздушного потока. Внутренний нагрев и кондиционирование окна управляются программным обеспечением через DC-преобразователь DPS51.

*Батарея бесперебойного питания* — герметичная свинцово-цинковая аккумуляторная батарея, заряд которой производится автоматически от преобразователя DPS51.

*Узел внутренних нагревателей CT2690* предназначен для повышения температуры в районе оптического узла и предотвращения за-

потевания оптики и образования на ней конденсата. Он состоит из двух резисторов высокой тепловой производительности.

*Датчик угла наклона СТ3675* предназначен для определения угла наклона оптической оси облакомера с целью точного определения высоты нижней границы облаков, когда оптическая ось не вертикальна. Он содержит кремниевый микромеханический датчик ускорения, измеряющий силу тяжести, которая проецируется на ось облакомера. Каждое отклонение в положении оптической оси облакомера от вертикали приводит к увеличению измеряемого расстояния до нижней границы облаков. Это отклонение зависит от угла наклона (отклонения от вертикали) в диапазоне, который может быть от  $-15$  до  $90^\circ$ . Выходное напряжение датчика угла наклона преобразуется в цифровой код аналого-цифровым преобразователем и используется для автоматической коррекции. Кожух состоит из встроенного оконного кондиционера СТ26114/СТ2688 (вентилятор теплого воздуха), нагревателя и датчика температуры.

Проверка производится или с клавиатуры ПЭВМ, или с обслуживающего терминала вводом определенных форматов строк опросов, которые подробно описаны в РЭ. Первичная и периодическая поверка СТ25К производится по методике поверки облакомера СТ25К, утвержденной в установленном порядке.

***Лазерный датчик высоты облаков Aviator LD12.*** Лазерный датчик высоты облаков Aviator LD12 предназначен для определения высоты нижней границы облаков и вертикальной видимости над местом установки датчика в любое время суток и при любых метеорологических условиях. Выпускается фирмой Jenoptik Impulsphysik (Германия). LD12 сертифицирован в составе автоматизированной метеорологической аэродромной системы AWOS. Датчик LD12 работает по принципу LIDAR. Лазерный диод МОС VD выдает короткие световые импульсы. Оптическая система фокусирует свет в параллельные лучи и посылает вертикально вверх в атмосферу. Аэрозоли, мелкие капли воды и ледяные кристаллы, находящиеся в атмосфере и облаках, рассеивают и отражают свет, и только малая его часть возвращается обратно к устройству обнаружения. Этот отраженный и рассеянный свет фокусируется второй оптической системой на фотодиод (приемник) и преобразуется в электрический сигнал. По скорости света и времени его прохождения до места отражения или рассеяния и обратно определяется высота. В конечном итоге измеряется время запаздывания принятого луча относительно времени передачи его диодом. Из этого следует, что LD12 работает на принципе измерения расстояния путем определения времени прохождения света к основанию облака и обратно.

Выходная мощность лазерного луча невелика (пиковая мощность 20 Вт), следовательно, импульсы, принимаемые приемником, очень слабые, особенно в случае высоких облаков. Таким образом, шумы приемника могут быть выше одиночного принятого импульса. Для получения сигнала значительно выше шумов предусмотрено суммирование нескольких импульсов. Чем больше число просуммированных импульсов, тем лучше отношение сигнал/шум. Весь диапазон измерения высоты облаков разделен на приращения через 7,5 м. Каждое приращение высоты соответствует некоторому увеличению времени прохождения света. Аналого-цифровой преобразователь производит выборку каждого последовательного приращения в одном пакете до 3840 м и сохраняет выборки в промежуточной памяти. Промежуточные значения суммируются с соответствующими предварительно суммированными значениями в основной памяти. В конце цикла измерения интегрированные амплитуды ( $A$ ) всех приращений даются как функция высоты  $h$  обнаружения облака, дымки, тумана и других образований в атмосфере:

$$A = f(h). \quad (5.4)$$

Для анализа функции (5.4), формирования информации о результатах измерения высоты облаков и вертикальной видимости программа содержит алгоритмы в модуле центральной обработки измерительных сигналов.

Конструктивно LD12 выполнен в виде подставки и модуля приемопередатчика (рис. 5.5), которые скреплены друг с другом тремя зажимами. Окна защищены капюшоном. Электроника и модули доступны после открытия двери. Модуль лазера точно закреплен на опорной стойке двумя фиксирующими замками. Выходной луч лазерного диода точно отрегулирован в середину муфты лазера и оптики. Поэтому после замены модуля лазера новая настройка оптики не требуется. Модуль приемника точно закреплен на опорной стойке подобно модулю лазера. Фотодиоды главного и тестового приемников точно выровнены на заводе-изготовителе. Таким образом, после замены модуля приемника настройка оптики не требуется. Солнцезащитные шторы защищают лазерный диод, лавинный фотодиод и фотодиоды тестового приемника от прямых солнечных лучей. Они изготовлены из тонкого листа титана, приваренного к указателю измерительного механизма. Обычно шторы закрыты. Они открываются автоматически, когда на них подается напряжение питания. Под отражающей пластиной модуля приемника установлен узкополосный фильтр.

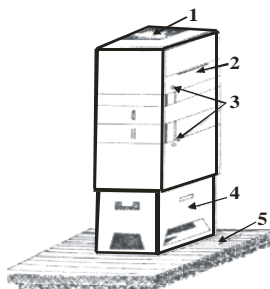


Рис. 5.5. Датчик высоты облаков Aviator LD12:

- 1 — окно передатчика и приемника; 2 — дверь; 3 — замок двери;  
4 — основание (подставка); 5 — бетонное основание

Опорный детектор размещен под линзой оптики передатчика и закреплен двумя винтами. Тестовый лазер помещен под линзой оптики приемника и закреплен двумя винтами. На раме установлены подмодуль питания, основная плата, защита от избыточного напряжения линии связи, защита от избыточного напряжения линии питания. Оптика представлена двумя оптическими трубами (приемника и передатчика), изготовленными из алюминия как единый модуль, и прикреплена к опоре на задней стене корпуса одним винтом. Вентилятор окна размещен под защитным кожухом. Нагреватели окна установлены между линзой и верхним окном приемника и передатчика и служат для предотвращения конденсации водяного пара. Там же расположен датчик температуры окна.

Функционально LD12 состоит из следующих блоков:

– *передатчик*, в котором находится источник светового импульса (лазерный диод МОС VD) и устройство управления лазерным диодом, состоящее из детектора и регулятора мощности лазера; длина волны лазерного луча  $905 \pm 5$  нм, пиковая мощность 20 Вт, продолжительность импульса 96 нс, частота повторения импульсов 256 Гц; оптика передатчика состоит из одной линзы с фокусным расстоянием 500 мм диаметром 140 мм, расхождение менее 1 мрад;

– *приемник*, в котором находятся лавинный фотодиод и устройство управления фотодиодом, состоящее из тестового лазера (МОС VD), тестового приемника и быстродействующего цифрового преобразователя обработки измерительных сигналов; чувствительным элементом приемника является фотодиод; оптика приемника состоит из одной линзы с фокусным расстоянием 500 мм диаметром 140 мм, расхождением света менее 1,2 мм и фильтра, пропускающего свет с длиной

волны  $905 \pm 5$  нм, с полосой пропускания 47,5 нм; таким образом, приемник наиболее чувствителен к свету с длиной волны  $905 \pm 5$  нм;

– *центральный процессор управления* (ЦПУ) с параллельным портом, имеющим линии связи для управления входом сигналов приемника и шину, которая может использоваться для целей проверки, вывода данных от нескольких аналого-цифровых преобразователей или для управления преобразователями так, чтобы напряжения могли быть поданы к различным регуляторам. Кроме того, ЦПУ имеет два последовательных порта, интерфейс пользователя (модемный или RS232, или RS422, или RS495) и интерфейс обслуживания и диагностики (RS232); с помощью регуляторов производится регулировка напряжения смещения лавинного фотодиода приемника и тестового лазера с целью проверки чувствительности приемника и мощности лазерного диода передатчика;

– *два датчика температуры;*

– *блок питания* и система защиты от избыточного напряжения в сети электропитания и связи.

Проводится периодическое и специальное техническое обслуживание LD12. LD12 выполняет самопроверку и подпрограмму самонастройки перед каждым циклом измерений. Сообщения об отказах передаются на экран дисплея терминала или ПЭВМ, если LD12 используется в качестве датчика высоты облаков в АМИС.

***Измеритель высоты нижней границы облаков «Пеленг СД-01-2000».*** Измеритель высоты нижней границы облаков «Пеленг СД-01-2000» предназначен для проведения измерений ВНГО в реальном масштабе времени непосредственно над местом его установки в национальных и международных аэропортах, на аэродромах местных авиалиний и посадочных площадках, а также на метеорологических станциях. Измеритель ВНГО «Пеленг СД-01-2000» сертифицирован, выпускается акционерным обществом «Пеленг» (Республика Беларусь).

Принцип работы СД-01 основан на измерении суммарного времени прохождения короткого (70–100 нс) импульса оптического излучения до нижней границы облаков и обратно к приемнику. Для повышения достоверности и точности измерения ВНГО в СД-01 используется принцип накопления сигналов, т. е. одно показание высоты нижней границы облака (Н) фактически получается в результате суммирования результатов 10 000 измерений, получаемых за период около 15 с. Следовательно,

$$H = c \frac{\sum_{n=1}^n t}{2n}, \quad (5.5)$$

где  $c$  — скорость света (м/с);  $t$  — время прохождения единичным импульсом света расстояния до нижней границы облака и обратно ( $c$ );  $n$  — число измерений за один цикл. Для надежного выделения полезного сигнала от шумов в СД-01 предусмотрены измерение и последующий анализ фоновой засветки фотоприемного устройства.

СД-01 функционирует следующим образом. По команде ПЭВМ «измерить» датчик переходит в режим контроля фоновой засветки приемника, при этом производится около 10 000 измерений фона путем включения управляющим компьютером аналого-цифрового преобразователя на длительность рабочего цикла измерения (20 мкс) с последующим суммированием с результатами предыдущих измерений, излучатель в этот период не включается. После измерения фоновой засветки приемника датчик СД-01 переходит в режим измерения. Алгоритм измерения аналогичен контролю фоновой засветки приемника, только одновременно с запуском измерения фоновой засветки приемника и аналого-цифрового преобразователя включается лазерный излучатель (ИЛПИ-112) и формируется короткий (20 нс) зондирующий импульс. В результате суммирования результатов 10 000 измерений формируется лидарный сигнал. Накопленные фоновый и лидарный сигналы обрабатываются в управляющем компьютере и передаются в ПЭВМ по интерфейсу RS232 или модему. От датчика СД-01 также передаются сигналы с результатами самотестирования. Высота нижней границы облаков измеряется автоматически и непрерывно с периодичностью, задаваемой оператором через ПЭВМ.

Функциональную схему датчика СД-01 можно разделить на следующие составные части: управляющий компьютер; передатчик лазерный; фотоприемное устройство; контроль, управление, обогрев; источник питания. Управляющий компьютер Micro PC управляет всей работой датчика СД-01. Он дает разрешение на работу лазерного диода. Компьютер Micro PC работает от собственного источника электропитания Power Module 7155, в нем установлен литиевый элемент питания, обеспечивающий сохранность программы управления при отключении сети электропитания. Компьютер контролирует работу всего датчика.

Передатчик лазерный состоит из лазерного диода и платы лазерного передатчика. На плате лазерного передатчика расположен источник питания накачки (100 В). На плате формируется импульс длительностью 70 нс, который разветвляется на пять каналов усиления и

ключевых каскадов, включенных между собой параллельно. Такое построение обеспечивает стабильную надежную работу оконечных каскадов по размеру накопительных емкостей на лазерный диод, поскольку ток накачки для разных экземпляров диодов может достигать 75 А. Наличие времени задержки в указанных целях позволяет формировать световой импульс длительностью 90 нс. Таким образом, лазерный передатчик формирует импульсы длительностью 90 нс, мощностью 150 Вт на длине волны 887 нм и частотой 1 кГц.

Фотоприемное устройство состоит из кремниевого фотодиода и платы. Оно принимает отраженные от облака сигналы. Сигнал с фотоприемника дополнительно усиливается операционным усилителем примерно в 100 раз. Усиленный сигнал поступает на плату аналогоцифрового преобразователя, на входе которого стоит согласующий усилитель. На этой плате производится оцифровка сигнала с частотой 15 МГц, а также суммирование и запись его в быстродействующую память для увеличения соотношения сигнал/шум. Датчик температуры и терморезистор расположены в верхней части блока около защитных стекол передатчика и приемника и предназначены для их обогрева. Резисторами можно регулировать мощность обогрева. Обогрев включается при температуре 10 °С. Электропитание СД-01 осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц. Если температура внутри корпуса ниже -20°С, включается электроподогрев.

Конструктивно датчик СД-01 выполнен в виде моноблока, объединяющего в одном корпусе передатчик и приемник с их оптическими системами, а также управляющий компьютер и блок питания.

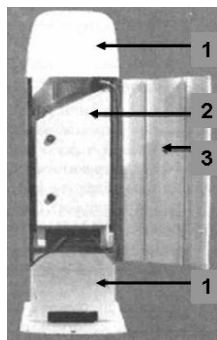


Рис. 5.6. Датчик CL31: 1 — корпус (экран), 2 — измерительный блок, 3 — дверь



**Облакомер CL31.** Облакомер CL31 является лазерным измерителем высоты нижней границы облаков и вертикальной видимости, выпускается фирмой Vaisala (Финляндия). От облакомера CT25K отличается меньшими размерами и массой. Применена лазерная импульсно-диодная технология LIDAR (Light Detection and Ranging), при которой короткие мощные импульсы посылаются в вертикальном направлении. Обратнорассеянный сигнал при поступлении в приемник запоминается, обрабатывается и выдается в виде цифровых сигналов в терминал, где отображается в виде измеренных значений высоты нижней границы облаков или вертикальной видимости.

Облакомер CL31 является датчиком (в комплекте нет дисплея отображающего значения ВНГО) высоты нижней границы облаков и вертикальной видимости и конструктивно представляет собой металлический корпус (рис. 5.6).

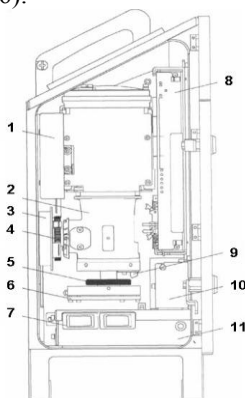


Рис. 5.7. Компоненты датчика CL31

В металлическом корпусе помещен измерительный блок, в него входят основные компоненты (рис. 5.7): оптический блок 2, представляющий собой оптическую систему с фокусным расстоянием 300 мм, эффективным диаметром объектива 96 мм, коэффициентом пропускания объектива 96%; приемник 3, состоящий из детектора (кремниевый лавинный фотодиод) с диаметром поверхности 0,5 мм и полосой пропускания 3 МГц, фильтра подавления помех; передатчик 6, представляющий собой лазер (лазерный диод на арсениде индия и галлия), излучающий импульсный свет частотой 10 кГц с длиной волны  $910 \pm 10$  нм, средней мощности 12 мВт, расходимость пучка лазерного света от 0,4 до 0,7 мрад, пиковая мощность 11 Вт; процессорная плата 8, построенная на базе процессора типа DMC50A, память процессора ис-

пользуется в качестве устройства хранения операционной системы и закодированных прикладных файлов; плата управления лазером 9, имеющая два точечных фотодиода, которые принимают от лазерного передатчика импульсы и после усиления аналого-цифрового преобразования передаются на плату процессора и используются для управления выходной мощностью лазера; батарея резервного питания 10 — свинцово-кислотный аккумулятор емкостью 2 ампер-часа, выдаваемое напряжение 12 В, обеспечивающий автономное питание датчика в течение 1 ч.; блок питания переменным током 11, предназначенный для преобразования сетевого питающего напряжения в напряжение для электропитания измерительного блока и подзарядки аккумулятора батареи резервного питания; внутренний обогреватель, предназначенный для предотвращения запотевания оптических элементов датчика. На рис. 5.7 изображено кольцо приемника 4, передатчика 5, выключатель электропитания и оконного кондиционера 7. С датчиком CL31 используется модем DMX501.

Диапазон измерения высоты нижней границы облаков и вертикальной видимости составляет 0-7500 м, разрешение — 5 м, интервал измерений — 2 с. Высота датчика — 1190 мм, размер измерительного блока — 620×235×200 мм, масса 12 кг. Дистанционность передачи измерительных сигналов по двухпроводной линии связи составляет 300 м, через модем — 16 км.

**Дальномер облаков лазерный ДОЛ-1.** Дальномер облаков лазерный ДОЛ-1 предназначен для непрерывного дистанционного измерения высоты нижней границы облаков, отображения и регистрации результатов измерения, выпускается ОАО ЛОМО (г. Санкт-Петербург). ДОЛ-1 используется в качестве датчика высоты нижней границы облаков (вертикальной видимости) в автоматизированных метеорологических измерительных системах. Принцип действия основан на измерении высоты рассеивающего слоя облачности, тумана, дымки, осадков при прохождении лазерного луча.

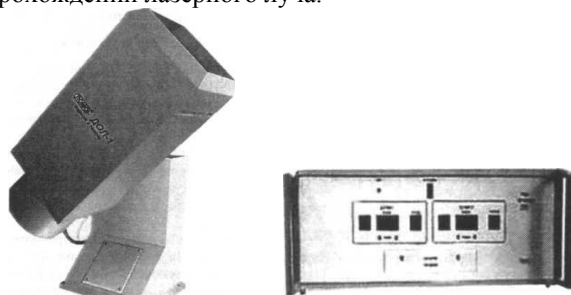


Рис. 5.8. Датчик и пульт управления ДОЛ-1

ДОЛ-1 состоит из датчика высоты нижней границы облаков и пульта управления (рис. 5.8). Твердотельный лазер с диодной накачкой и длиной волны луча 1060 нм — основа датчика. Высокочувствительный приемник отраженных лазерных импульсов и защита от помех обеспечивают достоверное измерение высоты облачных слоев без статистической обработки каждой серии лазерных импульсов. Пульт управления имеет два цифровых табло и обеспечивает индикацию с датчиков. Цифровые методы обработки и передачи измерительных сигналов от датчика к пульта управления обеспечивают дистанционные измерения высоты нижней границы облаков. Дистанционность передачи измерительных сигналов по проводной линии связи — до 8 км. Диапазон измерения высоты нижней границы облаков составляет 10-3000 м. Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения в диапазоне 10-100 м  $\pm 10$  м, 100-3000 м —  $\pm(0,05h + 5)$  м. Размеры датчика составляют 470×590×1200 мм, масса — 84 кг.

## ГЛАВА 6. ВИДИМОСТЬ

Вопросам наблюдения, оценки и измерения видимости в атмосфере посвящено много исследований. Благодаря им введены термины и определения, характеризующие оценку дальности видимости в атмосфере: видимость, дальность видимости, метеорологическая дальность видимости, метеорологическая оптическая дальность, дальность видимости на ВПП, наклонная дальность видимости. Однако определения этого термина неоднозначны, например: видимость — максимальное расстояние, с которого видны и опознаются несветящиеся объекты днем и световые ориентиры ночью. В дневное время это наибольшее расстояние, в пределах которого может быть виден и опознан черный предмет соответствующих размеров, расположенный у земли и наблюдаемый на фоне тумана или неба; в ночное время это наибольшее расстояние, в пределах которого могут быть видны и опознаны огни умеренной интенсивности. При инструментальных измерениях под видимостью понимается метеорологическая дальность видимости, т.е. максимальное расстояние, обычно по горизонтали, при котором становится видимым источник света или объект при определенных значениях коэффициента пропускания и яркости фона.

Термин «метеорологическая дальность видимости» введен в руководящие документы гидрометеорологической службы для обеспечения единства наблюдений за видимостью в атмосфере при отсутствии приборных (инструментальных) измерений. Первоначально этот термин имел следующее определение: метеорологической дальностью видимости называется то наибольшее расстояние, на котором в светлое время суток на фоне воздушной дымки виден абсолютно черный объект достаточно больших размеров (более 15 угловых минут). В соответствии с этим определением были установлены правила выбора естественных ориентиров видимости или установки искусственных ориентиров. Из определения, приведенного выше, следует, что метеорологическая дальность видимости оценивается только днем. Необходимость измерения дальности видимости в течение суток и внедрение инструментальных методов привели к изменению определения: под метеорологической дальностью видимости (МДВ) понимается наибольшее расстояние, при котором яркостной контраст черной поверхности на фоне максимальной атмосферной дымки или тумана достигает порогового значения, воспринимаемого глазом (0,05).

Наряду с МДВ существует еще одна характеристика прозрачности атмосферы — метеорологическая оптическая дальность МОД ( $S_0$ ), под которой понимается длина пути светового потока в атмосфере, на

котором он ослабляется до 0,05 его первоначального значения. Отождествление метеорологической дальности видимости с метеорологической оптической дальностью некорректно, так как метеорологическая дальность видимости на сети гидрометеорологической службы России определяется (наблюдается) визуально по выбранным ориентирам (объектам днем, источникам света ночью), а метеорологическая оптическая дальность измеряется приборами. Определение термина «метеорологическая оптическая дальность» (Meteorological Optical Range, MOR) дано в рекомендациях ИКАО, как длины пути светового потока в атмосфере с коэффициентом пропускания 0,05. Отношение между метеорологической оптической дальностью и показателем ослабления выражается так:  $MOR = 3/\sigma$ . Оптическая прозрачность атмосферы выражается коэффициентом пропускания атмосферы ( $\tau$ ) или показателем ослабления ( $\sigma$ ).

Значения МДВ, полученные при визуальных наблюдениях, и МОД (MOR), полученные при инструментальных измерениях, близки при условии наличия достаточного числа ориентиров видимости и однородности атмосферы, в которой они определялись. МОД (MOR) в отличие от МДВ связана с коэффициентом пропускания однозначной зависимостью и не зависит от пороговой чувствительности глаза метеонаблюдателя. Расхождения между МДВ и МОД (MOR) в условиях реальной атмосферы в диапазоне от 1 до 6 км составляют около  $\pm 25\%$ , а среднее квадратическое отклонение равно 10 %.

Термин «дальность видимости на ВПП (RVR)» определяется одинаково во всех документах: «Расстояние, в пределах которого пилот воздушного судна, находящегося на осевой линии ВПП, может видеть маркировочные знаки на поверхности ВПП или огни, которые ограничивают ВПП или обозначают ее осевую линию». Дальность видимости на ВПП (RVR) определяется из вычисленной дальности видимости огней аэродромной светосигнальной системы и метеорологической оптической дальности. В случаях, когда дальность видимости огней аэродромной светосигнальной системы меньше метеорологической оптической дальности, за RVR принимается метеорологическая оптическая дальность или метеорологическая дальность видимости.

**Наблюдения за МДВ (визуальные).** Визуальные наблюдения за видимостью в атмосфере производятся по ориентирам видимости: объектам, щитам, одиночным огням и огням светосигнальных систем.

В качестве ориентиров видимости для дневных наблюдений используются объекты, расположенные вокруг пункта наблюдений, или специально устанавливаемые щиты-ориентиры видимости. Объекты на местности, используемые для визуальных наблюдений, должны удов-

летворять требованиям, вытекающим из определения термина МДВ: быть достаточно темными и в течение года возможно меньше менять свою яркость; проектироваться на фоне неба у горизонта; должны быть видны с места наблюдения под углом не более  $5-6^\circ$  к горизонтальной поверхности; угловые размеры объектов с места наблюдения должны составлять не менее  $0,5^\circ$ , в крайнем случае не менее  $15'$ ; вблизи объектов и на линии их наблюдения не должно быть локальных источников помутнения (пыльных дорог, дымящихся труб). В качестве ориентиров наиболее подходящими являются следующие объекты: хвойный лес, лиственный лес, травяные холмы с ровным контуром, старые почерневшие бревенчатые строения, крупные строения из красного кирпича, строения из светло-серого кирпича.

Щиты-ориентиры видимости устанавливаются вдоль ВПП на участке от СДП (стартовый диспетчерский пункт) к середине ВПП на расстояниях 400, 800, 1000, 1500, 2000 м и на других расстояниях, соответствующих минимумам аэродрома (направления посадки), указанным в инструкции по производству полетов, но не более 2000 м от СДП. Размеры щитов-ориентиров видимости должны быть не менее  $1,5 \times 1,3$  м при установке на расстоянии до 800 м;  $2,5 \times 2,0$  м при установке на расстоянии от 800 до 1500 м;  $3,0 \times 2,0$  м при установке на расстоянии более 1500 м. Щиты-ориентиры видимости должны быть черно-белыми в виде четырех расположенных в шахматном порядке клеток, если они с места наблюдения проектируются на возвышенность, горы, лес и другие объекты, или черными, если они проектируются с места наблюдения на фон неба.

Для определения метеорологической дальности видимости в темное время суток на щитах-ориентирах устанавливаются одиночные источники света (электролампочки мощностью 60 Вт) с посекционным или раздельным включением с места наблюдения. При отсутствии щитов-ориентиров видимости или в дополнение к ним на местности выбираются одиночные огни умеренной интенсивности. Запрещается в качестве световых ориентиров использовать светящиеся окна, красные сигнальные огни, фонари, установленные в плафонах из молочного стекла, прожекторы и фонари с рефлекторами, а также групповые огни. Выбранные в качестве ориентиров видимости объекты и одиночные огни должны наноситься на схему ориентиров видимости в соответствии с расположением их по горизонту и удалению. На схеме указывается расстояние до ориентира и азимут (рис. 6.1).

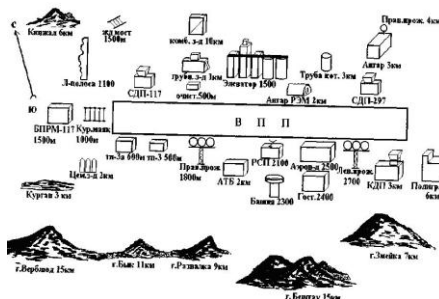


Рис. 6.1. Схема ориентиров видимости

При проведении визуальных наблюдений за видимостью в атмосфере (определении МДВ) необходимо выполнять следующие рекомендации:

- глаза наблюдателя должны находиться на высоте 1,5–10,0 м от поверхности земли. Наблюдатели, которые проводят визуальные наблюдения за видимостью в атмосфере, должны иметь остроту зрения 1,0 на каждый глаз (возможна коррекция) и проходить ежегодную проверку зрения;

- наблюдения должны проводиться по всем направлениям горизонта. Выйдя на место наблюдений, наблюдатель должен последовательно осмотреть все ориентиры видимости, начиная с самого ближнего, и определить, какие из них видны и какие не видны. Видимым считается ориентир, который различается на фоне неба или воздушной дымки хотя бы в виде контура. Невидимым считается ориентир, который полностью сливается с фоном неба или воздушной дымки, и наблюдатель не может даже приблизительно определить направление, в котором находится ориентир;

- если ориентир рассматривается не на фоне неба, то наблюдения по нему производятся лишь тогда, когда этот фон полностью скрыт воздушной дымкой. При соблюдении этого условия наблюдения проводятся так, как если бы ориентир проектировался на фоне неба;

- при высокой прозрачности атмосферы (МДВ более 20 км) горизонт виден очень хорошо, так как удаленность горизонта меньше МДВ. Поэтому оценку МДВ следует производить по степени резкости горизонта, при уменьшении прозрачности атмосферы горизонт начинает заменяться и перестает быть различимым;

- для оценки видимости в атмосфере ночью по световым ориентирам наблюдатель должен быть вне освещенного помещения (для адаптации глаз) в течение не менее 10 мин.;

– наблюдатель с места наблюдения по световым ориентирам должен последовательно просмотреть все выбранные огни (световые ориентиры) и определить наиболее удаленный видимый ориентир. К числу видимых световых ориентиров относятся только те, огонь которых виден как светящаяся точка. Если огонь представляется как расплывчатое светлое пятно, он считается невидимым;

– при отсутствии для оценки МДВ в темное время суток достаточного числа световых ориентиров видимости оценка МДВ производится с учетом интенсивности атмосферных явлений, ухудшающих видимость. За 1–2 ч. до захода солнца МДВ определяется по дневным ориентирам видимости. Эта оценка МДВ распространяется и на ночь, если ко времени проведения наблюдений ночью нет изменений в интенсивности атмосферных явлений, понижающих прозрачность атмосферы. Если за 1–2 ч. до захода солнца наблюдались атмосферные явления, ухудшающие МДВ, а к моменту ночного наблюдения они прекратились и никаких других атмосферных явлений, понижающих прозрачность атмосферы, не наблюдается, то МДВ оценивается такой, какая она была до наступления явлений, понижающих прозрачность атмосферы;

Таблица 6.1

Шкала оценки МДВ по плотности воздушной дымки на объекте

Степень плотности	Характеристика видимости объекта	Соотношение МДВ с расстоянием до объекта $l$
0	Дымка на объекте отсутствует; цвет и детали объекта видны отчетливо	$МДВ > 10l$
1	Объект отчетливо виден на фоне неба как темно-серый силуэт; воздушная дымка на объекте такова, что его отдельные детали не воспринимаются, а цвет трудно распознать	$МДВ > 5l$
2	Объект покрыт очень сильной воздушной дымкой, но по яркости очевидно темнее неба	$МДВ > 2,5l$
3	Объект виден как силуэт, легко обнаруживаемый, но мало отличающийся по цвету и яркости от неба	$МДВ > 1,5l$
4	Объект едва различим, обнаруживается с трудом, легко теряется из вида при наблюдении сквозь покрывающую его воздушную дымку	$МДВ = l$



– в сумерки, во время белых ночей на севере и в ясные лунные ночи видны дневные ориентиры, однако МДВ по ним определять (оценивать) нельзя, так как при этом МДВ будет заниженной. В таком случае можно лишь сделать заключение, что МДВ будет больше, чем расстояние до видимого дневного ориентира (объекта).

На станциях, где невозможно установить полный комплект щитов-ориентиров или подобрать достаточное число ориентиров видимости, может применяться метод оценки МДВ по шкале оценки плотности воздушной дымки на объектах. Шкала оценки плотности воздушной дымки дана в табл. 6.1. При оценке МДВ по таблице следует учитывать, что видимость может быть оценена правильно тогда, когда расстояние до щита-ориентира или ориентира видимости ( $l$ ) равно или близко к МДВ. Численное значение  $\text{МДВ} > (10-1,5)l$  получается только методом распространения (экстраполяции) за пределы базы ( $l$ ). Такая экстраполяция видимости справедлива в том случае, когда атмосфера однородная. Поэтому желательно иметь и использовать несколько ориентиров в разных направлениях и на разных расстояниях.

На площадках, где отсутствуют ориентиры видимости (пустыни, степи), оценку МДВ можно производить по наблюдениям за горизонтом. При этом следует руководствоваться сведениями, представленными в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Характеристики МДВ при различных условиях и высоте расположения глаз наблюдателя над поверхностью земли от 1,5 до 7,0 м

Словесная характеристика видимости горизонта	МДВ, км
Очерчен резко	> 20
Очерчен нерезко	10–20
Виден неясно	< 10
Не виден совсем	< 4

При высокой прозрачности атмосферы и МДВ более 20 км горизонт виден хорошо, так как его удаленность существенно меньше значения МДВ, т.е. МДВ распространяется за пределы видимого горизонта. При уменьшении прозрачности атмосферы горизонт начинает затуманиваться и перестает быть различимым, т.е. значение МДВ становится меньше дальности горизонта. Точность определения МДВ зависит от числа выбранных ориентиров видимости и расстояния между ними. Точность оценки МДВ по ориентирам видимости, выбранным

на местности, в среднем составляет  $\pm 1$  км в диапазоне от 2 до 4 км и  $\pm 2$  км в диапазоне от 4 до 10 км. Определение МДВ по ориентирам видимости является вспомогательным методом.

### 6.1. Методы измерения видимости

**Метод измерения фотометрами (базисный метод).** В современных средствах измерения МОД производится измерение коэффициента пропускания ( $\tau$ ) в слое атмосферы, соответствующем измерительной базе ( $l$ ) или показателю ослабления ( $\sigma$ ). Измерение коэффициента пропускания ( $\tau$ ) производится при использовании базисного метода (метод фотометрирования). При этом применяются два варианта реализации базисного принципа измерения (трансмиссометры, фотометры):

- двухконечный, когда передатчик (излучатель световых сигналов) устанавливается на одном конце базы, а приемник — на другом;
- одноконечный, когда передатчик и приемник находятся на одном конце базы, а отражатель светового потока, выходящего из передатчика, — на другом.

Для измерения МОД применяются оба варианта. Имеются приборы, использующие оба варианта, например фотометр ФИ-2. Перевод коэффициента пропускания ( $\tau$ ) в величину видимости в атмосфере, т.е. в метеорологическую оптическую дальность МОД (MOR), производится по формуле Кошмидера, вытекающей из закона Буге:

$$МОД = l \frac{\ln 1/\varepsilon}{\ln 1/\tau}, \quad (6.1)$$

где  $l$  — длина пути светового луча в слое атмосферы,  $\varepsilon$  — порог контрастной чувствительности глаза. Порог контрастной чувствительности глаза ( $\varepsilon$ ) — наименьший яркостный контраст, который позволяет визуально опознать объект с приемлемой степенью четкости (безразмерная величина). Порог контрастной чувствительности глаза ( $\varepsilon$ ) при наблюдениях в дневное время лежит в пределах 0,02–0,05; при этом его наиболее вероятное значение при остроте зрения наблюдателя, равной единице (1,0), находится в пределах 0,02–0,03. Международная организация гражданской авиации для обеспечения единства измерений МОД рекомендовала использовать при метеорологическом обеспечении гражданской авиации  $\varepsilon = 0,05$ . Выбор завышенного значения нормированного порога контрастной чувствительности глаза обусловлен требованиями обеспечения сопоставимости визуальных наблюдений за видимостью в атмосфере и метеорологической оптической дальности (МОД).

При пороге контрастной чувствительности глаза  $\varepsilon = 0,05$  формула (6.1) принимает вид

$$МОД = l \frac{\ln 20}{\ln 1/\tau}. \quad (6.2)$$

Формула (6.2) принята за основу при расчетах таблиц перевода коэффициента пропускания в МОД. Для достижения требуемой точности измерения и диапазона измерения МОД, соответствующего минимуму аэродрома, следует выбирать оптимальную длину измерительной базы и прибор, обеспечивающий достаточно точное измерение коэффициента пропускания. Погрешность измерения МОД зависит от точности измерения коэффициента пропускания ( $\tau$ ) и длины измерительной базы. При точности измерения коэффициента пропускания не хуже  $\pm 1\%$  и длине измерительной базы 75 м предел допускаемой погрешности измерения МОД (MOR) составляет:  $\pm 5\%$  в диапазоне 50–150 м,  $\pm 3\%$  в диапазоне 150–450 м,  $\pm 5\%$  в диапазоне 450–1500 м,  $\pm 10\%$  в диапазоне 1500–3000 м.

**Метод измерения с использованием приборов рассеяния (нефелометрический метод).** Принцип измерения МОД нефелометрами, измеряющими показатель ослабления, вытекает из закона Буге-Ламберта, выражаемого соотношением  $\tau = \exp(-\sigma \cdot l)$ , где  $\tau$  — коэффициент пропускания на базе  $l$ ,  $\sigma$  — показатель ослабления. МОД определяется для однородных условий как  $0,05 = \exp(-\sigma \cdot \text{МОД})$ , или  $\text{МОД} = \ln 0,05/\sigma$ . Для коэффициента контрастной чувствительности глаза  $0,05 \text{ МОД} = 3/\sigma$ .

Нефелометрический метод измерения МОД основан на оценке показателя ослабления  $\sigma$ , характеризующего полное рассеяние во всех направлениях по отношению к зондирующему лучу света. При нефелометрических измерениях определяется только некоторая величина рассеяния в одном направлении ( $\rho$ ) под углом, близким к  $45^\circ$ . Для углов, близких к этому значению, установлена связь  $\frac{\rho(45^\circ)}{\sigma} = 1,45$ .

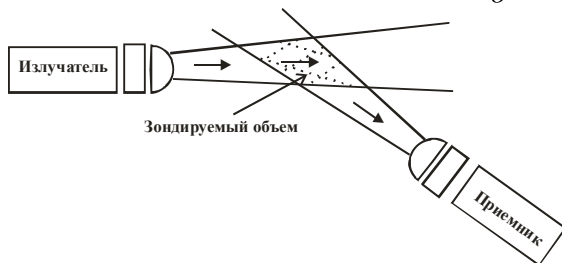


Рис. 6.2. Принцип прямого рассеяния

Для измерения показателя ослабления используются следующие типы приборов: бокового рассеяния; приборы прямого рассеяния; обратного рассеяния. Прибор бокового рассеяния зондирует объем воздуха, освещенный источником света, рассеянный от объема или внутри луча. Прибор прямого рассеяния представляет собой излучатель света (передатчик) и приемник, направленный оптической осью обычно под углом  $30\text{--}45^\circ$  друг к другу (рис. 6.2).

Прибор обратного рассеяния аналогичен по принципу действия прибору прямого рассеяния. Отличие заключается в том, что приемник зондирует свет, рассеянный в обратную сторону (рис. 6.3).

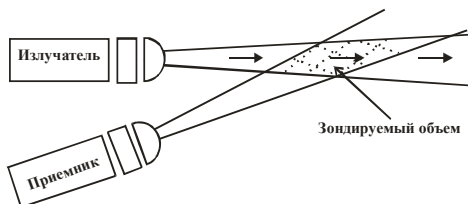


Рис. 6.3. Принцип обратного рассеяния

Инструментальные методы наблюдения за видимостью в атмосфере позволяют более объективно оценить дальность видимости, так как они обеспечивают непрерывность измерения МОД, ее регистрацию. Базисный метод позволяет зондировать больший объем атмосферы, и, следовательно, обеспечивает объективную оценку дальности видимости. Нефелометрический метод измерения МОД стал применяться тогда, когда были созданы надежные нефелометрические средства.

## 6.2. Датчики измерения видимости

### *Датчик метеорологической оптической дальности LT31.*

Датчик МОД LT31 измеряет коэффициент пропускания однобазовым двухконечным трансмиссометром на измерительной базе длиной 30 м и коэффициент рассеяния прибором прямого рассеяния. Принципы измерения MOR трансмиссометрами и приборами прямого рассеяния описаны выше. Комбинирование (сопряжение) трансмиссометра и прибора прямого рассеяния позволяет расширить диапазон измерения MOR (20–10000 м), обеспечивая измерение с погрешностью не более  $\pm 10\%$  во всем диапазоне измерения. Трансмиссометр, входящий в датчик МОД LT31, обеспечивая измерение коэффициента пропускания с погрешностью, не превышающей  $\pm 1\%$ , измеряет МОД с погрешно-

стью, не превышающей  $\pm 7\%$ , в диапазоне 50-1500 м. Датчик прямого рассеяния PWD, входящий в состав датчика LT31, обеспечивает измерение МОД в диапазоне 10–10000 м с общей средней погрешностью измерения  $\pm 10\%$ . Таким образом, верхний предел диапазона измерения МОД датчиком LT31 составляет 10 км.

*Преимущества датчика.* Во всех трансмиссометрах (фотометрах) калибровка в верхней части диапазона измерения МОД производится вручную при дальности видимости 10 км и более. В датчике LT31 благодаря наличию сопряженного с трансмиссометром прибора прямого рассеяния PWD производится автоматическая проверка калибровки и юстировка трансмиссометра при значении МОД, равном 1500 м и более. Погрешность измерения MOR прибором PWD остается постоянной ( $\pm 10\%$ ) во всем диапазоне (20–10000 м). Одним из главных условий, обеспечивающих точность измерения коэффициента пропускания трансмиссометрами, является точное совпадение оптических осей приемника и передатчика. В датчике MOR LT31 обеспечена постоянная проверка и при необходимости автоматическая юстировка передатчика и приемника. Прозрачность окон передатчика и приемника с целью оценки загрязненности измеряется специальным устройством. Конструкция мачт создает надежную защиту оптических элементов от воздействия солнечного света, ветра, осадков. В главном передатчике трансмиссометра используется мощный источник белого света на современном светодиоде LT31, спектральная характеристика которого согласуется со спектральной чувствительностью человеческого глаза, что обеспечивает достоверные измерения МОД.

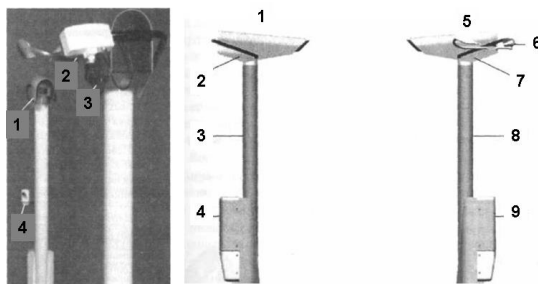


Рис. 6.4. Датчик LT31 и схема

В состав датчика MOR LT31 (рис. 6.4) входят трансмиссометр, который состоит из передатчика светового сигнала (3) и приемника этого сигнала (1), прошедшего слой атмосферы, соответствующий

длине измерительной базы 30 м; датчик прямого рассеяния PWD (2), устанавливаемый на кронштейне; датчик яркости фона LM21 (4).

Трансиссометр, входящий в датчик MOR, состоит из передатчика (5) измерительного луча и приемника (1) измерительного луча. Передатчик измерительного луча LTT111 (5) состоит из следующих частей: мачты (8); интерфейсного блока LTI111 (9) с клеммами питания и связи; основания с установленными на нем вентилятором, защитным кожухом, держателем, крышкой измерительного блока; измерительного блока, в который входят оптический блок с механизмом юстировки, центральный процессор (ЦП) LTC111, модуль главного передатчика LTL111 и модуль оконного передатчика LTL211; датчика прямого рассеяния PWD (6). В состав приемника измерительного луча LTR111(1) входят мачта (3); интерфейсный блок LTI211 (4), который состоит из блока электропитания, клемм и главного центрального процессора LTC211; основание с вентилятором, защитным кожухом, держателем, крышкой измерительного блока; измерительный блок LTM211 (2), в который входят корпус с оконным обогревателем и крышкой корпуса с воздухопроводом, оптический блок с механизмом юстировки, измерительный центральный процессор, модуль главного приемника и модуль оконного передатчика; датчик яркости фона LM21. Большинство блоков, модулей и конструктивных частей передатчика LTT111 и приемника LTR111 датчика МОД LT31 имеют одно и то же назначение и устройство.

Мачта предназначена для установки измерительных, интерфейсных блоков и других конструкций так, чтобы измерительный луч, идущий от передатчика к приемнику, находился на высоте 2,5 м. Основание, закрепляемое на верхнем обрезе трубы мачты, предназначено для монтажа вентилятора, измерительной головки и ее крышки. Мачта состоит из двух труб. Нижней частью она крепится к бетонному фундаменту. К внутренней трубе в верхней части крепится измерительный блок передатчика и приемника, а также основание с вентилятором, защитой измерительного блока. Все соединительные кабели между измерительным блоком и интерфейсным блоком проходят между трубами. Разница мачт, предназначенных для установки передатчика и приемника, состоит в том, что на держателе мачты передатчика имеется крепежный фланец для датчика прямого рассеяния PWD.

Измерительный блок (передатчика и приемника) (рис. 6.5) состоит из следующих частей: корпуса с крышкой и воздухопроводом (2); окна (3) и оконного подогревателя (1); оптического блока (1) с платой измерительного центрального процессора (5), модулем оконного передатчика (2), модулем главного передатчика (6) для измерительной го-

ловки передатчика или модулем главного приемника для измерительной головки приемника, оптической трубой (4) и механизмом юстировки.

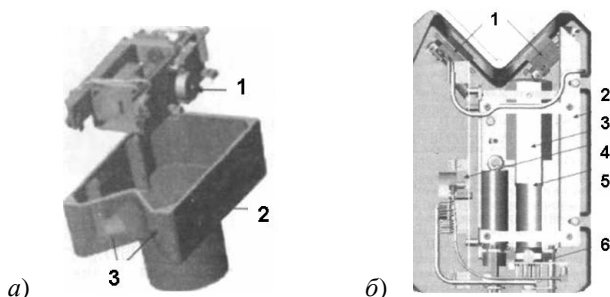


Рис. 6.5. Измерительный блок (а) и он же раскрытый (б) (см. выше описание измерительного блока)

Оптический блок передатчика трансмиссометра LTO111 (рис. 6.6) состоит из шасси с механизмом юстировки, оптической трубы и оптики (1); модуля оконного передатчика (2); измерительного ЦП, включая оконный приемник (3); модуля главного передатчика (4). Оптический блок приемника состоит из шасси с механизмом юстировки, оптической трубы и подвесной оптики (1); модуля оконного передатчика (2); измерительного ЦП (5); модуля главного приемника (4). Модуль главного передатчика LTL111 крепится на оптической трубе оптического блока одним винтом и соединяется с измерительным ЦП двумя разъемами. В модуле главного передатчика находится мощный светодиод, являющийся источником белого света, и оптический пленочный диффузор, обеспечивающий однородное рассеяние света. Источник света модулируется частотой около 1 Гц, генерируемой измерительным ЦП.

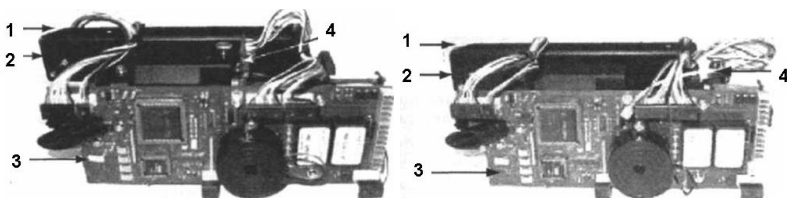


Рис. 6.6. Оптический блок передатчика LTO111 и приемника LTO21

Модуль главного приемника LTD111 устанавливается на оптической трубе блока оптики передатчика и приемника трансмиссометра.

Он соединен с измерительным ЦП кабелем. В модуле главного приемника в качестве приемника света используется PIN диод. Перед фотодиодом установлен оптический фильтр для сближения спектральной характеристики излучаемого света со спектральной чувствительностью человеческого глаза. Первичный измерительный сигнал, генерируемый детектором и предварительным усилителем, усиливается узкополосным усилителем. После этого сигнал передается на синхронный демодулятор, который управляется тактовым генератором модуляции основного передатчика. Схема измерительного ЦП преобразует аналоговый сигнал в цифровой, затем он поступает в модуль главного приемника. При такой технологии достигается оптимальное соотношение сигнал/шум. Измерительный центральный процессор LTC111 (рис. 6.7) предназначен для управления измерительной системой передатчика и приемника. Аппаратный и программный компоненты передатчика и приемника одинаковые. Центральный процессор автоматически определяет, в какой среде он работает — передатчика или приемника, и в соответствии с этим выбирает конфигурацию программного обеспечения. В состав модуля измерительного ЦП входят центральный процессор; FLASH память; интерфейс RS-485; пьезосигнализатор; оконный приемник; источник питания.

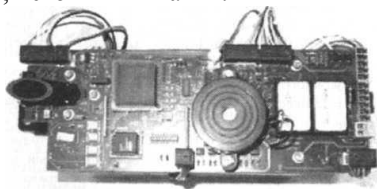


Рис. 6.7. Модуль измерительного ЦП LTC111

Датчик прямого рассеяния PWD устанавливается на кронштейне передатчика измерительного луча трансмиссометра и является дополнительным средством измерения метеорологической оптической дальности в датчике LT31. Датчик прямого рассеяния PWD (рис. 6.8) предназначен для измерения MOR в диапазоне 10–10000 м с погрешностью  $\pm 10\%$ ; проверки калибровки трансмиссометра и осуществления его автоматической юстировки; обеспечения общей самодиагностики датчика; автоматического распознавания семи типов осадков (дождь, переохлажденный дождь, морось, переохлажденная морось, снег с дождем, снег, ледяная крупа). Схема датчика прямого рассеяния PWD представлена на рис. 6.10. Датчик прямого рассеяния PWD состоит из передатчика света (1), контроллера-приемника рассеянного света (2), датчика осадков RAINCAP (3), трубки датчика температуры Pt 100 (4),



крепежного хомута (5), дополнительных обогревателей кожухов передатчика и приемника (6).

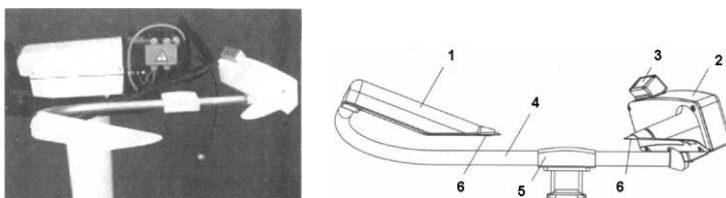


Рис. 6.8. Датчик прямого рассеяния PWD и его схема

Датчик яркости фона LM21 необходим в случаях, когда измеритель LT31 используется в системах определения дальности видимости на ВПП. Датчик яркости фона LM21 измеряет фоновую освещенность в северной части горизонта под углом около  $20^\circ$ , затем она переводится в пороговую освещенность, по которой вычисляется дальность видимости огней аэродромных светосигнальных систем  $\lg(E_p) = 0,571\lg(L) + 0,05[\lg(L)]^2 - 6,66$ , где  $E_p$  — пороговая освещенность (лк);  $L$  — фоновая освещенность (яркость) неба у горизонта в противоположном от солнца направлении (кд/м<sup>2</sup>). Датчик яркости фона LM21 крепится к кронштейну, укрепленному на мачте приемника трансмиссометра.

Измерительный ЦП LTC111 и его программное обеспечение выполняют следующие главные задачи: сбор первичных данных и вычисление осредненных за 5 с. измеренных значений; распространение данных по команде главного ЦП; выполнение действий по команде главного ЦП; контроль за оконными обогревателями; загрузка программного обеспечения. Функции главного центрального процессора LTC111 заключаются в следующем: выполнение всех расчетов и алгоритмов; выдача отчета о самопроверке и статусе, а также о наличии отказов; обеспечение главного интерфейса; обеспечение служебного и пользовательского интерфейса. Датчик LT31 — полностью автоматизированное измерительное устройство, передача измерительных сигналов и управление работой датчика производятся автоматически через ПЭВМ, сообщения о метеорологической оптической дальности и яркости фона передаются автоматически или по запросу. Отображение и регистрация измеряемой МОД и яркости фона производятся на экране дисплея ПЭВМ, к которой подключен датчик. На экране дисплея ПЭВМ отображаются и записываются в архив следующие данные: метеорологическая оптическая дальность (MOR), скользяще осреднен-

ная за истекшую 1 мин., в метрах (м); яркость фона (фоновая освещенность) в канделах на квадратный метр (кд/м<sup>2</sup>); семь типов осадков (дождь, переохлажденный дождь, морось, переохлажденная морось, снег с дождем, снег, ледяная крупа); сообщения о статусе датчиков MOR и яркости фона, включая информацию о сбоях и отказах системы LT31.

Диапазон измерения метеорологической оптической дальности (MOR) датчиком MOR LT31 составляет 10–10000 м. Предел допускаемой погрешности измерения MOR:  $\pm 10\%$  в диапазонах 10-50 и 1500-10000 м;  $\pm 7\%$  в диапазоне 50-1500 м при длине измерительной базы 30, 50 и 75 м. Измерения яркости фона (фоновой освещенности) производятся в диапазоне 4-30 000 кд/м<sup>2</sup>, предел допускаемой погрешности измерения  $\pm 10\%$ . Выдаваемые значения MOR скользяще осреднены за истекшую 1 мин. Дистанционность передачи выходных измерительных сигналов, передаваемых в цифровом коде ASCII, не менее 8 км. Датчик MOR LT31 (передатчик и приемник) имеет следующие габаритные размеры и массу: высота 2685 мм, ширина 420 мм, глубина 1022 мм, масса передатчика LTT111 85 кг, масса приемника LTR111 82 кг. Проверка производится по методикам поверки трансмиссометров, измерителей прямого рассеяния и датчиков яркости фона органами Госстандарта России или другими организациями, аккредитованными Росстандартом.

***Измеритель дальности видимости ФИ-3.*** Измеритель дальности видимости ФИ-3 разработан и серийно выпускается Ленинградским оптико-механическим объединением (г. С.-Петербург). Описание измерителя дальности видимости (ИДВ) ФИ-3 изложено в руководстве эксплуатации. ФИ-3 предназначен для непрерывных дистанционных измерений метеорологической оптической дальности путем непосредственного измерения коэффициента пропускания на измерительной базе 100 и 200 м. Работа ИДВ ФИ-3 основана на принципе трансмиссометра, совмещающего двухконечный и одноконечный варианты, и является модернизацией фотометра импульсного ФИ-2. Основное преимущество — повышение точности измерения метеорологической оптической дальности за счет уменьшения предела погрешности измерения коэффициента пропускания. Погрешность измерения метеорологической оптической дальности составляет  $\pm 10\%$  на 70–150 м,  $\pm 7\%$  — 150–1300 м,  $\pm 10\%$  — 1300–2200 м.

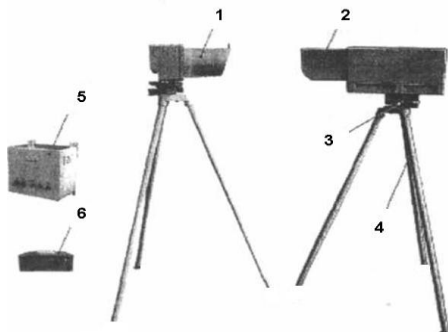


Рис. 6.9. Общий вид ИДВ ФИ-3

ИДВ ФИ-3 состоит из следующих блоков и устройств (рис. 6.9): блок фотометрический, БФ (2); блок отражательный, (БО) (7); блок индикации, БИ (6); щит сетевой, ЩС (5); тренога (4); подставка (3); комплект кабелей; монтажных частей; нейтральных светофильтров и комплект запасных частей. Фотометрический блок является основной частью ФИ-3, где находятся импульсная лампа (СШ-20), излучающая световые импульсы длительностью 2 мкс, модуль измерительный, производящий прием и измерение посланных, отраженных от БО световых импульсов и преобразование их в аналоговый сигнал с передачей в блок индикации. Оптическая схема формирует измерительный и опорный сигналы. Измерительный сигнал поступает на фотоприемник ФПУ-3, а опорный — на ФПУ-2. Процессорный модуль вычисляет коэффициент пропускания атмосферы после преобразования сигнала в измерительном модуле и заносит его в память процессора. Значение коэффициента пропускания преобразуется в аналоговый сигнал и поступает на блок индикации, где происходит преобразование тока, проходящего по двухпроводной линии связи, с последующей оцифровкой и вычислением МОД, которая высвечивается на индикаторе. Модуль питания импульсной лампы состоит из модуля питания и панели, включающей выпрямитель, цепи формирования основного разряда и цепи формирования поджига. Блок индикации (рис. 6.12) представлен в прямоугольном корпусе, на передней панели находятся тумблер режима работы; коммутатор подключения фотометрических блоков (2); тумблер режима автоматике (3); индикаторы включения измерительных баз (4); цифровое табло (5). В блок измерительный индикаторного блока входят: модуль индикации, предназначенный для отображения измеренных значений МОД, который состоит из четырехзначного семисегментного светодиодного индикатора с динамическим управлени-

ем от микропроцессора; процессорное устройство, предназначенное для преобразования измерительного сигнала в МОД, и цифровой код для передачи в АМИС; блок питания линии связи для подачи управляющих сигналов; преобразователь, преобразующий измерительный сигнал для управления самописцем. Блок отражательный предназначенный для отражения светового сигнала, поступившего от передатчика смонтирован в корпусе, в котором находятся четыре призмы; фотоприемный модуль; обогреватели против обмерзания приемной оптики.



Рис. 6.10. Индикатор ФИ-3

Фотометрический блок имеет два информационных канала связи с отражательным блоком. В одном канале связь осуществляется через слой атмосферы, который представляется в виде цилиндрического объема воздуха, где производится измерение коэффициента пропускания светового импульсного луча от блока фотометрического до отражателя и обратно. В другом канале информационная связь осуществляется также через слой атмосферы в виде цилиндрического объема воздуха, только в направлении отражательного блока, в обратном направлении связь осуществляется через кабель в виде электрического сигнала, вырабатываемого фотоприемником. В фотометрическом блоке имеются два измерительных канала, которые обрабатывают сигналы, поступающие по этим двум каналам, т. е. по длинной и короткой измерительным базам. Результаты измерений поступают по двухпроводной линии связи в блок индикатора.

Оптическая схема ФИ-3 представлена на рис. 6.11. Она состоит из двух блоков — фотометрического и отражательного. Блок фотометрический включает измерительный канал и канал сравнения. В измерительный канал входят импульсная лампа, конденсор (1), светоделительная пластина (2), объектив (7), защитное стекло (8 и 9), сферическое зеркало (11), пластина (12), зеркальная пластина (13), светофильтры (14 и 15), диафрагма и фотоприемное устройство ФПУ-3. Схема работает следующим образом: световой поток от импульсной лампы направляется конденсором (1), светоделительной пластиной (2) и объективом (7) в виде слабо расходящегося луча через защитные стекла (8 и 9) к четырем отражательным призмам (10) и, отражаясь от

них, составляет измерительный поток (сигнал); светоделительная пластина (2) отражает 50 % светового потока от конденсора (1) на ФПУ-2; возвращенный отражателем блок световой поток снова проходит защитные стекла (9 и 8), падает на сферическое зеркало (11), пластину (12), зеркальную пластину (13), светофильтр (14), фокусируется на диафрагме и, пройдя через светофильтр (15), попадает на ФПУ-3, где фиксируется в качестве измерительного сигнала. Это схема работы ФИ-3 в режиме измерения МОД на длинной измерительной базе (200 м). В режиме короткой измерительной базы (100 м) световой поток, пройдя через конденсор (1), светоделительную пластину (2), объектив (7), защитное стекло (8), через слой атмосферы (толщина которого равна длине измерительной базы 100 м), защитное стекло (9), объектив (16), светофильтры (14 и 15), поступает на ФПУ-1 отражательного блока и принимается в качестве измерительного светового сигнала. Сигнал, преобразованный ФПУ-1 в электрический, по кабелю передается в фотометрический блок.

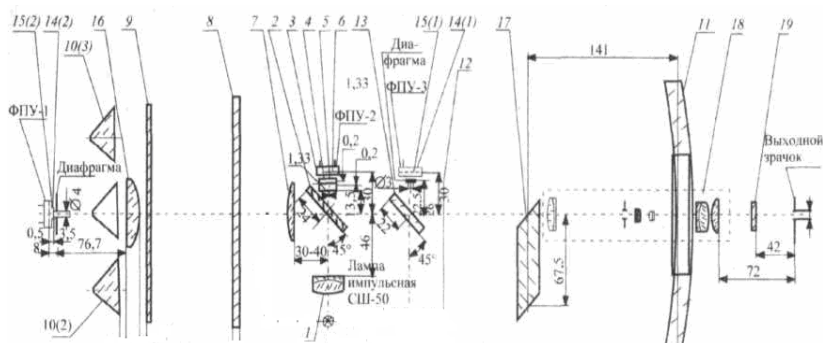


Рис. 6.11. Принципиальная оптическая схема ИДВ ФИ-3

*Характеристики.* ФИ-3 обеспечивает круглосуточное непрерывное измерение МОД в любых метеорологических условиях во все сезоны года, работоспособен при атмосферном давлении от 700 до 1080 гПа. Предел допускаемого значения основной абсолютной погрешности измерения коэффициента пропускания составляет  $\pm 1\%$  в диапазоне от 0 до 50 %,  $\pm 1,2\%$  в диапазоне от 50 до 100 %. Предел допускаемого значения погрешности измерения МОД:

Диапазон, м	60-200	200-400	400-1500	1500-3000	3000-8000
Погрешность, %	$\pm 15$	$\pm 10$	$\pm 7$	$\pm 15$	$\pm 20$

Измеренные значения МОД автоматически осредняются за истекшую минуту и отображаются на лицевой панели блока индикации в цифровом виде. При подключении к средствам регистрации, например, ампервольтметра, регистрирующего Н3092, обеспечивается непрерывная регистрация коэффициента пропускания с дискретностью 1 мин. ФИ-3 относятся к средствам измерения и подлежат государственной поверке или калибровке органами Росстандарта. Поверка ФИ-3 производится при выпуске из производства и в период эксплуатации.

**Датчик видимости FS11.** Датчик видимости FS11 выпускается фирмой Vaisala (Финляндия), является модификацией измерителя видимости FD12. Датчик видимости FS11 предназначен для измерения метеорологической оптической дальности видимости в любое время суток при всех метеорологических условиях. Он сконструирован в качестве датчика MOR в автоматизированных метеорологических аэродромных измерительных системах для определения дальности видимости на ВПП. FS11 — устройство, непосредственно измеряющее прямое рассеяние света частицами, находящимися в определенном освещаемом объеме воздуха. Передатчик излучает инфракрасные импульсы, приемник улавливает рассеянный частицами свет. Интенсивность рассеянного воздушными частицами света измеряется и преобразуется в метеорологическую оптическую дальность с помощью алгоритма, основанного на калибровке датчика видимости FS11 по трансмиссометрам «Mitras».

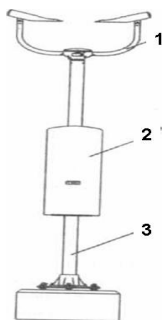


Рис. 6.12. Общая схема датчика видимости FS11

Принцип измерения — прямое рассеяние. Датчик видимости FS11 (рис. 6.12) состоит из измерительного блока (7), интерфейсного блока (2) и мачты (3). Измерительный блок FSM101 включает измерительный контроллер FSC101 и оптическую часть, в которую входят передатчик и приемник с защитными козырьками, оборудованными

встроенным обогревом. Интерфейсный блок FS1101 состоит из коммуникационного контроллера FSC201, основного источника питания, дополнительной модемной платы и резервной батареи электропитания. Мачта состоит из основания, предназначенного для крепления к фундаменту или другой платформе, и штанги. К штанге мачты крепится измерительный блок и корпус интерфейсного блока.

Датчик сконструирован таким образом, что оптические оси приемника и передатчика наклонены вниз и в сторону от мачты. Угол измерения рассеяния составляет  $42^\circ$ . Для защиты от снега, дождя и пыли передатчик и приемник снабжены защитными козырьками со встроенным обогревом. Датчик видимости FS11 является полностью автоматизированным источником информации о результатах измерения метеорологической оптической дальности (видимости) и статусе (состоянии) датчика. Эта информация автоматически передается в компьютер и отображается на экране дисплея ПЭВМ, к которой подключен датчик. Кроме этого, с помощью ПЭВМ производится дистанционное управление датчиком. Набор команд осуществляется на уровне пользователя и на уровне администратора. На уровне пользователя вводятся команды, по которым производится выдача информации в определенных режимах, типах, скоростях, интервалах времени, просмотр списка версий программного обеспечения. Набор команд уровня администратора дает возможность производить ввод команд, позволяющих проверить и установить эталон для контроля загрязнения и контроля сигнала обратного рассеяния окон, установить калибровочное значение дальности видимости, выполнить проверку и процедуру проведения калибровки, ввести поправки на загрязнение стекол датчика (передатчика и приемника) FS11 и датчика яркости фона, включить контроль обогрева, а также включить и отключить обогрев. Блок-схема датчика видимости FS11 представлена на рис. 6.13.

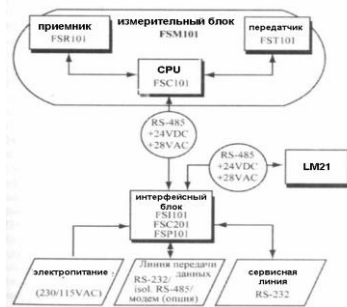


Рис. 6.13. Блок-схема датчика видимости FS11

Передатчик FST101 состоит из инфракрасного светодиода, контрольной и триггерной схем, стабилизатора интенсивности светодиода, приемника прямого рассеяния, схемы контроля загрязненности окна. Электроника передатчика настроена так, что инфракрасный светодиод излучает свет с частотой 2,2 кГц, другой контролирует интенсивность излучаемого света. Дополнительный фотодиод измеряет свет, отраженный от окна, для контроля его загрязненности. Принцип измерения загрязненности окна основывается на определении изменения общего отражения света поверхностью окна. Приемник FSRW1 состоит из чувствительного элемента (светодиода), принимающего рассеянный атмосферой свет, усилителя, фильтра, аналого-цифрового конвертера, схемы измерения загрязненности окна и других контролирующих и синхронизирующих устройств. Фотодиод приемника улавливает (принимает) импульсы света, отражаемые от аэрозольных частиц, находящихся в освещаемом передатчиком объеме воздуха. Напряжение, возбуждаемое в фотодиоде принятыми импульсами света, фильтруется и распознается фазочувствительным синхронизированным с приемником усилителем. Плата контроллера FSC101 состоит из микропроцессора, коммуникационного интерфейса, схемы измерения температуры, схемы безопасности, памяти, схемы мониторинга и контроллера обогрева. Интерфейсный блок FS1101 состоит из основного устройства электропитания, платы коммуникационного контроллера FSC201 и резервной батареи FSB101. Интерфейсный блок питается от сети переменного тока, который преобразуется устройством электропитания и обеспечивает питание измерительного блока, включая обогрев, а также датчика яркости фона LM21. Программное обеспечение датчика настраивается по системным параметрам. Программный код содержит алгоритмы обработки сигналов и временной синхронизации системы. После перезапуска датчика или подключения питания программа инициализирует рабочую структуру данных и считывает системные параметры с флэш-памяти в оперативную память. Программа содержит отдельные задачи, которые выполняются в реальном времени под контролем ядра операционной системы. Программа работает с базой данных, в которой хранятся все измеренные значения. Данные в базе обновляются при выполнении служебной задачи, а сообщения и запросы формируются как отдельная задача. Формирование сигналов тревоги производится на основании информации, собираемой во время измерений.

Датчик FS11 выполняет измерения дальности видимости с 15-секундным интервалом, из которого 14 с. затрачивается на измерение сигнала прямого рассеяния и 1 с. — на проведение диагностики. В



блоке приемника сигнал, поступивший на фотодиод, усиливается и фильтруется с помощью усилителей. Отфильтрованный сигнал распознается фазочувствительным синхронизирующим усилителем и конвертируется в цифровые значения с помощью 16-битового конвертера для дальнейшей обработки. Выполняется расчет коэффициента рассеяния по выборке сигналов, при этом сигналы разделяются на полученные от капель и от других рассеивающих субстанций. Коэффициенты рассеяния рассчитываются отдельно для разных рассеивателей, затем определяется общий коэффициент. Метеорологическая оптическая дальность рассчитывается по суммарному коэффициенту рассеяния.

Измерения метеорологической оптической дальности производятся в диапазоне 5–75000 м. Погрешность измерения метеорологической оптической дальности составляет не более  $\pm 10\%$  в диапазоне 5–10000 м и  $\pm 20\%$  в диапазоне 10000–75000 м. Значения метеорологической оптической дальности представляют собой скользяще осредненные за истекшие 1, 3 и 10 мин. (измеренные за 15-секундные интервал) значения коэффициента прямого рассеяния (показателя ослабления). Источник импульсного света передатчика — инфракрасный светодиод с длиной волны 875 нм. Приемник рассеянного света — фотодиод PIN6D1. Выходные измерительные сигналы выдаются в цифровом коде ASCII через последовательный интерфейс RS-232 или модемную линию. Дистанционность передачи измерительных сигналов по линиям связи составляет до 1200 м при использовании интерфейса, до 10 км при использовании модемной линии. Датчик видимости FS11 работоспособен при температуре от  $-40$  до  $65$  °C, возможна его работоспособность при температуре воздуха от  $-55$  до  $65$  °C, относительной влажности воздуха от 0 до 100 %, скорости ветра до 60 м/с, гололеде, осадках и метелях. Габаритные размеры датчика: высота 2,8 м, длина 0,9 м, ширина 0,5 м.

### **6.3. Средства измерения видимости в атмосфере**

*Фотометры (трансмиссометры)* позволяют выполнять непосредственные измерения коэффициента пропускания (коэффициента прозрачности) атмосферы между двумя точками в пространстве. Они дают оценку среднего показателя ослабления, включая оценку влияния на измерение разброса и поглощения света, и обеспечивают надежную оценку ослабления независимо от типа атмосферных явлений, которые приводят к ухудшению видимости таких, например, явлений, как туман, дождь, снег, пыль. В России и странах СНГ в настоящее время применяются следующие трансмиссометры (фотометры): фотометр

импульсный ФИ-1 (ФИ-1М); фотометр импульсный ФИ-2; измеритель дальности видимости (MISTRAS) производства фирмы Vaisala (Финляндия); трансмиссометр SKOPOGRAF II FLAMINGO производства фирмы Jenoptik Impulsphysik GmbH (Германия)

**Фотометр импульсный ФИ-1** (рис. 6.14) — одноконечный прибор, измерительный световой сигнал проходит путь от передатчика к призмному отражателю и обратно к приемнику. Между призмным отражателем и фотометрическим блоком (20 м) может устанавливаться дополнительный отражатель (ближний). Отражатель призмный (дальний) устанавливается на расстоянии 100 м от фотометрического блока, следовательно, длина пути измерительного луча составляет 200 м, а диапазон измерения МОД при одной измерительной базе составляет 133–8000 м. При двухбазовой системе измерения диапазон измерения МОД составляет 30–6000 м.

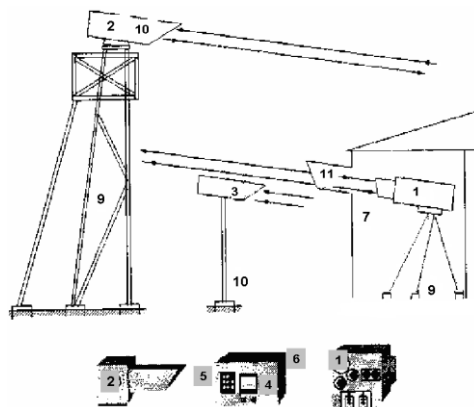


Рис. 6.14. Фотометр импульсный ФИ-1:

1 — блок фотометрический; 2 — отражатель дальний (призмный); 3 — отражатель ближний; 4 (5, 6) — преобразователь, пульт, вольтметр цифровой; 7 — будка защитная для блока фотометрического; 9 — мачта для установки отражателя дальнего на высоте 5 м; 10 — штанга для установки отражателя ближнего; 11 — защитный кожух с жалюзи

Технические характеристики ФИ-1:

– предел допускаемой погрешности измерения коэффициента пропускания нейтральных светофильтров составляет 3%, что соответствует пределу основной допускаемой погрешности измерения МОД;

– фотометр ФИ-1 (ФИ-1М) работоспособен при воздействии окружающей среды с температурой от -60 до 70°C, при относительной

влажности до 100%, вибрации с частотой 20–25 Гц, при ускорении  $19,6 \text{ м/с}^2$  в течение 30 мин.;

– блоки фотометра ФИ-1 (ФИ-1М), размещаемые на открытом воздухе или в неотапливаемых помещениях, работоспособны при температуре окружающего воздуха от  $-50$  до  $50^\circ\text{C}$ , относительной влажности до 100%, при скорости воздушного потока до  $55 \text{ м/с}$ , при инее, росе, снеге, гололеде, пыли, дожде;

– блоки ФИ-1 (ФИ-1 М), устанавливаемые в отапливаемых помещениях, работоспособны при температуре окружающего воздуха от  $5$  до  $50^\circ\text{C}$ , относительной влажности до 100%;

– электропитание — от сети переменного тока напряжением  $220 \text{ В}$  частотой  $50 \text{ Гц}$ . Потребляемая мощность, включая обогрев, не более  $300 \text{ ВА}$ ;

– обеспечена непрерывная (круглосуточная) работа с возможностью непрерывной регистрации с помощью самописца Н-392;

– средний срок службы 10 лет, средняя наработка на отказ  $2000 \text{ ч}$ , среднее время устранения отказа  $2 \text{ ч}$ ;

– ФИ-1 (ФИ-1М) транспортируется всеми видами транспорта, масса не более  $250 \text{ кг}$ ;

– дистанционность передачи сигналов по трехпроводной линии связи длиной до  $8 \text{ км}$ . Передаваемый сигнал аналоговый (от  $0,5$  до  $45 \text{ В}$ ).

**Фотометр импульсный ФИ-2** (рис. 6.15). ФИ-2 является комбинированным трансмиссомером.

Он работает и как одноконечный прибор, когда рабочий луч, излучаемый передатчиком, отражается от призмического отражателя и возвращается к приемнику, находящемуся в одном блоке с передатчиком (в блок фотометрический), и как двухконечный прибор в случае приема рабочего луча, излучаемого передатчиком, приемником, установленным в блоке призмического отражателя. В этом случае ФИ-2 работает по ближней базе (в 2 раза короче дальней). Таким образом, фотометр ФИ-2 является двухбазовым трансмиссомером без дополнительного приемника. Отражатель призмический может устанавливаться на расстоянии  $100$  или  $90 \text{ м}$  от фотометрического блока. В режиме работы одноконечного прибора длина измерительной базы составляет  $200$  или  $180 \text{ м}$ , в то время как для двухконечного прибора длина измерительной базы (короткой) составляет  $100$  или  $90 \text{ м}$ . Переключение с длинной базы на короткую и обратно производится автоматически.

Технические характеристики ФИ-2:

– диапазон измерения и регистрации коэффициента пропускания в атмосфере от  $0$  до  $100 \%$ , предел основной допускаемой погреш-

ности измерения коэффициента пропускания нейтральных светофильтров  $\pm 1,5\%$ ;

– предел основной допускаемой погрешности измерения метеорологической оптической дальности видимости:  $\pm 15\%$  в диапазоне 60–200 м;  $\pm 10\%$  в диапазоне 200–400 м;  $\pm 7\%$  в диапазоне 400–1500 м,  $\pm 10\%$  в диапазоне 1500–3000 м,  $\pm 20\%$  в диапазоне 3000–6000 м;

– фотометр импульсный ФИ-2 работоспособен при воздействии на него окружающей среды с температурой от  $-60$  до  $70^\circ\text{C}$ , относительной влажности до 100 %, вибрации с частотой 20–25 Гц при ускорении  $19,6 \text{ м/с}^2$  в течение 30 мин.;

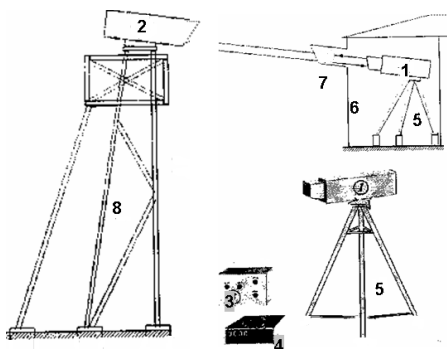


Рис. 6.15. Фотометр импульсный ФИ-2:

- 1 — блок фотометрический; 2 — отражатель призмный (приемник); 3 — щит сетевой; 4 — блок управления и индикации; 5 — тренога; 6 — будка защитная для блока фотометрического; 7 — защитный кожух с жалюзи для блока фотометрического; 8 — мачта для установки отражателя призмного (приемника) на высоте 5 м

– блоки ФИ-2, размещаемые на открытом воздухе или в неотапливаемых помещениях, работоспособны при температуре окружающего воздуха от  $-50$  до  $50^\circ\text{C}$ , относительной влажности до 100 % при скорости воздушного потока (ветре) до 55 м/с, при инее, росе, снеге, пыли, дожде, гололеде;

– блоки ФИ-2, устанавливаемые в отапливаемых помещениях, работоспособны при температуре окружающего воздуха от 5 до  $50^\circ\text{C}$ , относительной влажности до 80 %;

– электропитание ФИ-2 осуществляется от сети однофазного переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц. Потребляемая мощность без обогрева 40 ВА;

- обеспечено круглосуточное измерение и регистрация с помощью самописца Н-392 метеорологической оптической дальности видимости;
- средний срок службы 8 лет, гарантийный срок эксплуатации 2 года;
- ФИ-2 транспортируется всеми видами транспорта, масса не более 100 кг;
- дистанционность передачи измерительных сигналов и управления фотометром до 8 км по трехпроводной линии связи. Передаваемый сигнал аналоговый; имеется блок, обеспечивающий преобразование аналоговых сигналов в цифровой код.

**Измеритель дальности видимости ИДВ-MITRAS** — двухконечный трансмиссометр (рис. 6.16), состоящий из передатчика LP11 и приемника LR11, устанавливаемых на концах измерительной базы, длина которой может составлять 10, 35, 75, 150 и 200 м. ИДВ-MITRAS может работать и на двух измерительных базах, когда между передатчиком LP11 и приемником LR1 устанавливается еще один приемник LR11.



Рис. 6.16. Измеритель дальности видимости MITRAS

Диапазон измерения метеорологической оптической дальности МОД (MOR) зависит от длины измерительной базы и составляет от 7 до 400 м при длине измерительной базы 10 м, от 25 до 1500 м при длине измерительной базы 35 м, от 50 до 3000 м при длине измерительной базы 75 м, от 100 до 6000 м при длине измерительной базы 150 м, от 150 до 8000 м при длине измерительной базы 200 м.

При работе на двух базах диапазон измерения МОД (MOR) составляет: от 7 до 1500 м при базах длиной 10 и 35 м, от 7 до 3000 м при

базах длиной 10 и 75 м, от 7 до 6000 м при базах длиной 10 и 150 м, от 7 до 8000 м при базах длиной 10 и 200 м.

Предел основной допускаемой погрешности измерения коэффициента пропускания нейтральных светофильтров  $\pm 1\%$ . Дополнительная погрешность измерения коэффициента пропускания в рабочих условиях не превышает  $\pm 1\%$ .

Совместно с передатчиком ИДВ-МИТРАС LP11 может устанавливаться датчик яркости фона (фоновой освещенности) LM11. Он обеспечивает измерения яркости фона в диапазоне от 4 до 30000 кд/м с погрешностью не более  $\pm 15\%$ .

Эксплуатационные характеристики ИДВ-МИТРАС:

- блоки, размещаемые на открытом воздухе (LP11, LR11, LM11), работоспособны при температуре окружающей среды от  $-50$  до  $50^\circ\text{C}$ , относительной влажности воздуха от 0 до 100%, скорости воздушного потока (ветре) до 60 м/с, атмосферном давлении от 600 гПа, гололеде со скоростью намерзания льда до 12 мм/ч;

- блоки, устанавливаемые в рабочем помещении (терминал, средства регистрации), работоспособны при температуре окружающего воздуха от 5 до  $40^\circ\text{C}$ , относительной влажности от 0 до 100%, атмосферном давлении от 600 гПа;

- работоспособен при питании однофазным переменным током напряжением 220 В, частотой 50 Гц. Потребляемая мощность: передатчик LP11 — не более 300 Вт, приемник LR11 — не более 250 Вт, датчик фоновой освещенности — не более 50 Вт;

- масса передатчика 35 кг, приемника 35 кг, датчика фоновой освещенности 10 кг;

- электромагнитно совместим с аэродромными визуальными и не визуальными навигационными средствами;

- ИДВ-МИТРАС может использоваться для измерения МОД (MOR) автономно, в системе определения RVR (RVR-МИТРАС) и в автоматических метеорологических измерительных системах (АМИС);

- передача измерительных сигналов производится в цифровом коде (ASCII) по двухпроводной линии связи длиной до 1,5 км, а при использовании модемов (например, DMX21) — длиной до 50 км;

- средний срок службы 10 лет, средняя наработка на отказ 5000 ч.;

- в ИДВ-МИТРАС обеспечена сигнализация об отказах блоков и элементов, о загрязнении оптики; имеется обогрев защитных стекол и стабилизация температуры внутри блоков.

**Трансмиссометр SKOPOGRAFII FLAMINGO** — двухконечный прибор, состоящий из передатчика и приемника, устанавливаемых

на концах измерительной базы длиной 75 м. SKOPOGRAF II FLAMINGO может работать и на двух базах, когда между передатчиком и приемником устанавливается еще один приемник.

Диапазон измерения МОД (MOR) зависит от длины измерительной базы и составляет от 35 до 2000 м при длине измерительной базы 50 м, от 50 до 3000 м при длине измерительной базы 75 м, от 10 до 3000 м при двойной измерительной базе 15 и 75 м.

Предел основной допускаемой погрешности измерения коэффициента пропускания нейтральных светофильтров  $\pm 0,64\%$ . Предел допускаемой погрешности измерения коэффициента пропускания нейтральных светофильтров в рабочих условиях  $\pm 1,0\%$ , что соответствует следующим пределам допускаемой погрешности измерения МОД (MOR) при длине измерительной базы 75 м:  $\pm 5\%$  в диапазоне 50–150 м,  $\pm 3\%$  в диапазоне 150–450 м,  $5\%$  в диапазоне 450–1500 м,  $\pm 10\%$  в диапазоне 1500–3000 м.

Совместно с передатчиком трансмиссометра FLAMINGO может устанавливаться датчик яркости фона (фоновой освещенности) STILBUS. Диапазон измерения яркости фона от 3 до 30000 кд/м<sup>2</sup>.

Эксплуатационные характеристики SKOPOGRAF II FLAMINGO:

- блоки, размещаемые в отапливаемом помещении, — блок управления, контроля, самописец — работоспособны при температуре окружающего воздуха от 5 до 40°C, относительной влажности до 80% при температуре 25°C;

- блоки, устанавливаемые на открытом воздухе, — передатчик, приемник, датчик фоновой освещенности — работоспособны при температуре окружающего воздуха от -50 до 55°C, относительной влажности воздуха до 100% при температуре 25°C, скорости воздушного потока до 55 м/с, при воздействии пыли, инея, росы, осадков, снежных отложениях, гололеде со скоростью намерзания льда до 12 мм/ч;

- трансмиссометр FLAMINGO работоспособен при питании однофазным переменным током напряжением 220 В, частотой 50 Гц, мощность, потребляемая передатчиком, — до 100 ВА, приемником — до 200 ВА, общая — не более 400 ВА;

- трансмиссометр FLAMINGO работоспособен при воздействии на него окружающей среды при температуре от -60 до 55°C, относительной влажности воздуха  $95\pm 3\%$  при температуре 35°C и атмосферном давлении от 600 до 1080 гПа;

- трансмиссометр FLAMINGO электромагнитно совместим с визуальными и не визуальными аэронавигационными средствами. Он

соответствует международным стандартам, оборудован защитой от гроз и перенапряжений в линиях электропитания и связи;

– трансмиссометр FLAMINGO может использоваться для измерения МОД автономно, а также в качестве датчика в АМИС (например в AWOS). Передача измерительных сигналов и управление трансмиссометром обеспечиваются по аэродромным линиям связи длиной до 10 км в цифровом коде (ASCII): встроена сигнализация об отказах блоков и элементов схемы, а также об обрыве линий связи;

– средний срок службы FLAMINGO 10 лет, средняя наработка на отказ 10000 ч.; среднее время, необходимое на устранение отказов, 2 ч.

Трансмиссометр SKOPOGRAF II FLAMINGO сертифицирован как датчик метеорологической оптической дальности (видимости) в автоматической системе погодных наблюдений AWOS.

**Нефелометры.** Успехи в развитии приборостроения за последнее десятилетие, а также установление более точного соотношения между показателем ослабления ( $\sigma$ ) и измеряемой нефелометрами относительной безразмерной величиной, простота технического обслуживания и изготовления, а также удовлетворительные результаты, полученные при проведении сравнительных измерений МОД, обуславливают применение нефелометров при метеорологическом обеспечении полетов.



Рис. 6.17. Измеритель видимости FD12

В странах СНГ используются следующие нефелометры: измеритель видимости FD12 (рис. 6.17) и идентификатор погоды FD12P, выпускаемые фирмой Vaisala Oy (г. Хельсинки, Финляндия); нефело-



метр FUMOSENS VI, выпускаемый фирмой Jenoptik Impulsphysik GmbH (г. Гамбург, Германия).

**Измеритель видимости FD12/FD12P** основан на принципе прямого рассеяния. Конструктивно он состоит из передатчика и приемника, устанавливаемых на штанге так, чтобы угол рассеяния составлял  $33^\circ$  (они устанавливаются под углом  $16,5^\circ$  к горизонтальной плоскости) на высоте 2,3 м над поверхностью земли. Штанга крепится на вертикальной мачте, в нижней части которой устанавливается блок электроники. Из блока электроники измерительные сигналы в цифровом коде (ASCII) через последовательную линию RS232 или модем DMX50 передаются на блок управления и индикации DD50, на экране которого высвечиваются значения МОД. Измерительные сигналы могут приниматься любым компьютером.

Технические характеристики:

- диапазон измерения МОД (MOR) от 10 до 50000 м;
- относительная погрешность измерения MOR не более  $\pm 10\%$  в диапазоне 10–10000 м,  $\pm 20\%$  в диапазоне 10000–50000 м;
- зондирование объема воздуха производится инфракрасным лучом, длина волны 875 нм;
- диапазон рабочих температур от  $-50$  до  $50^\circ\text{C}$ , влажность до 100% при температуре  $25^\circ\text{C}$ ; диапазон рабочих температур блока управления и индикации DD50 от 5 до  $40^\circ\text{C}$ , влажность до 80% при температуре  $25^\circ\text{C}$ ;
- электропитание от сети переменного тока  $220\text{В} \pm 10\%$ , частотой  $50+1,5$  Гц, потребляемая мощность 30 Вт, с обогревом 130 Вт;
- дистанционность передачи измерительных сигналов от датчика до пульта управления по аэродромным линиям связи до 1500 м, а через модемы DMX21 до 10 км;
- непрерывная (круглосуточная) работа, средний срок службы 10 лет, средняя наработка на отказ не менее 5000 ч., среднее время на устранение отказа не более 2 ч;
- работоспособен при скорости ветра до 55 м/с в условиях выпадения осадков (дождь, снег и др.), гололеда при скорости намерзания льда до 12 мм/ч;
- имеет защиту от перенапряжения в линии связи и электропитания, грозозащищен;
- электромагнитно совместим с аэродромными визуальными и не визуальными навигационными средствами.

К FD12 может подсоединяться датчик фоновой освещенности LM11, обеспечивающий измерение фоновой освещенности в диапазоне  $0-30000$  кд/м<sup>2</sup> с погрешностью не более  $\pm 10\%$ . Передача измери-

тельных сигналов фоновой освещенности производится через блок электроники по тем же линиям связи в цифровом коде (ASCII). Нефелометры FD12/FD12P зарегистрированы в государственном реестре средств измерений и допущены к применению в Российской Федерации. Они имеют сертификат об утверждении типа средств измерений.

**Нефелометр FUMOSENS VI.** Нефелометр FUMOSENS VI серийно выпускается фирмой Jenoptik Impulsphysik GmbH (Германия) и так же, как нефелометр FD12 (Финляндия), основан на принципе прямого рассеяния.

В отличие от нефелометра FD12/FD12P в нефелометре FUMOSENS VI исследуемый для измерения МОД объем воздуха зондируется двумя передатчиками и двумя приемниками, включаемыми поочередно. Схема принципа работы FUMOSENS VI представлена на рис. 6.18. Конструктивно приемники и передатчики объединены в «головке» прибора, где также находится блок управления. «Головка» прибора устанавливается на штанге, ниже ее монтируется блок подключения. Измерительные сигналы передаются из блока управления через блок подключения и интерфейсы (RS232, RS485) в цифровом коде (ASCII) на вход ПЭВМ.

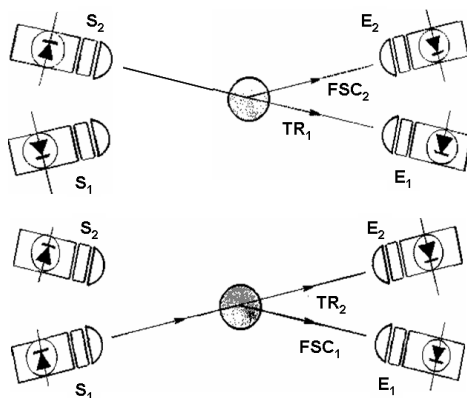


Рис. 6.18. Схема работы нефелометра FUMOSENS VI.  
Измерение интенсивности ( $TR_1$ ): передатчик  $S_2$ , приемник  $E_1$ ;  
амплитуда рассеяния  $FSC_2$ : передатчик  $S_2$ , приемник  $E_2$ ;  
измерение интенсивности ( $TR_2$ ): передатчик  $S_1$ , приемник  $E_2$ ;  
амплитуда рассеяния  $FSC_1$ : передатчик  $S_1$ , приемник  $E_1$

Передатчики — высокоэффективные источники (LED) красного света, которые через систему линз излучают видимый свет с постоянно

контролируемой интенсивностью. Приемники — система линз, собирающая рассеянный свет и принимающая фотодиодом. Принятый сигнал усиливается и передается в блок управления. Благодаря особенностям механического и оптического устройства FUMOSENS VI один из приемников реагирует на рассеянный в атмосфере свет, другой — на прямой сигнал этого же передатчика. Блоком управления является модуляционный генератор с синусообразным сигналом выхода, который управляет электроникой задействованного передатчика. Этот же сигнал контролирует синхронный демодулятор приемника рассеянного света. Сигнал выхода демодулятора поступает на преобразователь микропроцессора. Второй путь прохождения сигнала связывает демодулятор прямого приемника с еще одним входом преобразователя. Управляемая микропроцессором электроника включает при этом соответствующий путь сигнала в зависимости от того, какой передатчик задействован.

Технические характеристики:

- диапазон измерения МОД от 10 до 20000 м, погрешность измерения не более  $\pm 10\%$  в диапазоне 10–3000 м,  $\pm 20\%$  в диапазоне 3–20 км;

- рабочая температура от  $-50$  до  $55^\circ\text{C}$ , влажность до 100% при температуре  $25^\circ\text{C}$ , работоспособен после воздействия температуры от  $-60$  до  $50^\circ\text{C}$ , влажности до 95% при температуре  $35^\circ\text{C}$ ;

- работает при атмосферном давлении 600–1100 гПа;

- электропитание от сети переменного однофазного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц; потребляемая мощность не более 35 ВА, включая обогрев и удаление льда;

- работоспособен при скорости ветра до 55 м/с, при осадках, гололеде со скоростью намерзания льда до 12 мм/ч;

- имеет защиту от гроз и перенапряжения в линиях связи и электропитания;

- обеспечена непрерывная работа, средний ресурс (срок службы) 10 лет, средняя наработка на отказ 5000 ч., среднее время восстановления после отказа 2 ч.

Нефелометр FUMOSENS VI подвергался сертификационным испытаниям как датчик МОД в системе погодных наблюдений AWOS производства фирмы Jenoptik Impulsphysik GmbH (Германия), на которую выдан сертификат. Приборы для измерения МОД, основанные на нефелометрическом методе приборных измерений дальности видимости, появились сравнительно недавно, поэтому они подвергались многочисленным испытаниям и проверкам. Результаты сравнительных измерений МОД различными приборами (трансмиссометрами и нефе-

лометрами), а также сравнение их с результатами визуальных наблюдений проведены в Голландии, Швеции, Канаде и Франции. Более точные средства измерения МОД — трансмиссометры — не имеют каких-либо ощутимых преимуществ перед нефелометрами при использовании их результатов измерения МОД для расчета дальности видимости на ВПП. Трансмиссометры, обеспечивающие измерение коэффициента пропускания с погрешностью не более  $\pm 1\%$  (ИДВ-МІТRAS, SKOPOGRAF II FLAMINGO), являются лучшими средствами измерения МОД. Нефелометры (FD12/FD12P, FUMOSENS VI) обеспечивают измерения МОД с погрешностью не более  $\pm 10\%$  и могут заменить всевозможные визуальные наблюдения за дальностью видимости на аэродромах. Результаты испытаний нефелометров FD12/FD12P, FUMOSENS VI свидетельствуют о возможности их широкого применения.

## Глава 7. ИЗМЕРЕНИЕ ОСАДКОВ И СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Для измерения количества атмосферных осадков применяется метод, заключающийся в измерении толщины слоя воды, который образовался бы на горизонтальной поверхности при отсутствии просачивания, стекания и испарения. Атмосферные осадки в зависимости от их фазового состояния разделяются на следующие группы: жидкие – дождь и роса; твердые – снег, град, крупа, иней и гололед; смешанные. Количество осадков измеряется с точностью до 0,1 мм высоты слоя воды (если осадки твердые, то их растаивают в теплом помещении). Вид осадков определяется визуально. На ряде станций производится регистрация количества и скорости выпадения (интенсивности) жидких осадков с помощью плuviографа.

**Измерение количества осадков.** Для измерения количества выпадающих на горизонтальную поверхность жидких и твердых осадков применяются осадкомеры (рис. 7.1). Они состоят из двух специальных сменных ведер, с калиброванным сечением отверстия 200 см<sup>2</sup>, высотой 40 см и планочной защитой от ветра. Осадкомер устанавливается на столбе таким образом, чтобы верхний срез ведра был расположен на высоте 2 м.

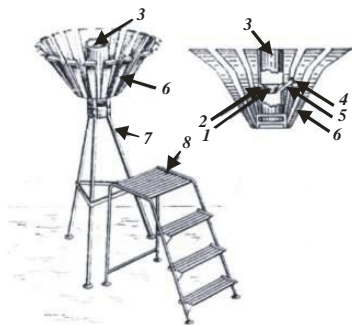


Рис. 7.1. Осадкомер Третьякова:

- 1 — воронка; 2 — диафрагма; 3 — ведро; 4 — колпачок;  
5 — носик; 6 — планочная защита; 7 — подставка; 8 — лестенка

Количество осадков измеряется два раза в сутки независимо от того, выпадали осадки или нет. Затем вычисляется сумма осадков за сутки. Измерение заключается в том, что наблюдатель берет второе пустое ведро на станции и заменяет им стоящее на установке. Закрыв его крышкой, он приносит ведро осадкомера в помещение и измеряет количество осадков с помощью мерного стакана. Цена деления мерно-

го стакана  $2 \text{ см}^3$ , поэтому одно деление стакана соответствует  $0,1 \text{ мм}$  осадков ( $2 \text{ см}^3/200 \text{ см}^2 = 0,01 \text{ см}$ ), а стакан имеет сто делений.

*Осадкомер Третьякова О-1* состоит из сосуда для сбора осадков, ветровой защиты и мерного стакана. Ветровая защита предназначена для уменьшения завихрений, образующихся при ветре вокруг и внутри осадкомерного сосуда. Завихрения мешают свободному попаданию осадков в сосуд, что приводит к погрешности измерений (так называемый ветровой недоучет осадков). Количество осадков, попавших в сосуд, измеряют с помощью специального мерного стакана.

В комплект осадкомера входят два сменных ведра (осадкосборных сосуда), одна крышка к ведру, таган для установки ведра, планочная защита и два измерительных стакана. Ведро осадкомера металлическое, высотой  $40 \text{ см}$ , с приемным отверстием  $200 \text{ см}^2$ . Верхний край ведра упрочен жестким кольцом, что обеспечивает сохранность формы и площади приемного отверстия. Осадкомер вмещает  $3,8 \text{ л}$  воды, что соответствует  $190 \text{ мм}$  осадков (до сливного носика).

Внутри ведра впаена диафрагма. Летом для уменьшения испарения осадков из ведра (еще одна погрешность измерения) в отверстие диафрагмы вставляется воронка с небольшим отверстием. Ведро имеет носик для слива собранных осадков, который закрывается колпачком. Ведро ставится в таган на выступы его ножек. Таган крепится болтами к столбу или подставке. Ветровая защита состоит из 16 трапециевидных изогнутых по определенному профилю планок, подвешенных за ушки на металлическом кольце, которое с помощью четырех (трех) кронштейнов крепится вместе с таганом к столбу. Планки расположены на равном расстоянии друг от друга и скреплены между собой цепочками. Такое крепление позволяет им колебаться от порывов ветра. Верхние края планок должны находиться в одной горизонтальной плоскости с приемной поверхностью осадкомера.

Измерительный стакан служит для измерения осадков, попавших в ведро осадкомера. Его шкала имеет 100 делений. Цена деления  $2 \text{ см}^3$ , что при площади приемного отверстия  $200 \text{ см}^2$  соответствует  $0,1 \text{ мм}$  слоя осадков.

Осадкомер устанавливается на метеорологической площадке на деревянном столбе или на металлической подставке так, чтобы приемная поверхность находилась на высоте  $2 \text{ м}$  над поверхностью земли. В районах, где высота снежного покрова бывает выше  $1 \text{ м}$ , для установки осадкомера на зимний период необходимо иметь второй столб на  $1 \text{ м}$  выше столба, используемого в обычных условиях. Осадкомер следует переставлять на запасной столб при высоте снежного покрова более  $60$

см. Необходимо следить также за тем, чтобы снег не задерживался на планках защиты осадкомера, что особенно часто случается при выпадении мокрого снега.

Количество собранных осадкомером осадков (независимо от того, заметил наблюдатель их выпадение или нет) измеряется в установленные сроки (в особо оговоренных случаях — при сухой погоде или сильнейших ливнях — могут быть отступления от этих правил). В срок наблюдения наблюдатель приносит из помещения станции пустое ведро, закрытое крышкой (во избежание попадания в него осадков), и заменяет им ведро, стоящее на тагане осадкомера. Затем с вновь установленного (пока пустого) ведра снимает крышку и закрывает ею снятое ведро с осадками. Собранные осадки измеряются, как правило, в помещении. Через носик ведра воду сливают в измерительный стакан, установленный на горизонтальную поверхность (на столе), и по положению уровня (мениска) воды относительно его шкалы отсчитывают число делений стакана с осадками, округляя до целых делений. Если количество воды меньше половины первого деления стакана или если их в сосуде совсем не оказалось, хотя они наблюдались, то количество осадков считают равным нулю, однако учитывают, что осадки в этот день были, но в малых количествах. Если уровень воды окажется точно на середине первого деления, то отмечают одно деление. Если осадков окажется больше 100 делений, измерение следует производить частями, каждый раз записывая результат, а затем подсчитать и записать сумму (для контроля в скобках записывают число измерений). Если осадки твердые или смешанные, то измерения производят только после того, как они полностью растают. Ускорять таяние нагревом ведра запрещается — это приводит к погрешности из-за испарения части осадков. Если к моменту передачи данных об осадках твердые осадки не растаяли, то их количество можно определить путем взвешивания на весах с точностью 1–2 г или с помощью весов снегомера. Поэтому каждое ведро должно быть заранее взвешено (и его масса нанесена краской на сосуде), и масса каждого ведра периодически проверяется. Полученное количество осадков включается в телеграмму. Однако после того, как осадки растаяли, их количество обязательно измеряется стаканом осадкомера. Полученные таким образом данные записываются в книжку КМ-1. Сумму осадков за 12 ч. или за сутки вычисляют как сумму результатов измерений за все сроки.

При измерениях количества осадков с помощью осадкомера еще возникает погрешность за счет неучета смачивания ведра жидкими осадками (или растаявшими твердыми) и частично испарения осадков из ведра. Поэтому к результатам измерений в каждый срок вводят ин-

струментальную поправку: для твердых осадков, выпавших в количестве 0,1 мм и более, поправка — +0,1 мм; для жидких и смешанных осадков до 0,5 деления — поправка +0,1 мм; 0,1 мм и более — поправка +0,2 мм.

Количество осадков записывается в книжку КМ-1 (в соответствующую строку). В первой из трех граф указывается целое число делений измерительного стакана. Если осадков было менее 0,5 первого деления, записывается 0; если при наблюдениях за атмосферными явлениями было отмечено выпадение осадков, а в осадкомере осадков не оказалось, из сосуда не вылилось ни капли, то в первой графе делается прочерк, а в графе «Примечание» записывается, что «осадков в сосуде не обнаружено». В первой же графе через дробь указывается количество осадков в миллиметрах. Во второй графе записывается поправка на смачивание (если в первой графе имеются прочерки или стоят нули при твердых осадках, то во второй делается прочерк); в третьей — исправленное количество осадков (в случае прочерка во второй графе количество записывается 0,0 мм).

*Осадкомер суммарный М-70* (рис. 7.2) предназначен для сбора и последующего измерения количества осадков, выпавших в течение длительного времени. Максимально измеряемое количество осадков 1500 мм. Масса прибора 120 кг. Осадкомер состоит из приемного цилиндра-трубы (площадь приемного отверстия 500 см<sup>2</sup>), пластиночной ветровой защиты, резервуара (водосборного сосуда) и основания (подставки).

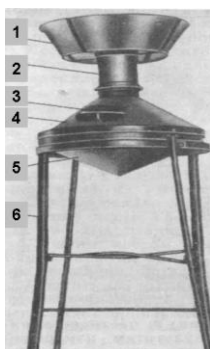


Рис. 7.2. Осадкомер суммарный:

1 — ветровая защита; 2 — труба; 3 — окно с задвижкой; 4 и 5 — верхняя и нижняя части водосборного сосуда; 6 — подставка



Приемный цилиндр имеет калиброванное отверстие, через которое осадки свободно попадают в осадкосборник. Верхняя часть приемного цилиндра окружена свободно подвешенной к стойкам конусообразной ветровой защитой (ее верхний край находится в одной горизонтальной плоскости с краем приемного цилиндра). Приемный цилиндр закреплен в отверстии резервуара на фланце. Резервуар состоит из двух соединяющихся между собой частей: верхней съемной и нижней конусообразной. Основание осадкомера (подставка) состоит из металлических стоек. Верхняя часть резервуара имеет окно, плотно закрывающееся задвижкой. Оно служит для извлечения осадков при измерении.

Для предохранения собранных осадков, когда они находятся в жидком состоянии, от испарения в осадкомер наливают некоторое количество минерального масла. Осадкомер устанавливается на подставке так, чтобы верхний край приемной части осадкомера находился на высоте 2 м от поверхности почвы (снега).

В установленные сроки измеряют осадки: для этого с помощью паяльной лампы подогревают нижнюю часть сосуда, если в нем имеются твердые осадки, до полного их таяния. Если имеется возможность, лед следует осторожно разбить, собрать в какой-либо сосуд и растопить. Затем открывают задвижку окна и с помощью резинового шланга (или резиновой груши с длинным наконечником) переливают воду в запасной сосуд, а затем измеряют осадки с помощью измерительного стакана. При измерении нужно исключить попавшее в измерительный стакан вместе с осадками масло. После измерений осадкомер подготавливают для сбора осадков до следующего измерения. В осадкосборный сосуд наливают масло (вместо слитого с осадками) и закрывают задвижку окна.

**Регистрация интенсивности осадков.** Непрерывная регистрация осадков позволяет определить их количество и интенсивность за любой промежуток времени. Применяемый на сети плювиограф может регистрировать только жидкие осадки. Количество осадков регистрируется с точностью  $\pm 0,1$  мм, а время —  $\pm 1$  мин. (что при последующей обработке дает возможность вычислять интенсивность осадков до 0,01 мм/мин за интервал 10 мин.).

*Плювиограф П-2* (рис. 7.3) смонтирован в металлическом кожухе 3 цилиндрической формы. Приемником осадков служит сосуд 2 с приемной площадью 500 см<sup>2</sup>. Конусообразное дно обращено вниз вершиной и имеет несколько отверстий для стока воды. К дну припаяна сливная трубка, которая вставляется в воронку трубки 4, идущей от поплавковой камеры 8, укрепленной винтом на плате 10. Внутри каме-

ры находится металлический поплавок с вертикальным стержнем, выходящим через крышку камеры и пропущенным через Г-образный кронштейн (укреплен на крышке). На стержне с помощью колодки закреплена стрелка, оканчивающаяся пером 7. Сбоку камеры 8 имеется трубка, в которую с помощью медной гильзы вставляется стеклянный сифон 11 для слива осадков. На крышке поплавковой камеры 8 укреплен механизм принудительного слива 5. Он обеспечивает начало слива воды строго при определенном уровне заполнения камеры независимо от интенсивности выпадения осадков.

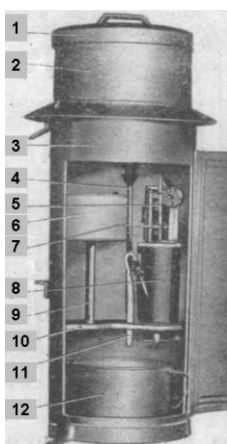


Рис. 7.3. Плувиограф П-2:

1 — крышка; 2 — приемный сосуд; 3 — кожух; 4 — трубка с воронкой; 5 — механизм принудительного слива; 6 — барабан часового механизма; 7 — перо; 8 — поплавковая камера; 9 — стойка; 10 — плата; 11 — сифон; 12 — водосборный сосуд

На плате 10 укреплена стойка 9 с осью для часового механизма с барабаном 6. На дне кожуха устанавливается сосуд 12, в который через сифон сливаются осадки из камеры 8. Осадки, попавшие в сосуд 2, стекают по сливной трубке цилиндрического сосуда и попадают в камеру 8. Поплавок, находящийся в ней, поднимается. Перо, поднимаемое поплавком, чертит на ленте, надетой на барабан, кривую, угол наклона которой тем больше, чем интенсивнее осадки. Когда вода в поплавковой камере достигнет определенного уровня, должен начаться ее слив из камеры. Для повышения надежности слива в pluviографе П-2 применяется механизм принудительного слива. В момент дос-

тижения заданного уровня воды в поплавковой камере автоматически начинает действовать механизм принудительного слива, ударом погружая поплавки и резко этим повышая уровень воды в камере, что обеспечивает полное заполнение сифона и быстрый слив воды из камеры.

Плювиограф устанавливается на метеорологической площадке на деревянном столбе или металлической подставке с таким расчетом, чтобы верхний край прибора находился на высоте 2 м над поверхностью земли. Сначала устанавливается корпус (кожух) с приемником осадков. Верхний край приемника осадков должен быть в строго горизонтальном положении. Корпус укрепляется с помощью трех проволочных оттяжек. Сборку регистрирующей части прибора надо производить в следующем порядке:

- установить поплавковую камеру так, чтобы воронка трубки 4 находилась точно под нижним концом сливной трубки приемного сосуда, и с помощью специального винта снизу накрепко привинтить ее к плате;

- подготовить к работе механизм принудительного слива;

- вставить сифонную трубку в боковую трубку поплавковой камеры так, чтобы металлическая гильза сифона плотно вошла в трубку, а упорная муфта сифона дошла до гайки трубки, и зажать ее гайкой с кольцевой резиновой прокладкой;

- надеть ленту на барабан часового механизма, завести механизм и установить его на часовую ось. При установке механизма на ось соблюдать осторожность в момент сцепления ведущей трубки с зубчатым колесом. Наполнить перо чернилами и придвинуть с помощью арретира стрелку с пером к ленте.

Надежность работы регистрирующего устройства плювиографа проверяется регулярно. Для этого в приемный сосуд наливают чистую воду и делают искусственный слив через сифон. После слива перо должно опуститься до нулевого деления на ленте с точностью  $\pm 0,5$  деления (0.1 мм осадков). Отклонение стрелки от нуля более чем на 0,5 деления устраняют перемещением стрелки по оси поплавка. Затем медленно наливают воду в приемный сосуд (в объеме 100 делений измерительного стакана) и следят за движением пера. Если стержень поплавка не движется плавно, следует проверить, находится ли стойка кронштейна в строго вертикальном положении, а также очистить направляющую отверстия и стержень от загрязнения. При подходе пера к верхнему делению ленты воду льют каплями.

При совпадении пера с 50-м делением ленты (10 мм осадков) должен сработать механизм принудительного слива. Если слив произ-

ходит при положении пера ниже или выше 50-го деления, следует изменить положение упорного винта, ограничивающего норму заполнения поплавковой камеры. Если вода через сифон не сливается полностью, то в этом случае или сифон загрязнен, или в него попал воздух. Попадание в сифон воздуха обусловлено тем, что медная гильза недостаточно плотно входит в боковую трубку или между гильзой и стеклянной трубкой сифона имеется зазор. Чтобы гильза плотно держалась в боковой трубке, нужно заменить положенную под зажимающую гайку резиновую прокладку. Зазоры между гильзой и стеклянной трубкой заливаются сургучом или другой затвердевающей замазкой. Если сифон загрязнен, его нужно вынуть из поплавковой камеры, промыть мыльной, а затем чистой водой. Слив исправно работающего плувиографа должен продолжаться примерно 17–20 с., при этом перо должно прочерчивать на ленте вертикальную линию (параллельную часовым линиям).

Отклонение линии слива в сторону может быть вызвано:

- загрязнением или неправильным изгибом трубки сифона;
- неправильным наложением ленты;
- невертикальным положением оси барабана или поддерживающей его стойки.

Для устранения наклона необходимо ослабить винт, крепящий поплавковую камеру, подложить с одной стороны тонкую металлическую пластинку и закрепить винт. Если перо при продолжительном отсутствии осадков начинает опускаться ниже нулевой линии, в приемный сосуд следует подлить небольшое количество воды. Если после окончания дождя перо не дошло до линии, обозначенной числом 10 (но находится не ниже линии, оцифрованной 7), т. е. естественный слив не произошел, то в ближайший срок наблюдений (не дожидаясь срока смены ленты) следует сделать искусственный слив. Для этого нужно медленно доливать воду из измерительного стакана в приемный сосуд до тех пор, пока не начнет действовать сифон. После слива на лицевой стороне ленты данного дня следует записать количество долитой воды и время. При искусственном сливе перо ленты не отводится.

***Наблюдения за снежным покровом.*** Эти наблюдения включают измерения высоты снежного покрова, плотности снега, определения запаса содержащейся в нем воды, степени покрытия в окрестности станции поверхности почвы снегом, характера залегания и структуры снежного покрова, состояния поверхности почвы под снегом. Высоту снежного покрова измеряют с помощью снегомерных реек, плотность

снега — с помощью снегомера, запас воды в снеге вычисляют или измеряют с помощью специальных приборов.

Различают следующие основные виды наблюдений за снежным покровом: ежедневные, ландшафтно-маршрутные снегомерные съемки, специальные снегомерные съемки. Ежедневные наблюдения за снежным покровом ведутся с момента его образования до момента полного исчезновения. Степень покрытия снежным покровом поверхности земли, характер его залегания и структуру снега определяют визуально путем осмотра окрестности станции с одного и того же возвышенного места вблизи метеорологической площадки.

Степень покрытия оценивается по 10-балльной шкале (0,1 видимой окрестности принимается равной 1 баллу). В период, когда снегом покрыто более половины видимой окрестности, ежедневно оценивают характер залегания снежного покрова: равномерный без сугробов, неравномерный (небольшие сугробы), очень неравномерный (большие сугробы), а также состояние поверхности почвы: замерзшая, талая, состояние не известно. При определении структуры снега отмечаются 10 характеристик (видов) свежего и старого снега, а также насту (корок). Результаты наблюдений заносятся в соответствующие графы книжки КМ-1. Степень покрытия окрестности указывается в баллах (от 0 до 10). Структура и характер залегания снежного покрова описываются словами и цифрами кода КН-01. Если снежный покров отсутствует, данная графа не заполняется. Высота покрова измеряется ежедневно по трем постоянным снегомерным рейкам, установленным в середине площадки в вершинах треугольника со стороны около 10 м.

*Стационарная снегомерная рейка М-103* — гладко обструганный брусочек, изготовленный из сухого дерева, длиной 180 см (или 130 см), сечением 6×2,5 см, с ценой деления 1 см и оцифровкой через 10 см. Рейка окрашена белой масляной или эмалевой краской и на лицевой стороне имеет шкалу в сантиметрах. Деления шкалы рейки (через одно) окрашены черной краской.

В районах, где высота снежного покрова достигает 2–3 м, рейки необходимо наращивать по мере увеличения высоты снежного покрова. Постоянные снегомерные рейки устанавливаются осенью до образования снежного покрова. В месте установки рейки в землю вбивают деревянный заостренный (или металлический) брусочек длиной 40–60 см, на котором имеется ступенька. К бруску привинчивают (прикрепляют) стандартную снегомерную рейку. При установке нулевое деление рейки должно совмещаться с поверхностью почвы. Отсчеты по рейке делают с одной и той же точки, находясь на расстоянии 3–5 шагов, чтобы не нарушать состояние снежного покрова около рейки.

При измерении следует учитывать, что под воздействием ветра около самой рейки часто образуется углубление в снегу, поэтому при отсчете следует наклоняться как можно ближе к поверхности снежного покрова. Отсчеты делают с точностью до 1 см. Данные по каждой рейке записываются в книжку КМ-1. Высота снежного покрова вычисляется как средняя из отсчетов по трем рейкам. Снегомерные съемки производятся на основных элементах ландшафта: поле, лес и балка (овраг, лог). Первоначальный маршрут снегомерных съемок определяется совместно со специалистом ГМЦ (гидрометеорологического центра), а при замене участка — самим начальником станции. Все участки могут быть удалены от станции не более чем на 5 км. На всех участках для измерения плотности снега в каждой из точек берется только одна проба; первое определение плотности производится при первом измерении высоты снежного покрова; при высоте снежного покрова менее 5 см плотность не определяется.

Длина полевого маршрута составляет 2000 или 1000 м. Маршрут протяженностью 2000 м устанавливается в лесостепных районах со всхолмленным рельефом, а также при наличии больших открытых участков. На таком маршруте высота снежного покрова измеряется через каждые 20 м, а плотность снега — через 200 м (всего 100 измерений высоты и 10 определений плотности). В лесных районах и в районах с ровным рельефом (на полях среди лесов) определяется длина маршрута в 1000 м. В том случае, если станция (по программе агрометеорологических наблюдений) выполняет снегомерные съемки на поле с зимующей культурой, а полевой маршрут установлен для нее в 2000 м, то снегомерки проводятся на двух маршрутах по 1000 м каждый: один из маршрутов является постоянным, а второй ежегодно прокладывается на поле с зимующей культурой.

На постоянном маршруте длиной 1000 м высоту снежного покрова измеряют через каждые 20 м, а плотность — через 100 м (всего 50 измерений высоты и 10 определений плотности). В случае снегомерных съемок на поле с зимующей культурой высота снежного покрова измеряется через каждые 10 м, а плотность — через 100 м (всего 100 измерений высоты и 10 определений плотности). В лесу, где длина маршрута равна 500 м, высота измеряется через каждые 10 м, а плотность — через 100 м (всего 50 измерений высоты и 5 определений плотности). В балках (оврагах, логах) снегомерки производятся только по специальному заданию. При этом высота снежного покрова измеряется по 2–5 поперечникам общей длиной не менее 500 м. При ширине балки менее 100 м расстояние между поперечниками должно со-

ставлять 100 м. В более широких оврагах расстояние между поперечниками должно быть не менее его ширины.

Высота снежного покрова от бровки до бровки (измерения следует начинать не доходя 10 м до бровки и заканчивать его в 10 м за бровкой) измеряется через 5 м. При ширине оврага более 200 м высота снежного покрова измеряется через каждые 10 м. Плотность снежного покрова в балках (оврагах, логах) не определяется.

Полевые снегомерные маршруты должны прокладываться по характерному для окружающей местности рельефу. При выборе маршрута на поле с зимующей культурой нужно учитывать, чтобы маршрут пересекал типичные для поля формы рельефа. Если часть маршрута не является характерной для окружающей местности, то она исключается из измерений. В этом случае длина постоянного маршрута соответственно увеличивается. Необходимо предусматривать, чтобы снегомерный маршрут был прямым. В исключительных случаях допускается прокладка маршрута в виде ломаной линии с тупыми углами. Полевые снегомерные маршруты должны располагаться на расстоянии не менее 0,5 км от линий железных дорог и населенных пунктов с промышленными объектами. Прокладывание снегомерного маршрута по льду озер, рек и других водоемов, а также на местности, недоступной в периоды весеннего половодья, и на поле аэродрома не разрешается.

Лесные маршруты в районах с большими лесными массивами должны начинаться в лесу на расстоянии не менее 100 м от края леса (кустарника) и проходить в глубь леса. Маршруты должны прокладываться в виде прямой или ломаной линии по наиболее характерному для данного района участку леса. При малых размерах лесного участка прокладываются две линии общей протяженностью 500 м. Обе проходят в лесу: первая — на расстоянии не менее 100 м от границы с полем, вторая — параллельно первой, глубже в лес, в 25–50 м от нее. Лесные маршруты можно прокладывать не только в естественном лесу, но и среди искусственных древесных насаждений (большой фруктовый сад или парк).

Балка (овраг, лог), выбранная для снегомерных съемок, должна быть типичной для этого района, шириной более 30 м, но менее 400 м. Снегомерные маршруты должны быть закреплены на местности метками (вехами, столбами, металлическими трубами, засечками на отдельных деревьях), а также иметь глазомерную съемку и описания маршрутов и окрестностей в радиусе 5 км. Снегомерные съемки в поле и лесу начинают с момента, когда покрытие снегом определяется в 6 баллов и более, и прекращают, когда снегом покрыто менее половины

участка (видимой окрестности), а в балках — с начала снеготаяния. Если в день, назначенный для проведения снегосъемки, наблюдаются очень сильный снегопад, густой туман или очень низкая температура в сочетании с сильным ветром, то снегосъемки переносятся на следующий день. Снегосъемку проводят рано утром, чтобы закончить ее зимой до наступления темноты, а весной — до начала интенсивного таяния снега днем. Сроки проведения (частота, даты) снегосъемок устанавливаются индивидуально для каждой станции (поста). Обычно на станциях они проводятся еженедельно, а в период максимума снегозапасов и снеготаяния — 1 раз в 5 дней.

При маршрутных съемках для измерения высоты снежного покрова используют *переносную снегомерную рейку М-104*. Она представляет собой деревянный брусок длиной 180 см, сечением 4×2 см, со шкалой с ценой деления 1 см и оцифровкой через 10 см. На ее нижнем конце имеется железный наконечник, нижний заостренный край которого совпадает с нулем шкалы. Переносные рейки изготавливают также из дюралевых трубок. Для определения высоты снежного покрова переносную рейку погружают заостренным концом вертикально в снег, при этом она должна дойти до поверхности почвы, но не углубляться в нее (не должна также пробиваться покрывающая почву ледяная корка).

Для измерения плотности служат снегомеры. *Походный весовой снегомер ВС-43* (рис. 7.4) состоит из снегозаборника, весов и лопатки. Снегозаборник состоит из металлического цилиндра, который с одного конца закрывается крышкой 10, а с другого оканчивается кольцевым утолщением 7 с пилообразной режущей кромкой.

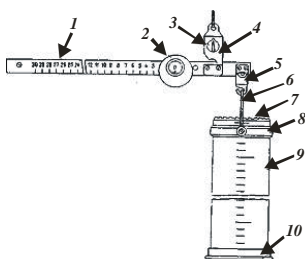


Рис. 7.4. Снегомер весовой:

- 1 — рейка коромысла; 2 — передвижной груз; 3 — стрелка;  
4 — подвес; 5 — крюк; 6 — дужка; 7 — утолщение с режущей кромкой; 8 — передвижное кольцо; 9 — цилиндр; 10 — крышка



Вдоль цилиндра нанесена шкала с делениями от нуля, совпадающего с режущей кромкой кольца 7, до 50 см. Высота цилиндра 60 см, площадь его внутреннего поперечного сечения 50 см<sup>2</sup>. На цилиндре находится свободно передвигающееся кольцо 8 с дужкой 6, за которую заборник подвешивается к весам. Весы состоят из рейки коромысла со шкалой с ценой деления 5 г. К рейке прикреплены две призмы: одна ребром опирается на подвес 4, имеющий кольцо, за которое удерживаются весы при взвешивании; снегозаборник подвешивается к крюку 5, опирающемуся на вторую призму. Для уравнивания весов служит свободно передвигающийся по рейке 1 груз 2, через отверстие которого видна шкала. На нижней скошенной кромке отверстия имеется риска, служащая указателем для отсчета по шкале весов при их уравнивании. Равновесие весов определяется по совпадению стрелки 3, укрепленной на рейке 1, с вершиной узкой верхней части окошка подвеса 4. Контроль нуля весов осуществляется при уравнивании их снегозаборником с пустым цилиндром.

Измерения на маршруте с помощью снегомера производят в следующем порядке. Проверяют показания весов при взвешивании пустого снегозаборника (эти показания с обратным знаком принимают за поправку при дальнейшем взвешивании). Снимают снегозаборник и отвесно погружают его режущей кромкой в снег до соприкосновения его нижнего края с поверхностью почвы. Отсчитывают высоту снежного покрова по шкале цилиндра. Лопаточкой счищают снег с одной стороны заборника, аккуратно подсовывают ее под его режущий край так, чтобы весь снег, заключенный в цилиндре, остался там. Не отнимая лопатки, вынимают заборник и переворачивают его кромкой вверх. Очищают заборник от приставшего снаружи снега, подвешивают его к крюку весов (став спиной к ветру) и, держа в руке весы за кольцо, взвешивают заборник со снегом, для чего уравнивают цилиндр со снегом и отсчитывают деление шкалы весов. Результат записывают. В тех случаях, когда снежный покров выше 60 см, весь столб снега вырезают последовательно в несколько приемов. Если на почве имеется вода или снег, насыщенный водой, то цилиндр снегомера не должен захватывать этот слой. Пробу не берут, если высота снежного покрова меньше 5 см в радиусе 5 м от очередной точки или в этом месте имеется только снег, насыщенный водой, только талая вода или только ледяная притертая корка (либо все это вместе). После взятия пробы снегомером (до ее взвешивания) в этой же точке измеряется толщина слоя талой воды, снега, насыщенного водой, притертой ледяной корки. Первые два вида определения можно делать снегомерной рейкой или лопаточкой снегомера (с точностью до 1 см), а толщина

ледяной корки должна измеряться (после того, как она пробита рейкой или зубилом) линейкой (с точностью до 1 мм).

Состояние почвы под снежным покровом (таяя, мерзлая) оценивается визуально в каждой точке определения плотности. Характер залегания снежного покрова на маршруте и характер самого снега оценивается визуально и записывается словами и в цифрах кода КН-01. Данные наблюдений за снежным покровом во время снегосъемок записываются в книжку КМ-5. Значения высоты снежного покрова записываются в книжку подряд, каждое в отдельной клеточке, с точностью до 1 см. Результаты наблюдений на поле с зимующей культурой записываются в книжку КСХ-2. При каждом измерении плотности снега записывают значения, полученные по шкале цилиндра и по линейке весов. Плотность снега  $g$  вычисляется путем деления массы пробы на ее объем  $g = 5m/(50h) = m/(10 h)$ , где  $m$  — отсчет по линейке весов,  $h$  — отсчет по шкале цилиндра.

## ГЛАВА 8. АКТИНОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Основной вид энергии на Земле — лучистая энергия, непрерывно поступающая от Солнца. Солнечная радиация, поставляющая на Землю свет и тепло, имеет важнейшее значение для развития жизни на Земле и является основной причиной метеорологических явлений и процессов, происходящих на земной поверхности и в атмосфере.

### 8.1. Основные понятия солнечной радиации

Основным источником энергии всех природных процессов, протекающих на земном шаре, является солнечная радиация. Лучистая энергия (радиация, свет) представляет собой электромагнитные волны, распространяющиеся от источника их возникновения. В зависимости от температуры излучающего тела и физико-химических свойств его поверхности длина волны колеблется в очень широких пределах. Распределение лучистой энергии по длинам волн называется *спектром*.

Длины волн радиации измеряются с большой точностью. Оптическое излучение имеет длины волн от сотен микрометров до тысячных долей микрометра (мкм), ( $1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$ ). Часть спектра, которая соответствует длинам волн менее 0,40 мкм, называется *ультрафиолетовой*. Промежуток спектра лучистой энергии от 0,40 до 0,76 мкм занимает видимая часть спектра. Волны длиной от 0,40 до 0,46 мкм соответствуют фиолетовому цвету, от 0,46 до 0,49 мкм — синему, от 0,49 до 0,50 мкм — голубому и т. д. Излучение с длиной волны более 0,76 мкм относится к *инфракрасной* части спектра. Инфракрасные лучи, как и ультрафиолетовые, не воспринимаются глазом (невидимы). Спектр солнечной энергии на верхней границе атмосферы заключается между длинами волн от 0,20 до 5,0 мкм. Около 47% радиации приходится на видимую часть спектра, 44% — на инфракрасную и 9% — на ультрафиолетовую. Проходя земную атмосферу, солнечная радиация изменяется как по интенсивности, так и по спектральному составу.

Поступая на Землю, солнечная радиация преимущественно превращается в тепло. Количество энергии, посылаемой Солнцем на Землю, огромно. Испускание или распространение электромагнитных волн называется *излучением*. *Энергией излучения* или *лучистой энергией* называют энергию, переносимую электромагнитными волнами. Единицей энергии излучения  $E$  в международной системе единиц является 1 джоуль:

$$1 (E) = 1 \text{ Дж.} \quad (8.1)$$

Основной количественной характеристикой поля излучения служит *поток излучения* или *лучистый поток*  $F$ , который определяется формулой

$$F = E/t, \quad (8.2)$$

где  $E$  — энергия излучения за время  $t$ . Полагая  $E = 1$  Дж,  $t = 1$  с., получим

$$1(F) = 1\text{Дж}/1\text{с} = 1\text{Вт}. \quad (8.3)$$

*Поверхностная плотность потока* излучения (*поток радиации*) или *энергетическая освещенность* устанавливается на основании формулы

$$E_s = F/S, \quad (8.4)$$

где  $F$  — поток излучения, равномерно падающий на поверхность  $S$ . Полагая  $F = 1$  Вт,  $S = 1$  м<sup>2</sup>, находим

$$1(E_s) = 1\text{Вт}/1\text{м}^2 = 1\text{Вт}/\text{м}^2. \quad (8.5)$$

В метеорологии под термином солнечная радиация понимается энергетическая освещенность, создаваемая излучением, приходящим от Солнца, включая излучение, рассеянное земной атмосферой и облаками и отраженное земной поверхностью. Энергетическая освещенность, создаваемая солнечным излучением на площадке, расположенной перпендикулярно к солнечным лучам, за пределами земной атмосферы при среднем расстоянии между Землей и Солнцем, называется *солнечной постоянной*  $I_0$ . Величина солнечной постоянной составляет  $I_0 = 1367$  Вт/м<sup>2</sup>.

В научной литературе используются и внесистемные единицы измерения, например, энергетическую освещенность выражают числом калорий (кал), которые получает за 1 мин на 1 см<sup>2</sup> перпендикулярно расположенной поверхности (кал/см<sup>2</sup>мин). Переход от внесистемных единиц измерений энергетической освещенности к системе СИ производится следующим образом:  $1\text{ кал}/\text{см}^2 \cdot \text{мин} = 4,185\text{ Дж} (0,01)^{-2} \text{ м}^2 \cdot 60^{-1} = 4,185 \cdot 10000/60\text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} = 697,5\text{ Вт}/\text{м}^2$ .

**Виды радиации.** Прежде чем достигнуть земной поверхности, солнечная радиация проходит через атмосферу и претерпевает в ней некоторые изменения: частично она поглощается воздухом и частично рассеивается. Поглощается солнечная радиация в основном водяными парами, аэрозолями и в меньшей степени углекислым газом и озоном.

В метеорологии потоки лучистой энергии подразделяются на *коротковолновую радиацию* с длинами волн от 0,2 до 5,0 мкм и *длинноволновую радиацию* с длинами волн от 5,0 до 100 мкм. Потоки коротковолновой радиации подразделяются на прямую, рассеянную и отраженную и имеют солнечное происхождение. Радиация, поступающая к земной поверхности непосредственно от Солнца и около-

солнечной зоны радиусом  $5^\circ$ , называется *прямой* солнечной радиацией. Прямая радиация измеряется на поверхности, перпендикулярной направлению солнечных лучей, и обозначается  $I$ . От высоты Солнца над горизонтом зависит длина пути солнечных лучей в атмосфере и инсоляция горизонтальной поверхности

$$I' = I \sin h_{\odot}, \quad (8.6)$$

где  $h_{\odot}$  — высота Солнца над горизонтом,  $I$  — прямая солнечная радиация, приходящая на поверхность, перпендикулярную солнечным лучам. Инсоляцией называется приток солнечного тепла на поверхность любой ориентации. Для измерения прямой солнечной радиации используется актинометр.

Проходя сквозь атмосферу, солнечная радиация рассеивается в оптически неоднородной среде атмосферными газами и аэрозольными примесями, имеющими различные коэффициенты преломления, и переходит в особую форму — *рассеянную* радиацию. Рассеянной солнечной радиацией ( $D$ ) называется радиация, поступающая на горизонтальную поверхность от всех точек небесного свода, за исключением диска Солнца и околосолнечной зоны радиусом  $5^\circ$ , в результате рассеяния солнечной радиации молекулами атмосферных газов, водяными каплями или ледяными кристаллами облаков и твердыми частицами, взвешенными в атмосфере.

Общий приход прямой и рассеянной радиации к горизонтальной поверхности Земли называется суммарной радиацией  $Q$ :

$$Q = I' + D. \quad (8.7)$$

Большая часть суммарной радиации, дошедшей до земной поверхности, поглощается в верхнем, тонком слое почвы или воды и переходит в тепло, а меньшая отражается. Отражение солнечной радиации земной поверхностью зависит от характера этой поверхности. Отношение количества отраженной радиации ( $I_{\text{отр}}$ ) к общему количеству радиации ( $Q$ ), падающей на данную поверхность, называется альбедо ( $A$ ) поверхности. Это отношение выражается в долях единицы или процентах:

$$A = \frac{I_{\text{отр}}}{Q} 100\%. \quad (8.8)$$

Пиранометр и альбедометр служат для наблюдения суммарной, рассеянной радиации, приходящей к деятельной поверхности, и отраженной радиации от деятельной поверхности. В отличие от коротковолновых потоков прямой, рассеянной и отраженной радиации тепловое излучение земной поверхности и атмосферы приходится на невидимую инфракрасную часть спектра. Излучение земной поверхности и атмосферы принято называть длинноволновым.

Длина волны земного излучения колеблется от 5 до 40 мкм и более. Земную радиацию чаще называют *собственным излучением земной поверхности* ( $E_з$ ). Атмосферную радиацию, приходящую к земной поверхности, называют *встречным излучением* или *противоизлучением* ( $E_а$ ) атмосферы. Разность между собственным излучением земной поверхности и встречным излучением атмосферы называется *эффективным излучением* ( $E_{эф}$ ):

$$E_{эф} = E_з - E_а. \quad (8.9)$$

Раздел метеорологии, в котором изучается энергия, излучаемая Солнцем, поверхностью Земли и атмосферой, называется актинометрией, а приборы для измерения различных видов радиации — актинометрическими.

## 8.2. Средства измерения солнечной радиации

В актинометрических приборах, используемых на сети метеорологических станций, в качестве чувствительных элементов применяются термоэлементы, с помощью которых энергия солнечных лучей преобразуется в энергию электрического тока. Термоэлектрический эффект заключается в том, что при нагреве места соединения (спая) двух разнородных проводников в замкнутой цепи, составленной из этих проводников, возникает электрический ток, или термоЭДС.

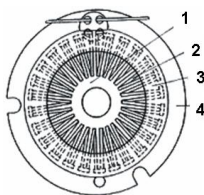


Рис. 8.1. Термобатарея актинометра: 1 — приемная пластина; 2 — термобатарея; 3 — папиросная бумага; 4 — медное кольцо

Один такой элемент, состоящий из двух разнородных проводников, называют термопарой. Этот принцип и заложен в основу всех сетевых актинометрических приборов. Для получения надежных результатов необходимо, чтобы электрический сигнал с любого из актинометрических приборов, возникающий в результате преобразования лучистой энергии, был достаточно велик для фиксирования каким-либо электрическим регистратором, например гальванометром. Однако электродвижущая сила, развиваемая одной термопарой, невелика, и

поэтому для увеличения выходного сигнала с актинометрических приборов используется ряд последовательно соединенных между собой термопар, которые образуют термобатареею (рис. 8.1).

В результате этого ЭДС в приемнике лучистой энергии возрастает в  $n$  раз, где  $n$  – число термопар в батарее. При изготовлении термобатареей в качестве приемника лучистой энергии все ее нечетные спаи располагаются таким образом, чтобы иметь одинаковую температуру, отличную от температуры четных спаев, помещаемых под воздействие радиации. Все же ЭДС, развиваемая даже термобатареей, невелика, и для измерения термотока требуются высокочувствительные гальванометры с ценой деления  $10^{-6}$  А и внутренним сопротивлением порядка 40–80 Ом. Этим требованиям отвечает стрелочный актинометрический гальванометр ГСА-1.

**Актинометр.** Актинометр Савинова-Янишевского АТ-50 предназначен для измерения прямой солнечной радиации и может служить контрольным прибором. В качестве приемника радиации служит тонкий диск 1 из серебряной фольги толщиной 20 мкм и диаметром 11 мм (рис. 8.1). Внешняя сторона диска (обращенная к Солнцу) зачернена специальным лаковым покрытием, а к внутренней стороне через папиросную бумагу приклеены 36 нечетных спаев термобатареей 2. Внешние четные спаи 3 прикреплены к сравнительно массивному медному кольцу 4. Термобатареея с медным кольцом помещена в медную трубку длиной 116 мм, имеющую на наружном конце диафрагму диаметром 20 мм, служащую приемным отверстием. Внутри трубки имеется еще ряд убывающих по диаметру диафрагм, наименьшая из которых находится рядом с термобатареей и имеет диаметр 10 мм. Ряд этих диафрагм образует телесный угол, равный  $5^\circ$  околосолнечного пространства. Провода от термобатареей через клеммы подсоединяются к гальванометру. Показания гальванометра пропорциональны силе термотока, а следовательно, и энергетической освещенности прямой солнечной радиации.

Корпус актинометра (рис. 8.2) устанавливается на стойке 10 и основании 11, на котором нанесена стрелка, с помощью которой ориентируется прибор на север. Ось 8 устанавливается по оси мира с помощью шкалы широт 9. Чтобы провести наблюдения по актинометру, нужно его сориентировать таким образом, чтобы термобатареея была нацелена на Солнце. Для этого с прибора снимается крышка 1 и направляется входное отверстие трубки на Солнце. В это время манипулируются винты 3 и 6, добиваясь такого положения трубки, чтобы образовалась концентрическая тень на экране 5, а солнечный луч, пройдя через отверстие 13 на оправе диафрагмы в виде «солнечного зайчика»,

должен попасть на черную точку, нанесенную на экране. В этом случае чувствительный элемент прибора (термобатарей) направлен перпендикулярно солнечным лучам.

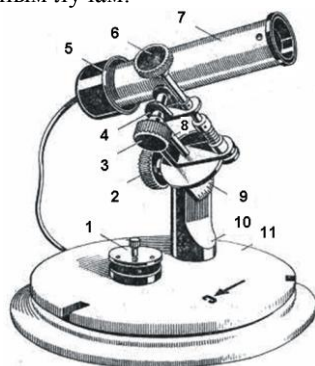


Рис. 8.2. Актинометр: 1 — крышка; 2, 3 — винты; 4 — ось склонений; 5 — экран; 6 — рукоятка; 7 — трубка; 8 — ось; 9 — сектор широт; 10 — стойка; 11 — основание

**Термоэлектрический пиранометр.** Термоэлектрический пиранометр Янишевского предназначен для измерения суммарной и рассеянной радиации, приходящей как от небесного свода, так и от предметов, расположенных на поверхности земли. Если приемник радиации этого прибора повернуть в сторону подстилающей поверхности, то он будет фиксировать отраженную радиацию. У пиранометров (рис. 8.3), используемых на сети метеорологических станций, приемником служит квадратная термобатарей, окрашенная в черно-белые поля в виде шахматной доски.

В пиранометрах применяется батарея последовательно соединенных термоэлементов, составленных из марганца и константана. Поверхность термобатарей покрыта черной краской (сажей) и белой (магнезией) таким образом, чтобы четные спаи были окрашены в один цвет, а нечетные — в другой. Применение этих покрытий обусловлено одинаковой поглощательной способностью сажи и магнезии в длинноволновой части спектра. Поскольку в области коротких волн поглощательная способность сажи интенсивнее, чем магнезии, то благодаря этой части спектра возникает разность температур между спаями.

Термобатарей пиранометра 1 (рис. 8.4) прикреплена через изолирующий слой к корпусу прибора. От крайних термоэлементов термобатарей отходят выводы к клеммам на нижней стороне корпуса (на рисунке они не видны). Вся термобатарей, раскрашенная в шахматном



порядке, крепится в квадратном вырезе диска 2, имеющем по своей образующей винтовую нарезку 3, на которую навинчивается стеклянный колпачок. Стеклянная полусфера необходима не только для защиты термобатареи от механических повреждений, но и, прежде всего, от влияния ветра.



Рис. 8.3. Пиранометр

Вся термобатарея с диском и стеклянной полусферой навинчивается на стойку с треногой, позволяющей горизонтировать приемник прибора. На этой же треноге крепится шаровой уровень для отслеживания горизонтальности установки прибора. К стойке присоединен короткий металлический стержень, на который с помощью винта крепится легкая дюралевая трубка с теньевым экраном, позволяющим затенять приемную поверхность прибора от прямых солнечных лучей и измерять в это время только рассеянную радиацию. Длина стержня дает возможность видеть диск экрана из центра приемника под углом  $10^\circ$ . При открытом приемнике измеряется суммарная радиация.

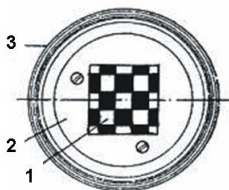


Рис. 8.4. Пиранометр (головка): 1 — термобатарея; 2 — диск; 3 — винтовая нарезка

Тренога вместе с приемником и стеклянной полусферой может опрокидываться на  $180^\circ$ , позволяя при этом направлять прибор в сторону земли и измерять отраженную коротковолновую радиацию (длинноволновую часть излучения стеклянная сфера не пропускает).

Для защиты стеклянной полусферы головка прибора снабжена крышкой.

**Походный альбедометр.** В полевых и специальных исследованиях нередко требуется неоднократная перестановка пиранометра из одного места в другое (например при маршрутных исследованиях). В этих случаях общее время, затрачиваемое на горизонтирование прибора, оказывается значительным. Походный альбедометр имеет устройство, автоматически выводящее приемную поверхность прибора в строго горизонтальное положение.

Головка альбедометра идентична головке пиранометра, однако навинчена уже на карданный подвес (рис. 8.5) — устройство, позволяющее автоматически выводить приемную поверхность прибора в горизонтальное положение. Карданный подвес состоит из двух металлических колец. Внутреннее кольцо через полуоси имеет свободу вращения внутри внешнего кольца. В свою очередь полая трубка, на которой закреплена головка пиранометра, имеет свободу вращения на полуосях, смещенных на  $90^\circ$ .

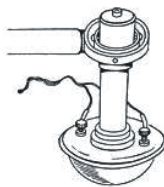


Рис. 8.5. Альбедометр походный (положение вниз)

Таким образом, поскольку альбедометр имеет двойную степень свободы вращения, то появляется возможность его автоматического горизонтирования под действием силы тяжести. Головка альбедометра навинчивается на трубку, которая по пазам может скользить вверх-вниз внутри кольца. Внутри самой трубки свободно перемещается цилиндрический грузик-противовес, который и обеспечивает надежную горизонтировку приемной поверхности. Наблюдения по походному альбедометру производятся так же, как и по пиранометру.

**Термоэлектрический балансомер.** Термоэлектрический балансомер Янишевского служит для определения разности излучения, проходящего на деятельную поверхность в виде суммарной радиации, и собственного излучения этой поверхности. В отличие от вышеупомянутых актинометрических приборов у балансомера имеется две приемных поверхности. Одна из них, обращенная к небосводу, воспринимает суммарную радиацию  $Q$  вместе с излучением атмосферы  $E_a$ . Приемник, обращенный в сторону деятельной поверхности, воспринимает

отраженную коротковолновую радиацию  $R_k$ , земное излучение  $E_3$  и часть отраженной радиации  $R_d$ , пришедшей от атмосферы и окружающих предметов. Таким образом, радиационный баланс  $B$  вычисляют по формуле

$$B = (Q + E_a) - (E_3 + I_{\text{отр}}).$$

Балансомер представляет собой круглую пластину 1 с квадратным вырезом в центральной части  $48 \times 48$  мм, в который помещен приемник радиации, изготовленный следующим образом (рис. 8.6). Приемной поверхностью прибора служат две одинаковые пластинки из тонкой медной фольги, покрывающие верхний и нижний приемники. Наружные поверхности этих пластин зачернены специальным черным лаком, поглощающая способность которого близка к поглощающей способности абсолютно черного тела.



Рис. 8.6. Балансомер термоэлектрический

К внутренней стороне пластин приклеены 10 термоэлектрических батарей, каждая из которых представляет медный брусочек, обвитый тонкой металлической полоской из константана. Половина каждого витка посеребрена, и место окончания серебряного слоя служит термоспаем, а каждый брусочек — термобатареей, которые последовательно соединены между собой. Поскольку на каждом брусочке намотано 50 витков, то в приборе находится 500 термоспаев. Четные спаи батарей испытывают тепловое воздействие одной пластинки, нечетные — другой. Разность температур пластинок пропорциональна разности потоков приходящей и уходящей радиации. Для затенения прибора от прямой радиации служит экран, закрепленный шарниром через легкую трубку. В нерабочем состоянии прибор закрывается защитным чехлом.

Показания прибора довольно значительно зависят от скорости ветра, так как его приемные поверхности не защищены. Поэтому в непосредственной близости от стойки с гальванометром, на расстоянии 0,5–1,0 м, устанавливается шест высотой 2,3 м, на конце которого крепится ветроизмерительный прибор (ручной анемометр), по показаниям которого вводятся добавочные поправки.

## **Глава 9. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**

Для автоматизации измерения метеовеличин и автоматического формирования метеоинформации, необходимой при метеорологическом обеспечении, устанавливаются и используются автоматизированные метеорологические измерительные системы (АМИС). Эти устройства представляют собой комплексную автоматическую систему получения, обработки, распространения и отображения в реальном времени метеорологических параметров. В настоящее время на аэродромах гражданской авиации России используются несколько типов АМИС:

- комплексные радиотехнические автоматические метеорологические станции КРАМС-2, КРАМС-2 АРМ, КРАМС-4;
- аэродромная метеорологическая информационно-измерительная система АМИС-РФ;
- автоматизированная система погодного наблюдения AWOS;
- автоматическая метеорологическая измерительная система АМИС-1.

Все вышеперечисленные АМИС обеспечивают автоматическое измерение, сбор и обработку информации о МОД, ВНГО, параметрах ветра, атмосферном давлении, температуре и влажности воздуха; ручной ввод метеовеличин; определение дальности видимости на ВПП; осреднение метеовеличин; формирование сводок погоды, передаваемых в линии связи. Расширенный объем автоматически измеряемой, обрабатываемой, формируемой и распространяемой метеоинформации обеспечивает комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция КРАМС-4.

### **9.1. Комплексная метеорологическая станция КРАМС**

Комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция КРАМС-4 (рис. 9.1) предназначена для выполнения следующих функций:

- измерения и сбора информации об основных метеорологических величинах на аэродроме;
- ручного ввода информации о метеовеличинах и других параметрах, не измеряемых автоматически;
- обработки информации, измеренной автоматически и введенной вручную;

– автоматического формирования и передачи метеорологических сообщений;

– отображения, регистрации и распространения информации по каналам связи для обеспечения взлета и посадки воздушных судов и обмена между аэродромами (аэропортами).

КРАМС-4 может использоваться на всех аэродромах, включая аэродромы точного захода на посадку I, II и III категорий, имеющие одну, две и три ВПП. Выпускается «Институтом радарной метеорологии» и рекомендована к применению на авиаметеорологической сети Росгидромета.

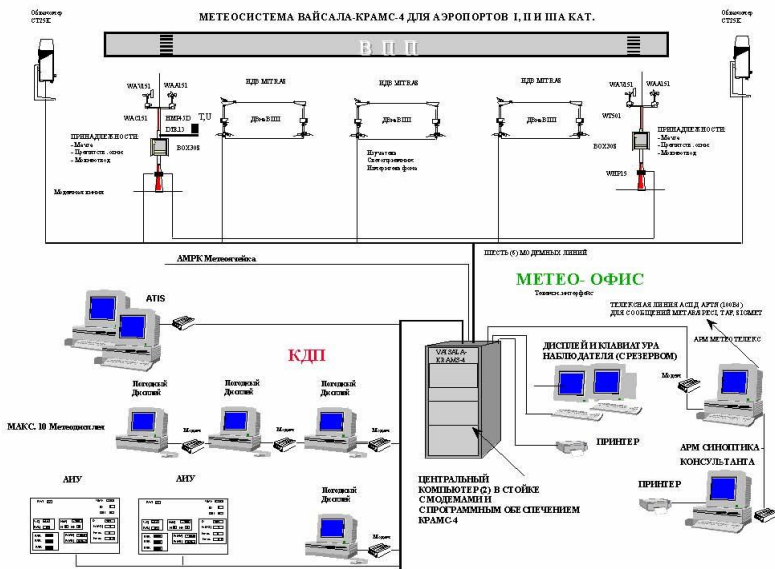


Рис. 9.1. Структурная схема КРАМС-4

*Принцип действия и устройство.* Принцип действия КРАМС-4 основан на использовании надежных высокопроизводительных персональных электронно-вычислительных машин со специальным программным обеспечением для проведения автоматических измерений метеовеличин с помощью подключенных датчиков и измерительных преобразователей, ручного ввода метеовеличин, обработки всей информации и автоматического формирования сообщений с выдачей на средства отображения и в линии связи. КРАМС-4 относится к автома-

тизированным измерительным системам, а по ГОСТ 21.039-75 — к системам человек-машина (СЧМ), т.е. состоящим из человека-оператора (техника-метеоролога, метеонаблюдателя) и электронно-вычислительной машины (ПЭВМ) с подключенными к ней датчиками, первичными и промежуточными измерительными преобразователями метеовеличин.

Техник-метеоролог с помощью КРАМС-4 осуществляет метеорологическое обеспечение полетов на аэродроме, производя ручной ввод метеовеличин, не измеряемых автоматически и необходимых для формирования информации, производит контроль и коррекцию (при необходимости) всей выдаваемой автоматически метеоинформации, используя дисплей, клавиатуру и другие средства ПЭВМ. По метрологической классификации КРАМС-4 относится к измерительным системам целевого применения, изготавливаемым в России единичными экземплярами или мелкими партиями в виде законченного изделия, устанавливаемого на месте эксплуатации по эксплуатационной документации. Эти измерительные системы включают три компонента: измерительный, вычислительный и связующий.

*Измерительный компонент* состоит из датчиков, первичных и промежуточных измерительных преобразователей метеовеличин.

В измерительный компонент входят датчики метеовеличин и измерительные преобразователи, сертифицированные Госстандартом России и Комиссией по сертификации аэродромов и оборудования МАК:

– датчики метеорологической оптической дальности — фотометры импульсные ФИ-1 и ФИ-2, трансиссометры Mitras (фирмы Vaisala, Финляндия), «Пеленг СФ-01» (Республика Беларусь), нефелометры FD12/FD12P (фирмы Vaisala, Финляндия);

– датчики яркости фона LM11, входящие в комплект трансиссометров Mitras или нефелометров FD12/FD12P (фирмы Vaisala, Финляндия);

– датчики высоты облаков — ДВО от КРАМС-2 с передатчиком и приемником РВО-2М, облакомер СТ25К, датчик ВНГО «Пеленг СД-01-2000»;

– датчики параметров ветра М127 (датчик мгновенной скорости и направления ветра анеморумбометра М63М-1), датчик скорости WAA15A/151, направления WAV 15A/151 с преобразователем WAT 15;

– датчики атмосферного давления ДД от КРАМС-2, авиационный барометр РА21 и цифровые барометры серии РТВ220 (фирмы Vaisala, Финляндия);

– датчики температуры и влажности воздуха ДТВ от КРАМС-2, датчик температуры и влажности воздуха НМР 35D/45D (фирмы Vaisala, Финляндия);

– промежуточные измерительные преобразователи БУП от КРАМС-2, а также MILOS 500, QLI, QLM, преобразователи серии 500 (Финляндия).

*Вычислительный компонент* в КРАМС-4 представлен центральной вычислительной системой, состоящей из двух комплектов (основная и резервная) ПЭВМ с дисплеями, клавиатурой и манипулятором «мышь»; двух регистрирующих устройств (принтеров); базового и специального программного обеспечения.

Центральная система КРАМС-4 обеспечивает:

– управление работой датчиков, первичных и промежуточных измерительных преобразователей метеовеличин;

– ручной ввод метеовеличин, не измеряемых автоматически, и информации, необходимой для вычисления производной метеоинформации (RVR, QFE, QNH и др.);

– обработку и преобразование информации, поступившей на вход ПЭВМ от датчиков, первичных и промежуточных измерительных преобразователей и ручного ввода, автоматическое включение этой информации в сводки погоды, передаваемые на средства отображения и в линии связи (выходная информация);

– обработку результатов шаропилотных наблюдений;

– регистрацию (архивацию) всей измеряемой и выдаваемой информации с возможностью распечатки ее на принтере в виде сводок, таблиц и графиков;

– печать журнала фактической погоды АВ-6;

– прием, обработку и картографическое представление радиолокационной информации при ее получении от АМРК «Метеочейка»;

– работу оператора (техника-метеоролога) по управлению и контролю всей измерительной системой КРАМС-4.

Центральная система КРАМС-4 работает в среде операционной системы Windows NT. Алгоритмы и программы обработки результатов измерений метеовеличин, используемые в вычислительном компоненте КРАМС-4, описаны в Руководстве по эксплуатации.

*Связующий компонент* представлен пакетом программ приема-передачи метеорологических данных «Метеосвязь», предназначенных для приема и передачи метеорологических данных по телеграфным и телефонным каналам связи. Конфигурация пакета «Метеосвязь» в КРАМС-4 характеризуется максимальным числом каналов (18), выде-

лением каналов для датчиков и промежуточных измерительных преобразователей, выделением каналов для передачи данных.

Для приема-передачи сигналов используются последовательные линии RS232, для увеличения дистанционности передачи сигналов — модемы типа DMX55, ZYXEL V3365/ U336R. Подробное описание связующего компонента ИС КРАМС-4 дано в Руководстве по эксплуатации. КРАМС-4 базовой комплектации имеет пять измерительных каналов: определения дальности видимости на ВПП (RVR), измерения высоты нижней границы облаков (вертикальной видимости), измерения параметров ветра, измерения атмосферного давления, измерения температуры и влажности воздуха. При расширенной комплектации КРАМС-4, т.е. при подключении новых датчиков метеовеличин, число измерительных каналов может быть увеличено до 18.

*Канал определения дальности видимости на ВПП.* На вход этого измерительного канала вычислительного компонента КРАМС-4 подаются следующие сигналы и информация:

- измерительные сигналы от двух или трех (в зависимости от длины ВПП) датчиков метеорологической оптической дальности в цифровом коде БУП при использовании в качестве датчиков МОД фотометров импульсных (ФИ-1, ФИ-2) или в цифровом коде ASCII при использовании в качестве датчиков МОД трансмиссометров Mitras или нефелометров FD12/ FD12P;

- сила света огней (ступени, кнопки) аэродромной светосигнальной системы, которые используются при обеспечении захода на посадку, посадки и взлета воздушных судов, введенная вручную;

- освещенность (ночь, сумерки, день, пасмурный день), введенная вручную; возможно поступление цифровых измерительных сигналов в коде ASCII от трансмиссометра Mitras или нефелометра FD12/FD12P, на котором установлен первичный измерительный преобразователь яркости фона LM11.

Выходными сигналами этого измерительного канала являются:

- значения дальности видимости на ВПП, скользяще осредненные за истекшую 1 мин. в сторону меньшего значения, кратного 25 м при RVR до 400 м, 50 м при RVR от 400 до 800 м, 100 м при RVR более 800 м, определенные (оцененные) по результатам измерения МОД каждым датчиком, установленным у ВПП (для передачи на средства отображения);

- значения дальности видимости на ВПП, осредненные за 10 мин., предшествующие сроку наблюдения (сроку формирования сводки в коде METAR), в сторону меньшего значения, кратного 25 м при RVR от 50 до 400 м, 50 м при RVR от 400 до 800 м, 100 м при RVR



более 800 м, и результаты анализа изменения RVR за эти 10 мин. для включения информации об изменении RVR в сводки погоды в коде METAR/SPECI;

- минимальное значение метеорологической оптической дальности, выбранной из двух-трех значений, по которым определена (оценена) дальность видимости на ВПП;

- предупреждения о переходе RVR через пороговые значения, установленные инструкцией по метеорологическому обеспечению полетов на аэродроме.

*Канал измерения высоты нижней границы облаков (вертикальной видимости).* На вход этого измерительного канала вычислительного компонента КРАМС-4 поступают:

- измерительные сигналы от датчика высоты облаков (ДВО) в коде БУП, поступающие от блока управления и преобразования при комплектации КРАМС-4 датчиками метеовеличин от КРАМС-2 в виде второго минимума из результатов восьми одnoseкундных измерений высоты нижней границы облаков, поступающих на вход измерительного канала через 15 с.;

- или измерительные сигналы в коде ASCII от датчика высоты облаков СТ25К (Aviator LD12, «Пеленг СД-01-2000») через определенный временной интервал, выбираемый датчиком в зависимости от высоты нижней границы облаков (вертикальной видимости).

Выходными сигналами этого измерительного канала являются:

- скользяще выбранные вторые минимальные значения высоты нижней границы облаков (вертикальной видимости) из восьми скользяще выбранных вторых минимумов высоты нижней границы облаков (вертикальной видимости) за временной интервал 15 с., приведенные к уровню порога ВПП рабочего старта (направления захода на посадку и посадки воздушных судов), при разности высоты установки датчика ВНГО и высоты порога ВПП 10 м и более;

- предупреждения о переходе пороговых значений высоты нижней границы облаков (вертикальной видимости), установленных инструкцией по метеорологическому обеспечению полетов на аэродроме.

*Канал измерения параметров ветра.* На вход этого измерительного канала вычислительного компонента КРАМС-4 поступают: измерительные сигналы от первичных измерительных преобразователей М-127, поступающие через БУП, т. е. преобразованные в цифровой код БУП, о мгновенных значениях (осредненных за 3–5 с.) скорости и направления ветра или измерительные сигналы от первичных измерительных преобразователей скорости WAA15A/151 и направления WAV15A/151 о мгновенных значениях скорости и направлении

ветра, преобразованные в цифровой код ASCII в промежуточных измерительных преобразователях MILOS 500, QLI или в преобразователе WAT15.

Выходными сигналами этого измерительного канала являются:

- скользяще осредненные значения скорости и направления ветра за истекшие 2 и 10 мин.;
- максимальная скорость ветра, скользяще выбранная за истекшие 10 мин.;
- перпендикулярная к ВПП составляющая максимальной скорости ветра;
- направление ветра, исправленное на магнитное склонение;
- предупреждения об увеличении максимальной скорости ветра и переходе ее через пороговые значения, установленные инструкцией по метеорологическому обеспечению полетов на аэродроме;
- результаты анализа изменения скорости и направления ветра за 10 мин., предшествующие сроку формирования сводок в кодовой форме METAR, и выдача предупреждений о нестабильности направления ветра.

*Канал измерения атмосферного давления.* На вход этого измерительного канала вычислительного компонента КРАМС-4 поступают: измерительные сигналы в цифровом коде БУП при использовании в качестве первичного измерительного преобразователя датчика давления (ДД) КРАМС-2 через преобразователь БУП или измерительные сигналы в цифровом коде ASCII от первичного измерительного преобразователя атмосферного давления DPA21, встроенного в преобразователь MILOS 500, или от цифрового барометра серии PTB220.

Выходными сигналами этого измерительного канала являются:

- значения давления на уровне порогов ВПП (QFE) в целых единицах гектопаскаля или миллиметра ртутного столба, округленные в сторону меньшего значения;
- значения давления, приведенные к уровню моря по стандартной атмосфере (QNH), в целых единицах гектопаскаля или миллиметра ртутного столба, округленные в сторону меньшего значения;
- значения давления, приведенные к уровню моря по реальной атмосфере (QFF), в гПа (с точностью до десятых долей);
- барическая тенденция (значение и форма кривой изменения атмосферного давления за прошедшие 3 ч. в соответствии с международным кодом FM12-IX SYNOP (KH-01)).

*Канал измерения температуры и влажности воздуха.* На вход этого измерительного канала вычислительного компонента КРАМС-4 поступают: измерительные сигналы в цифровом коде БУП при исполь-

зовании в качестве первичного измерительного преобразователя температуры и влажности датчика от КРАМС-2 (БДТВ) или измерительные сигналы в цифровом коде ASCII при использовании датчика температуры и влажности воздуха HMP35D/45D, подключаемого к КРАМС-4 через преобразователи MILOS 500 или QLI50, QLM101, или WT серии 500. Выходными сигналами этого измерительного канала являются: температура воздуха, относительная влажность воздуха, температура точки росы, парциальное давление водяного пара.

Вышеперечисленные измерительные каналы КРАМС-4 выполняют законченные функции — от восприятия измеряемой величины до получения информативного значения физической величины, необходимого для формирования информации, используемой при метеорологическом обеспечении полетов. Такое построение измерительной системы целесообразно с точки зрения метрологического обеспечения и позволяет производить покомпонентную периодическую и первичную поверку КРАМС-4 при ее эксплуатации, при которой датчики, первичные и промежуточные измерительные преобразователи поверяются отдельно по своим нормативным документам. Поверка вычислительного компонента в соответствии с требованиями нормативных документов является заключительным этапом метрологического обеспечения измерений метеовеличин системой КРАМС-4.

Таблица 9.1

Диапазоны и погрешности измерения метеовеличин системой  
КРАМС-4 с датчиками КРАМС-2

Метеорологическая величина	Диапазон измерения	Предел допускаемой погрешности измерения
Метеорологическая оптическая дальность (видимости), МОД	от 50–60 до 6000 м	±20% при МОД от 50 до 150 м ±15% от 150 до 250 м ±10% от 250 до 400 м ±7% от 400 до 1 500 м ±10% от 1 500 до 3000 м ±20% от 3000 до 6000 м
Высота нижней границы облаков	15–1000 м	±10 м диапазоне 15–150 м ±10% диапазоне 150–1000 м
Мгновенная скорость	1,5–55 м/с	±(0,5–0,05V) м/с
Направление ветра	1–360°	±10°
Атмосферное давление	600–1080 гПа	±0,5 гПа
Температура воздуха	-60–50°C	±0,4°C
Относительная влажность воздуха	30–100%	±5% при $t$ выше 0°C ±10% при $t$ ниже 0°C

*Технические характеристики.* КРАМС-4 производит автоматические дистанционные непрерывные измерения и обработку следующих метеовеличин:

- метеорологической оптической дальности (видимости) с целью оценки (определения) дальности видимости на ВПП;
- яркости фона (при наличии датчика яркости фона);
- высоты нижней границы облаков (вертикальной видимости);
- мгновенной скорости и направления ветра с целью выдачи значений скорости и направления ветра, осредненных за 2 и 10 мин.;
- максимальной скорости ветра за 10 мин;
- атмосферного давления; приводит его к уровню порогов ВПП и уровню моря (QFE, QNH и QFF);
- температуры и влажности воздуха.

Возможно измерение других метеорологических величин за счет подключения датчиков, например, датчика осадков, датчика состояния поверхности ВПП и др. Диапазоны и пределы допускаемых погрешностей измерения метеовеличин зависят от технических характеристик подключаемых датчиков. КРАМС-4 выпускается с набором различных датчиков, сертифицированных Госстандартом России и Комиссией по сертификации аэродромов и оборудования МАК, например фирмы Vaisala (Финляндия). Диапазоны и погрешности измерения метеовеличин системой КРАМС-4 представлены в табл. 9.1–9.2.

В КРАМС-4 обеспечен ручной ввод метеовеличин и информации, необходимой для вычисления (определения) не измеряемых автоматически метеовеличин и данных для автоматического включения в местные регулярные и специальные сводки и в кодах METAR/SPECI, к ним относятся: количество облаков (общее и нижнего яруса); формы облаков (кучево-дождевые и мощные кучевые); атмосферные явления; количество и интенсивность осадков; скорость и направление ветра на разных высотах; сдвиг ветра в нижнем слое атмосферы; турбулентность и обледенение; сила света огней (ступени, кнопки) аэродромной светосигнальной системы.

Вводят освещенность (ночь, сумерки, день) в случае отсутствия датчика яркости фона; коэффициент сцепления с ВПП; рабочий курс захода на посадку и посадки воздушных судов; данные для обработки шаропилотных наблюдений; тенденция изменения условий посадки (тренд); данные для печати журнала фактической погоды (АВ-6).

По результатам измерения метеовеличин, ручному вводу метеовеличин и другой информации, перечисленной выше, КРАМС-4 обеспечивает:

– определение (оценку) дальности видимости на ВПП по всем датчикам МОД, входящим в состав (конфигурацию) КРАМС-4, ее анализ, осреднение в соответствии с требованиями стандартов и рекомендаций ИКАО в диапазоне 50–2000 м с погрешностью не более  $\pm 10$  м при RVR от 50 до 400 м,  $\pm 25$  м при RVR от 400 до 800 м,  $\pm 10\%$  при RVR от 800 до 2000 м, а также округление в сторону меньшего значения, кратного 25 м при RVR до 400 м, 50 м при RVR от 400 до 800 м, 100 м при RVR более 800 м;

– выбор минимального значения МОД из двух-трех значений, полученных от датчиков, установленных у ВПП, передачу этого значения на средства отображения и его отображение на блоках индикации;

Таблица 9.2

Диапазоны и погрешности измерения метеовеличин системой КРАМС-4 с датчиками фирмы Vaisala (Финляндия)

Метео-величина	Диапазон измерения	Предел допускаемой погрешности измерения
МОД видимости	7–4000 м, две базы 10 и 75 м	$\pm 10\%$ при МОД от 7 до 20 м $\pm 5\%$ от 20 до 1000 м $\pm 10\%$ от 1000 до 2600 м $\pm 15\%$ от 2600 до 4000 м
ВНГО, вертикальная видимость	15–7500 м	$\pm 10$ м в диапазоне 15–100 м $\pm 10\%$ диапазоне 100–7500 м
Мгновенная скорость	0,6–75 м/с	$\pm(0,2 + 0,02V)$ м/с
Направление ветра	1–360°	$\pm 3^\circ$
Атмосферное давление	600–1050 гПа	$\pm 0,3$ гПа при $t$ от 5 до 55°С в диапазоне 800–1050 гПа $\pm 0,5$ гПа при $t$ от -40 до 55°С в диапазоне 500–1050 гПа
Температура	-40 до 50°С	$\pm 0,4^\circ\text{С}$
Относительная влажность воздуха	20–100%	$\pm 4\%$ при $f$ от 10 до 90% $\pm 5\%$ при $f$ от 90 до 100%
Яркость фона	0–30 000 кд/м <sup>2</sup>	$\pm 15^\circ$

– обработку результатов измерения высоты нижней границы облаков (вертикальной видимости), т.е. скользящий выбор второго минимума из восьми измерений за истекшие 2 мин.;

– скользящее осреднение измеренных мгновенных значений скорости и направления ветра за истекшие 2 и 10 мин. и автоматическое включение осредненных значений за истекшие 2 мин. в

местные регулярные и специальные сводки, а за 10 мин. в сводки погоды в кодах METAR/SPECI;

- анализ изменения скорости и направления ветра в соответствии со стандартами и рекомендациями ИКАО и включение результатов анализа в сводки;

- скользящий выбор максимальной скорости ветра за истекшие 10 мин., включение максимальной скорости ветра в сводки и отображение на блоках индикации;

- вычисление перпендикулярной к ВПП максимальной скорости ветра и отображение ее на блоках индикации;

- корректировка направления ветра на магнитное склонение при его величине 5° и более и отображение направления ветра, исправленного на магнитное склонение, на средствах отображения;

- приведение атмосферного давления, измеренного датчиком атмосферного давления, к уровню порогов ВПП (QFE), к уровню моря по стандартной атмосфере (QNH) и к уровню моря по реальной атмосфере (QFF), а также автоматическое включение приведенных значений в сводки погоды;

- определение барической тенденции в соответствии с требованиями международного кода FM12-IX SYNOP (KH-01).

КРАМС-4 обеспечивает автоматическое формирование и передачу информации в следующие сроки:

- на средства отображения (блоки индикации) без задержки (с интервалом не более 15 с.) после формирования сообщения (регулярной и специальной сводки); периодичность обновления информации устанавливается метеонаблюдателем по выбору (1, 30 и 60 мин.); специальные сводки об окончании (ослаблении) опасных для авиации метеорологических условий или переходе пороговых значений метеовеличин в сторону улучшения условий взлета и посадки передаются с задержкой, но не более 2 мин. после их окончания (ослабления);

- в кодовой форме METAR/SPECI не более чем через 1 мин. после срока наблюдения или возникновения (усиления) опасных для авиации метеорологических условий взлета и посадки или перехода пороговых значений метеовеличин в сторону ухудшения; информация в кодах METAR/SPECI об окончании (ослаблении) опасных для авиации метеорологических условий или переходе через пороговые значения метеовеличин в сторону улучшения дается с задержкой 10 мин. после их окончания (ослабления) и невозобновления в течение этого периода; периодичность передачи сводок в коде METAR составляет 0,5 и 1,0 ч., в коде KH-01 — 3 ч.

В КРАМС-4 обеспечивается:

– автоматический прием информации от АМРК «Метеоячейка» по телефонному каналу связи со скоростью 1200–9600 бит/с, что позволяет получать и распространять информацию о расположении кучево-дождевой облачности и связанных с ней атмосферных явлений в районе аэродрома;

– автоматическая регистрация (запись в архив с возможностью распечатки на печатающем устройстве) всей автоматически измеренной, введенной вручную и выданной информации; время хранения записанной в архив информации не менее 30 сут.;

– построение и печать графиков изменения во времени дальности видимости на ВПП, высоты нижней границы облаков (вертикальной видимости), параметров ветра по каждому входящему в комплектацию (конфигурацию) датчику;

– ведение календаря и счет времени с погрешностью не более  $\pm 5$  с. в сутки, а также коррекция счета времени (при необходимости);

– предварительный контроль и исправление всей информации, выдаваемой системой;

– автоматическая обработка шаропилотных наблюдений и печать книжек шаропилотных наблюдений КАЭ-1;

– печать журнала фактической погоды на аэродроме (форма АВ-6);

– печать книжек гидрометеорологических наблюдений (форма КМ-1) и таблиц основных метеорологических данных за месяц (форма ТМ-1).

На средства отображения (блоки индикации) передается следующий объем метеоинформации: дальность видимости на ВПП (три значения, соответствующие датчикам МОД, установленным у ВПП); минимальное (из трех) значение МОД; количество облаков (общее и нижнего яруса); высота нижней границы облаков по датчику, установленному на БПРМ рабочего курса захода на посадку и посадки; основные атмосферные явления; средние (скользяще осредненные за 2 мин.) скорость и направление ветра; максимальная (порывы) скорость ветра (скользяще выбранная за истекшие 10 мин.); перпендикулярная к ВПП составляющая максимальной скорости ветра или коэффициент сцепления с ВПП; атмосферное давление на уровне порога ВПП в гПа и в миллиметрах ртутного столба; температура воздуха; относительная влажность или температура точки росы; время наблюдения (измерения); рабочий курс захода на посадку и посадки воздушных судов (рис. 9.2).

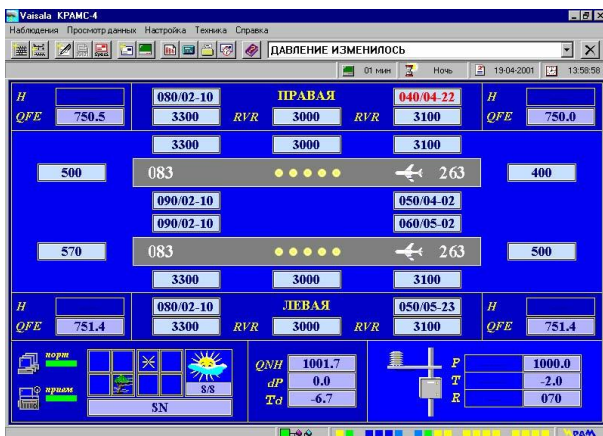


Рис. 9.2. Средство отображения КРАМС-4

При применении в качестве средств отображения дисплеев ПЭВМ (монитор) кроме вышеперечисленной метеоинформации передается следующее: направление и скорость ветра на разных высотах; коэффициент сцепления с ВПП с возможностью отображения перпендикулярной к ВПП составляющей максимальной скорости ветра; температура точки росы с отображением относительной влажности; давление, приведенное к уровню моря по стандартной атмосфере (QNH); наличие и местоположение грозных очагов; другая информация, например, данные от дополнительных датчиков, установленных у ВПП. Перечисленная выше метеоинформация передается на десять выносных средств отображения (блоки индикации) и одно контрольное (метеонаблюдателя).

В КРАМС-4 предусмотрены звуковая и световая сигнализации на выносных средствах отображения о возникновении опасных для авиации метеорологических условий взлета и посадки, а также о переходе пороговых значений метеовеличин в сторону ухудшения. При отказе датчиков метеовеличин или обрыве линий связи, по которым производится передача измерительных сигналов, в КРАМС-4 сработает сигнализация, отображаемая на экране дисплея метеонаблюдателя. В случае отказа основной ПЭВМ обеспечен оперативный переход на резервную, а при отказе любого датчика метеовеличин — ручной ввод.

Обеспечивается следующая дистанционность передачи измерительных сигналов от датчиков метеовеличин до входа ПЭВМ по аэродромным линиям связи: от датчиков КРАМС-2 (ФИ-1 или ФИ-2, ДВО,



М-127) до 8 км; от ИДВ-Mitras (при использовании модемов DMX21) до 50 км; от облакомера СТ25К (при использовании модемов DMX50 или DMX55) до 16 км; от датчиков параметров ветра (WAA15A/151, WAV15A/151с преобразователем WAT15) до 50 км (через модемы); от промежуточного преобразователя (MILOS 500, QLI50, QLM) до 50 км. Дистанционность передачи информации на выносные средства отображения не менее 10 км. КРАМС-4 электромагнитно совместима с визуальными и не визуальными навигационными средствами аэродромов. Датчики и вторичные измерительные преобразователи метеовеличин фирмы Vaisala (Финляндия) (Mitras, СТ25К, WAA 15A/151, WAV15A/151, WAT15, MILOS 500, QLI50 и др.) по электромагнитной совместимости соответствуют международным и европейским стандартам.

Центральная система КРАМС-4, средства отображения и другие изделия, устанавливаемые в рабочем помещении метеонаблюдателей, работоспособны при следующих условиях: температура воздуха от 5 до 40°С; относительная влажность воздуха до 80% при температуре 25°С. Центральная система КРАМС-4 работоспособна при электропитании от сети однофазного переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Потребляемая мощность электропитания центральной системы 1000 ВА. Показатели надежности: средний ресурс системы КРАМС-4 составляет 80 000 ч. в течение среднего срока службы 10 лет при условии замены комплектующих датчиков, первичных и промежуточных измерительных преобразователей метеовеличин и других комплектующих частей, выработавших свой ресурс; среднее время наработки на отказ системы КРАМС-4 составляет 1000 ч.; среднее время восстановления после отказа 2 ч.

*Комплектность (конфигурация).* В состав (конфигурацию) базовой системы КРАМС-4 для одной ВПП с датчиками метеовеличин от КРАМС-2 входят: центральная система (основная и резервная); средства отображения метеоинформации, состоящие из комплекта блоков индикации, автономного индикаторного устройства или 10 блоков индикации на дисплеях ЭВМ; модем с комплектом разъемов; источник бесперебойного питания (UPS); блок управления и преобразования (БУП); блок датчиков температуры и влажности воздуха (БТВ); датчик атмосферного давления (ДД); датчик параметров ветра (М127); датчик высоты облаков (ДВО); датчик метеорологической оптической дальности (ФИ-1 или ФИ-2); эксплуатационная документация.

В состав (конфигурацию) базовой системы КРАМС-4 для одной ВПП (рис. 9.3) с датчиками, первичными и промежуточными измери-

тельными преобразователями фирмы Vaisala (Финляндия) входят центральная система (основная и резервная); средства отображения метеоинформации, состоящие из комплекта блоков индикации автономного индикаторного устройства или 10 блоков индикации на дисплеях ЭВМ; модем с комплектом разъемов; источник бесперебойного питания (UPS); промежуточный измерительный преобразователь MILOS 500 или QLI (QLM) с датчиком температуры и влажности воздуха HMP35D/45D, датчиком скорости WAA15A/151 и направления WAV 15A/151 ветра и встроенным в MILOS 500 или отдельным первичным измерительным преобразователем атмосферного давления DPA21; датчик параметров ветра (WAA15A/151, WAV15A/151 с преобразователем WAT 15); датчик высоты облаков CT25K; датчик метеорологической оптической дальности (Mitras или нефелометр FD12/FD12P); датчик яркости фона LM11; эксплуатационная документация. По заказу потребителя состав (конфигурация) КРАМС-4 может быть расширен, что обеспечивает размещение датчиков, первичных и промежуточных измерительных преобразователей метеовеличин у двух-трех ВПП, или уменьшен, например, для ВПП длиной менее 2000 м.

*Размещение и установка КРАМС-4 на аэродромах.* Автоматизированные метеорологические измерительные системы должны устанавливаться на аэродромах с ВПП, обеспечивающими заход на посадку и посадку по II и III категориям.

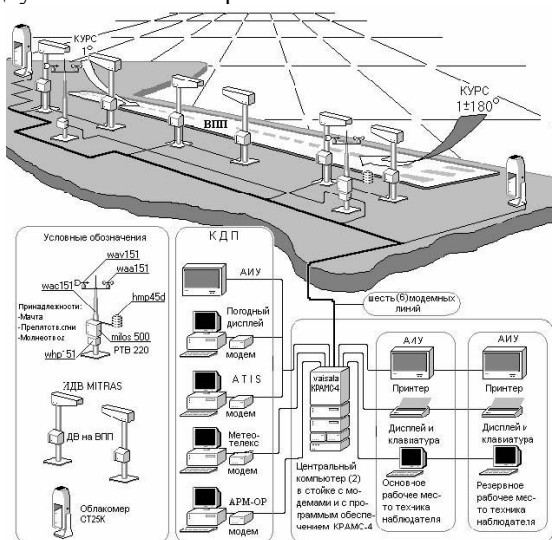


Рис. 9.3. Структурная схема КРАМС-4 с датчиками

При этом они должны размещаться следующим образом: специализированные ЭВМ — в рабочих помещениях метеонаблюдателей; датчики, первичные и промежуточные измерительные преобразователи метеовеличин — у ВПП. Центральная система КРАМС-4 устанавливается в рабочем помещении метеонаблюдателей; для установки аппаратуры, входящей в центральную систему, необходимо помещение площадью не менее 15 м<sup>2</sup>, оборудованное стандартным набором мебели для оператора ЭВМ (метеонаблюдателя); допускается установка аппаратуры на столах; место установки центральной системы должно быть оборудовано четырьмя розетками электропитания на каждый комплект ПЭВМ.

При эксплуатации КРАМС-4 производится техническое обслуживание центральной системы, датчиков, первичных и промежуточных измерительных преобразователей метеовеличин, средств отображения метеоинформации и линий связи.

## **9.2. Автоматические информационно-измерительные системы**

*Аэродромная информационно-измерительная система АМИС-РФ.* Аэродромная метеорологическая информационно-измерительная система АМИС-РФ предназначена для автоматических измерений основных метеорологических величин, ручного ввода метеовеличин, обработки результатов автоматических измерений и ручного ввода метеовеличин, автоматического формирования сообщений (сводок погоды) и распространения их в линии связи и на средства отображения, а также регистрации измерений и переданной информации.

АМИС-РФ может использоваться на всех аэродромах, в том числе на аэродромах (ВПП), обеспечивающих заход на посадку и посадку по приборам I, II и III категорий, имеющих одну или две ВПП. АМИС-РФ выпускается Институтом геофизического приборостроения и рекомендована к применению в авиаметеорологической сети Росгидромета.

Принцип действия АМИС-РФ так же, как и принцип действия КРАМС-4, основан на использовании надежных высокопроизводительных персональных электронно-вычислительных машин со специальным программным обеспечением, при котором с помощью датчиков, первичных и промежуточных измерительных преобразователей метеовеличин, автоматического и ручного ввода метеовеличин, их обработки производится формирование информации, необходимой для аэродромного метеорологического обеспечения полетов.

В состав АМИС-РФ входят персональный компьютер, дисплей с клавиатурой и манипулятором; регистрационный принтер, источник бесперебойного питания UPS, базовое и программное обеспечение; магнитный накопитель, блок сопряжения с индикаторными устройствами и индикаторное устройство АИУ; датчики МОД ИДВ Mitras; ВНГО СТ25К; параметров ветра WAA15A/151, WAV15A/151, WAT15; первичные измерительные преобразователи атмосферного давления DPA21, температуры и влажности воздуха НМР35D, подсоединенные через промежуточный преобразователь MILOS 500.

Технические характеристики АМИС-РФ аналогичны техническим характеристикам КРАМС-4, например, диапазоны и пределы допускаемых погрешностей измерения метеовеличин АМИС-РФ соответствуют диапазонам и пределам допускаемых погрешностей измерения метеовеличин. Однако в АМИС-РФ не обеспечивается автоматический прием информации от АМРК «Метеоячейка», не предусмотрена автоматическая обработка шаропилотных наблюдений, печать журнала фактической погоды (форма АВ-6), книжек гидрометеорологических наблюдений (форма КМ-1) и таблиц основных метеорологических данных за месяц (форма ТМ-1).

***Автоматизированная аэродромная система погодного наблюдения AWOS.*** Автоматизированная аэродромная система погодного наблюдения AWOS предназначена для автоматического измерения, сбора и обработки метеовеличин от датчиков, установленных на аэродроме, формирования метеоинформации и передачи ее по назначению.

AWOS выпускается фирмой Jenoptik Impulsphysik (Германия).

В состав AWOS входят:

- две рабочие станции оператора (основная и резервная), состоящие из процессоров с памятью 8 Мб, клавиатуры, жесткого диска 540 Мб, 3,5-дюймового гибкого диска, 15-дюймовых цветных мониторов типа VGA, двух стандартных серийных (RS232C) портов и одного серийного интерфейсного порта для локального принтера;

- два центральных информационно-собирающих блока (ЦСБ), предназначенных для увеличения надежности системы путем использования добавочного дублирования;

- три трансмиссометра Skopograph Flamingo;

- прибор прямого рассеяния Fumosens VI;

- датчик яркости фона Stilbus;

- три датчика высоты облаков Aviator LD12;

- два датчика скорости и направления ветра This;

– комплект датчиков метеоплощадки, состоящий из первичных измерительных преобразователей атмосферного давления, температуры и влажности воздуха, температуры над поверхностью почвы.

Диапазоны и погрешности измерения метеовеличин приведены в табл. 9.3.

Таблица 9.3

Диапазоны и погрешности измерения метеовеличин в AWOS

Величина	Диапазон измерения	Погрешность измерения
Метеорологическая оптическая дальность	50–3000 м	5% при МОД до 1000 м 10% при МОД от 1000 до 2600 м 15% при МОД от 2600 до 4000 м
Яркость фона	3–30 000 кд/м <sup>2</sup>	10%
Высота нижней границы облаков	15–3200 м	10 м при ВНГО от 15 до 100 м 5% при ВНГО от 100 до 3200 м
Скорость ветра	0,3–50 м/с	0,5 м/с
Направление ветра	1–360°	5°
Атмосферное давление	600–1100 гПа	0,5 гПа
Температура воздуха	-30 до 50°С	0,4°С
Относительная влажность воздуха	0–100%	1%
Температура над поверхностью почвы	-30 до 50°С	0,5°С
Количество осадков	0,2–100 мм	0,2 мм

**Автоматическая информационно-измерительная система «ПОГОДА».** При использовании в ЦГМС АИС «МЕТЕОЦЕНТР» сетевые метеорологические станции должны быть оснащены АИИС «ПОГОДА» (рис. 9.4).

АИИС «ПОГОДА» прошла сертификацию в Госстандарте России (сертификат Росстандарта № 5252 от 30 июля 1998 г. об утверждении типа средств измерений, зарегистрирована в Государственном реестре средств измерений за № 17529-98) и по решению ЦКПМ Росгидромета рекомендована для применения в наземной метеорологической сети.

*Состав и основные функции АИИС «ПОГОДА».* Программное обеспечение АИИС «ПОГОДА» выполнено на базе Windows NT. Специальное программное обеспечение (СПО) АИИС «ПОГОДА» позво-

ляет одновременно работать с 6 каналами связи, из них до 2 каналов коммутируемых.

Основное оборудование для центрального устройства АИИС «ПОГОДА» включает в минимальной конфигурации компьютер с платами расширения (мультиплексор 4RS232), источник бесперебойного питания UPS, модем, принтер.

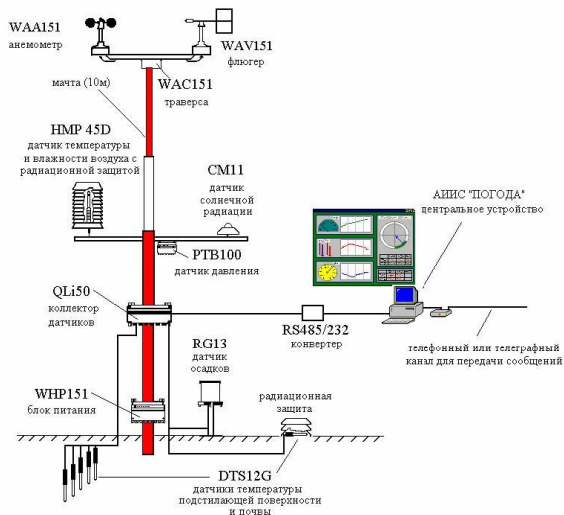


Рис. 9.4. АИИС «Погода»

АИИС «ПОГОДА» может работать как полностью автоматическая станция. Для работы в таком режиме необходимо стационарное питание 220 В, отапливаемое и охраняемое помещение для размещения центрального устройства системы. Программа работ автоматической станции без персонала определяется комплектом автоматических датчиков. Система состоит из информационной (ИС) и измерительной подсистем.

*Измерительная подсистема АИИС «ПОГОДА».* Автоматизация измерений метеорологических величин по обязательной программе наблюдений, непрерывный мониторинг состояния погоды.

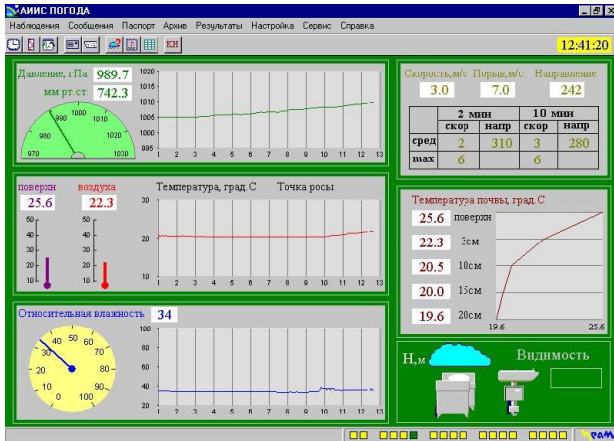


Рис. 9.5. Дисплей АИИС «ПОГОДА»

Измерительная подсистема АИИС «ПОГОДА» на основе датчиков фирмы Vaisala работает в дистанционном режиме измерения значений метеорологических величин с передачей данных по кабельной линии связи в центральное устройство. В течение суток значения метеорологических величин, измеренные автоматическими датчиками с заданным интервалом, выдаются на дисплей ПК в виде графиков и таблиц (рис. 9.5).

АИИС «ПОГОДА» формирует также штормовые сообщения по схеме международного кода WAREP и дополнительные сообщения о погоде, осадках с заданным временным интервалом. Для получения информации об основных метеорологических величинах рекомендуется устанавливать следующий комплект датчиков фирмы Vaisala:

- атмосферного давления PTB210;
- температуры и влажности воздуха HMP45D;
- скорости ветра WAA151;
- направления ветра WAV151.

Рекомендуется также применять:

- датчики температуры поверхности почвы и температуры почвы на глубинах DTS12G;
- датчик количества жидких осадков RG13H;
- датчик метеорологической дальности видимости FD12;
- датчик состояния погоды FD12P;
- индикатор наличия осадков DRD11A.

В состав системы могут быть включены дополнительные автоматические датчики с цифровым преобразованием (например датчик МДВ и ВНГО).

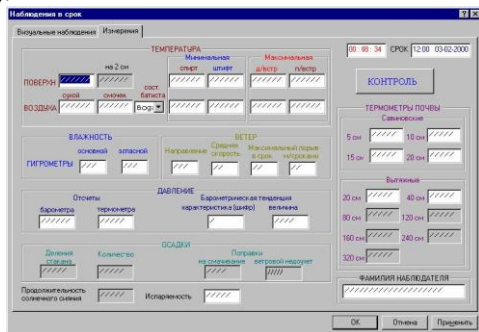


Рис. 9.6. Режим ручного ввода результатов наблюдений

*Информационная подсистема ИС «ПОГОДА».* В ИС автоматизирована первичная обработка данных, предусмотрены безбумажная технология и минимальный объем работы персонала. Информационная подсистема (ИС) «ПОГОДА» выполняет обработку результатов наблюдений, полученных либо от автоматических датчиков, либо введенных вручную оператором по данным стандартных измерений и визуальных наблюдений. ИС «ПОГОДА» может использоваться автономно для автоматической обработки результатов наблюдений обычной метеорологической станции в режиме ручного ввода (рис. 9.6). При оснащении станции датчиками с цифровым выходом (комплект или отдельными) ИС может быть развернута в АИИС без замены специального программного обеспечения (рис. 9.7).

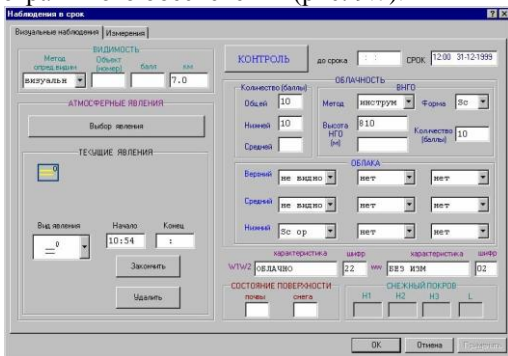


Рис. 9.7. Автоматическое отображение результатов АИИС «Погода»







сбор данных от наземной наблюдательной сети, обработка, контроль и анализ результатов наблюдений, а также передача полученной информации потребителям (рис. 9.11).

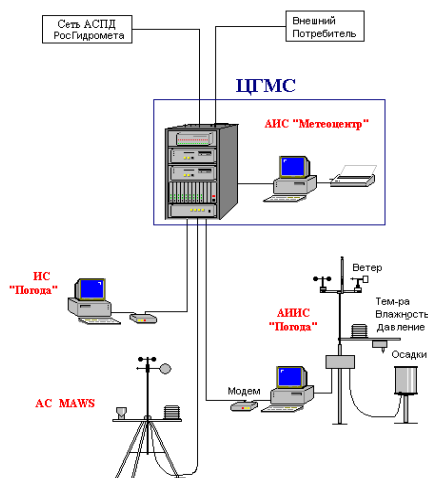


Рис. 9.11. Схема АИС «МЕТЕОЦЕНТР»

АИС «МЕТЕОЦЕНТР» благодаря непрерывному режиму приема информации, поступающей из пунктов наблюдений, позволяет следить за изменениями во времени основных метеорологических величин, в том числе за опасными и неблагоприятными гидрометеорологическими явлениями. Сбор оперативной и режимной информации с сети пунктов наблюдений выполняется по оптимальной для данного региона схеме с учетом наличия различных средств связи. Использование АИС «МЕТЕОЦЕНТР» наиболее эффективно при оснащении метеорологических станций автоматизированной информационно-измерительной системой (АИИС) «ПОГОДА». АИС «МЕТЕОЦЕНТР» может быть использована для сбора оперативной и режимной информации со станций и постов, не обеспеченных автоматизированными средствами измерений, но оснащенных информационной системой (ИС) «ПОГОДА». АИС «МЕТЕОЦЕНТР» позволяет также принимать информацию от дополнительной сети метеорологических постов, оснащенных автоматической станцией (АС) МАWS. Более двух десятков АИИС «Погода» установлено на территории России, организована ведомственная сеть станций «ПОГОДА» с системой сбора

«МЕТЕОЦЕНТР» в Ставропольском крае, более 100 автоматических станций MAWS фирмы «Vaisala Oyj» установлено по всему миру.

*Структура и функциональные возможности системы.* Модульное строение, возможность использования различных линий связи, удобный пользовательский интерфейс — таковы преимущества системы.

АИС «МЕТЕОЦЕНТР» обеспечивает прием оперативных и экстренных сообщений, а также режимных сообщений в коде ВНИИГМИ МЦД и выполнение следующих функций:

- прием, обработка и архивация данных;
- отображение информации в виде карт и таблиц;
- выдача предупреждений об опасных явлениях;
- формирование стандартных выводов;

– выдача справочного материала в виде таблиц, карт и бланков на бумажном носителе за различные периоды по архивным данным, в том числе по сервисным программам обслуживания потребителей.

Система может быть легко расширена путем поэтапного оснащения. Программное обеспечение выполнено на базе Windows NT. Разработан удобный пользовательский интерфейс с возможностью просмотра данных. Центральная система АИС «МЕТЕОЦЕНТР» выполняет функции центра коммутации сообщений, обеспечивая своевременную доставку всей необходимой метеорологической информации до потребителей. АИС «МЕТЕОЦЕНТР» выполняет сбор данных в единые сроки, установленные в соответствии с нормативными документами. Сбор данных от АИИС (ИС) «ПОГОДА» и АС MAWS выполняется с использованием коммутируемых телефонных линий связи, что значительно сокращает расходы ЦГМС на связь.

АИС «МЕТЕОЦЕНТР» принимает штормовые сообщения об ОЯ по критериям, установленным для конкретного ЦГМС, а также дополнительную информацию о погоде и сумме осадков с заранее установленной частотой передачи (например ежечасной), поступающие от АИИС «ПОГОДА». Позволяет также принимать и обрабатывать информацию пунктов метеорологических наблюдений, расположенных на территории региона ЦГМС, оснащенных автоматической станцией (АС) MAWS. АИС «МЕТЕОЦЕНТР» может выполнять прием и отображение информации от автоматизированных метеорологических радиолокационных комплексов (АРК) «Метеоячейка». Осуществляет взаимодействие и обмен информацией с УГМС и/или с другими центрами сбора оперативной метеорологической информации сети АСПД (сеть МЕКОМ с узлами MTS, UniMAS) по линиям связи с использованием стандартных протоколов обмена (типа ТСР/IP).

Программное обеспечение АИС «МЕТЕОЦЕНТР» позволяет одновременно работать с 18 каналами связи, из них до 8 каналов коммутируемых. Обмен данными между компьютером АИС «МЕТЕОЦЕНТР» и другими, используемыми в ЦГМС, выполняется с помощью локальной вычислительной сети. Основное оборудование включает в минимальной конфигурации компьютер с платами расширения (мультиплексор 4RS232, сетевая карта), источник бесперебойного питания UPS, модемы и принтер. Количество модемов определяется из расчета один модем на 5 абонентов при работе по коммутируемым каналам. При работе по выделенным каналам на каждый канал требуется отдельный модем.

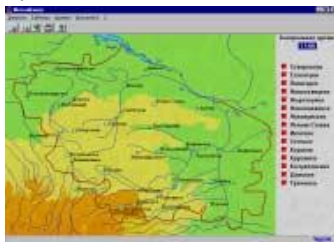


Рис. 9.12. Территория обслуживаемого региона АИС «МЕТЕОЦЕНТР»

*Формы представления информации.* Особое внимание при организации системы уделено четкости и полноте отображения информации. Результаты наблюдений метеорологических станций отображаются на географической карте территории обслуживаемого региона (рис. 9.12).

В правой части экрана выводится контрольное время поступления информации от метеорологических станций по списку зарегистрированных в системе. Синий цвет индикатора сигнализирует о том, что информация поступила; красный цвет означает отсутствие информации к контрольному времени. Обновление карты происходит в режиме поступления данных.

Текущая погода по станции Ставрополь 14:20	
Метеоэлемент	Значение
● Температура воздуха, °С	24.0
● Относительная влажность воздуха, %	43
● Давление, гПа	1009.7
● Температура поверхности почвы, °С	22.5
● Температура почвы на глубине 5 см, °С	22.6
● Температура почвы на глубине 10 см, °С	22.6
● Температура почвы на глубине 15 см, °С	22.7
● Температура почвы на глубине 20 см, °С	22.6
● Скорость ветра средняя за 10 минут, м/с	0.0
● Скорость ветра максимальная за 10 минут, м/с	0.0
● Направление ветра среднее за 10 минут, град	160

Рис. 9.13. Информация о текущей погоде АИС «МЕТЕОЦЕНТР»

Информация о текущей погоде конкретной станции может быть выведена на экран с помощью двойного щелчка мыши по символу станции на карте. Информация выдается в виде таблицы (рис. 9.13). Результаты наблюдений могут быть представлены в виде сводной таблицы с текущими данными всех подключенных метеостанций. По мере поступления информации происходит обновление таблицы в режиме реального времени. Карта приземного анализа обслуживаемой территории выдается по результатам наблюдений в единые сроки (рис. 9.14). Использование архивных данных каждой станции для составления различных справок, анализа погодных условий и решения других задач предусмотрено в АИС «МЕТЕОЦЕНТР».



Рис. 9.14. Карта приземного анализа АИС «МЕТЕОЦЕНТР»

**Автоматизированный метеорологический комплекс для прогнозирования уровней загрязнения окружающей среды промышленными выбросами.** Комплекс создан для получения достоверного прогноза неблагоприятных метеорологических условий и возможных уровней загрязнения атмосферы промышленными выбросами в оперативном режиме и с заблаговременностью до 3 суток. Исполнители разработки — НПО «Тайфун» и Гидрометеоцентр РФ.

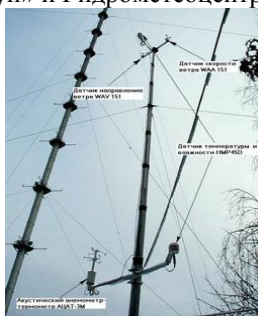


Рис. 9.15. Оснащенная приборами мачта

Отличительной особенностью системы является использование для сбора и обработки информации современных сетевых компьютерных технологий, причем как для приема данных от территориально распределенных метеорологических мачт, так и для приема прогностической информации от Гидрометеоцентра РФ. При создании комплекса разработчиками применены современные передовые достижения как по его приборному оснащению, так и по принципам построения включенных в него математических прогностических моделей.

Используется прогностическая и диагностическая информация для рассматриваемого района, подготовленная Гидрометеоцентром или региональной организацией Росгидромета. Компьютер системы ведет опрос размещенных на мачте метеоприборов (рис. 9.15) с заданной периодичностью и производит предварительную обработку полученных данных и их архивацию в базу данных (рис. 9.16). Компьютеры соединены между собой при помощи сети. При подготовке прогнозов уровней загрязнения используется как прогностическая информация, так и результаты измерений на мачте.

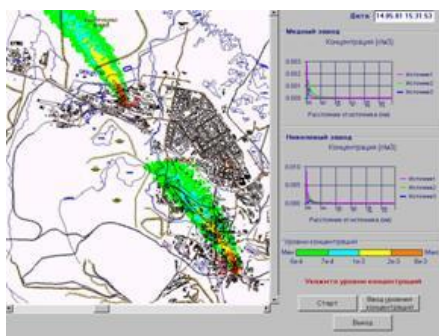


Рис. 9.16. Пример отображения результатов расчетов загрязнения приземного слоя атмосферы от двух источников

В отличие от метеорологических приборов, используемых на обычных метеостанциях, приборы комплекса имеют более высокую чувствительность и точность, меньшую инерционность, что позволяет обеспечивать необходимое для расчетов переноса загрязнений качество входных данных. Входящий в состав комплекса акустический анемометр позволяет напрямую измерять параметры турбулентности. Режим работы аппаратуры – полностью автоматический. Для восстановления поля ветра и характеристик турбулентности применяются сложные методы, основанные на использовании гидродинамических моде-

лей и результатах специальной обработки данных многолетних наблюдений.

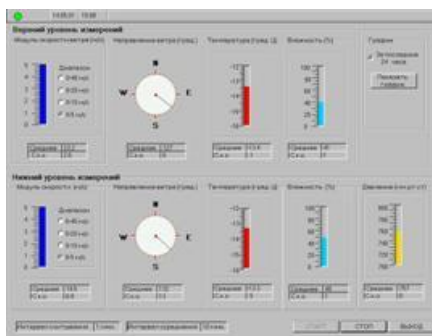


Рис. 9.17. Индикация результатов метеорологических измерений

Для управления аппаратурой и первичной обработки информации разработано специализированное программное обеспечение. Программы обеспечивают прием данных от измерительной части системы, первичную обработку полученных данных, а также их визуализацию (рис. 9.17) и сохранение в базе данных. При расчете распространения загрязняющих веществ в атмосфере используются формулы статистической теории атмосферной диффузии с системой классификации категорий устойчивости по Паскуиллу-Тернеру. Модель распространения примеси реализована в виде программного комплекса для персональных компьютеров. Основными задачами программного комплекса являются сбор, обработка, систематизация и хранение данных мониторинга атмосферы, моделирование процессов распространения загрязняющих веществ в атмосфере и представление результатов моделирования (т.е. прогноз загрязнения) в удобном для принятия решения виде. Подобный комплекс установлен и успешно работает в г. Норильске. Создание комплекса состоит из следующих этапов: подбор аппаратуры; сбор и обработка данных аэрологического зондирования в требуемом регионе; обработка данных об источниках атмосферного выброса требуемого загрязнителя; приспособление компьютерных программ под регион; монтаж и наладка комплекса; обучение персонала работе с комплексом.



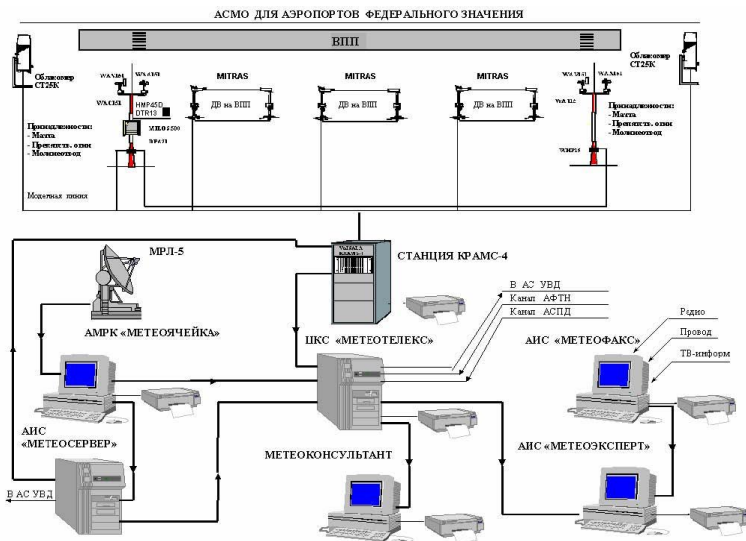


Рис. 9.18. АСМО для аэропортов федерального значения

**Авиационная система метеорологического обеспечения (АСМО).** Полный состав АСМО, предлагаемый Институтом радарной метеорологии, позволяет обеспечить работу аэропорта в соответствии с требованиями ИКАО к оборудованию аэропортов III категории. АСМО имеет модульную структуру с максимальной автономностью каждого модуля, что позволяет поэтапно наращивать ее по мере увеличения требований к метеорологическому обеспечению. Ниже приводятся рекомендуемые варианты комплектации АСМО, которые составлены с учетом рекомендаций ИКАО, национальных руководящих документов (НМОГА-95, ПЭМОА-86) и особенностей метеорологического обеспечения авиации.

*Комплект АСМО для аэропортов федерального значения* (рис. 9.18): АМРК «Метеоячейка» (рекомендуется для международных аэропортов); станция КРАМС-4; ЦКС «МетеоТелекс»; АИС «МетеоКонсультант»; АИС «МетеоЭксперт»; АИС «МетеоФакс»; АИС «МетеоСервер» (рекомендуется для аэропортов, имеющих АС УВД).

*Комплект АСМО для аэропортов регионального значения (аэропортов столиц, субъектов Федерации и крупных промышленных центров)* (рис. 9.19): станция КРАМС-4; ЦКС «МетеоТелекс»; АИС «МетеоКонсультант»; АИС «МетеоФакс» (для обеспечения информацией синоптика-прогнозиста).

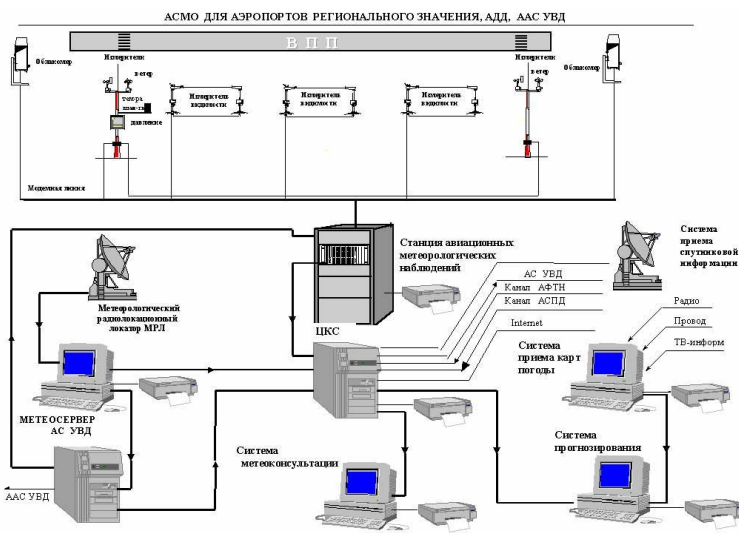


Рис. 9.19. Комплект АСМО для аэропортов регионального значения

Комплект АСМО для аэропортов регионального значения (без метеоспециалистов) состоит из комплекта датчиков параметров ветра, температуры, давления и влажности с автономными индикаторами станции миниКРАМС.

**Автоматизированная информационная система «Климат аэродрома».** Каждая АМСГ должна обновлять климатическое описание аэродрома 1 раз в 10 лет. В этом описании указываются общие климатические характеристики, которые имеют большое значение для всех авиационных пользователей. Составление климатической характеристики без использования соответствующего программного обеспечения – очень длительный и кропотливый труд. С использованием автоматизированной информационной системы «Климат аэродрома» всю работу по составлению статистических выборок, включая ввод данных из журнала АВ-6, система делает автоматически. Оператор лишь задает критерии работы системы и анализирует полученные результаты.

Автоматизированная информационная система «Климат аэродрома» является частью автоматизированной системы метеорологического обеспечения авиации. Она предназначена для составления климатической характеристики аэродрома на основе многолетних архив-

ных данных станции КРАМС-4. АИС предоставляет пользователю следующие возможности:

- ввод архивных данных станции КРАМС-4;
- ввод данных с клавиатуры при отсутствии архивной информации станции КРАМС-4;
- просмотр и редактирование архивных данных;
- восполнение и коррекция данных;
- формирование климатических таблиц по форме, рекомендованной ВМО для обслуживания международной авиации.

Главная кнопочная форма, которая является средством перехода к выполнению требуемых функций, приведена на рис. 9.20.

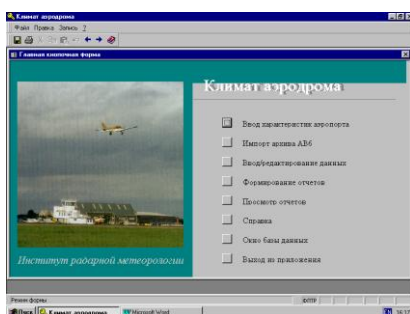


Рис. 9.20. Главная кнопочная форма АИС «Климат аэродрома»

С помощью этой формы осуществляются все настройки АИС, каждой функции соответствует определенная кнопка. Система не только осуществляет импорт данных, но и позволяет вручную вводить данные, причем разработчики системы оптимизировали этот процесс, исключив, например, ввод повторяющихся данных. Одна из форм, предназначенных для ввода данных, представлена на рис. 9.21.

Отчеты, формируемые системой, представлены как рабочие таблицы, таблицы повторяемости и графический материал. Объем этой информации должен полностью удовлетворять авиационных пользователей, заинтересованных в получении климатической информации.

Отчеты, полученные с помощью АИС «Климат аэродрома», включают:

- повторяемость (%) видимости и/или высоты нижней границы облаков, покрывающих более 4/8 неба ( $N_s$  более 4/8 неба);
- повторяемость (%) видимости ниже заданных значений;

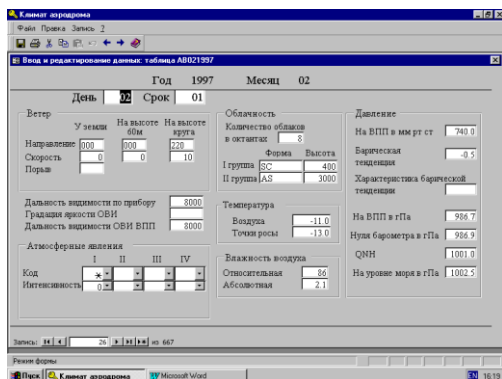


Рис. 9.21. Ввод данных АИС «Климат аэродрома»

- повторяемость (%) высоты нижней границы облаков, покрывающих более 4/8 неба;
- повторяемость (%) направления и скорости ветра;
- повторяемость (%) градаций температуры воздуха;
- повторяемость (%) опасных явлений погоды;
- повторяемость (%) непрерывной продолжительности опасных явлений погоды;
- повторяемость (%) горизонтальной видимости при атмосферных явлениях;
- повторяемость (%) вертикальных сдвигов ветра в критериях ИКАО и ВМО в самом нижнем слое атмосферы;
- среднее атмосферное давление ( $zPa$ ).

### 9.3. Сеть телесвязи гидрометеорологической службы

Сеть телесвязи Росгидромета — это связанная инфраструктура, обеспечивающая функционирование систем сбора и распространения метеоинформации, а также других информационных технологий Росгидромета, включая обмен административной и прочей информацией.

Для решения основных функциональных задач по сбору и распространению информации в сети телесвязи Росгидромета было создано несколько технологических систем: система сбора информации, транспортная корпоративная компьютерная сеть (ТККС) МЕКОМ, автоматизированная система передачи данных (АСПД) Росгидромета, система циркулярного распространения информации «ТВ-Информ-Метео», сеть электронной почты (ЭП) МЕКОМ.

Структурно сеть телесвязи в Росгидромете состоит из региональных (3), территориальных (21) и областных (69) центров. Каждый вышестоящий центр выполняет функции нижестоящих центров по зоне своей ответственности. Кроме того, имеются узлы телесвязи в НИУ, АМСГ, ГМБ. АМСГ и ГМБ по своему функциональному назначению могут быть отнесены к уровню областных центров. Иерархия центров обусловлена административно-территориальным делением, организацией производства гидрометпродукции и условиями ее распространения. Радиально-узловая топология организации сети телесвязи Росгидромета диктуется топологией арендованных каналов связи и стремлением привести их стоимость к минимуму.

ТККС МЕКОМ. Выделилась из АСПД в результате ее эволюционного развития. В соответствии с 7-уровневой моделью ISO она выполняет функции первых четырех уровней: физического, канального, сетевого и транспортного. Конечно, в рамках ТККС реализуются и более высокие уровни, включая прикладной, но они используются исключительно для обеспечения функционирования ТККС. Основным протоколом ТККС МЕКОМ является набор протоколов TCP/IP, поэтому сеть строится на основных технологиях Интернета, что позволяет ей динамично развиваться. ТККС включает в себя набор локальных вычислительных сетей и отдельных компьютеров, которые взаимодействуют между собой по протоколам TCP/IP через коммутаторы локальных сетей, коммутаторы пакетов — IP-маршрутизаторы и каналы передачи данных. В качестве каналов передачи данных используются телефонные каналы, оборудованные модемами, или цифровые каналы. Скорости колеблются от 2,4 кбит/с до 2 Мбит/с. Наиболее часто на телефонных каналах устанавливаются скорости 9,6–19,2 кбит/с, при этом модемы, при хорошем качестве каналов и соединительных линий, позволяют работать на скорости до 33,6 кбит/с. В настоящее время ТККС охватила всю магистральную сеть, включающую в себя все региональные и территориальные центры. К сети также подключены ряд ЦГМС, АМСГ и институтов.

*АСПД Росгидромета.* Решает в основном такие задачи связи, как передача данных по принципу коммутации сообщений, трансформация скоростей передачи, преобразование форматов и кодов сообщений при работе с различными каналами и сетями передачи данных, организация справочных баз данных (БД), комплектование метеобюллетеней, контроль и запрос информации, сопряжение пользователей с транспортной сетью и некоторые другие. АСПД состоит из центров коммутации сообщений (ЦКС) различного уровня, функции которых

реализуются программно-аппаратными комплексами MTS, UniMAS и ТрансМет. ЦКС взаимодействуют друг с другом через ТККС МЕКОМ.

*Система сбора данных наблюдений.* Система сбора информации построена в основном на использовании устаревших ручных технологий и является дорогостоящей. Основная технология сбора в Росгидромете — это передача телеграмм через ТГ-ОП. Во всех УГМС и незначительном числе ЦГМС телеграммы принимаются системой АСПД, где комплектуются в бюллетени и отправляются пользователям. В остальных ЦГМС этот процесс осуществляется вручную. Время сбора информации колеблется от 10 до 20 мин. и более. Используются и другие технологии сбора, такие как сбор по радио или АТ. Последнее время началось использование современных компьютерных технологий сбора, которые позволяют избавиться от перечисленных выше недостатков и существенно снизить стоимость сбора информации с сети.

*Система циркулярного распространения информации.* Включает передачи по радио, телевизионным, телефонным и телеграфным каналам. Наиболее значительной по объему передаваемой информации и по охвату территории является система «ТВ-Информ-Метео», которая заменила систему циркулярного распространения информации по радио. Система «ТВ-Информ-Метео» позволила улучшить качество и увеличить объем передаваемой информации. Однако возможности этой системы были быстро исчерпаны, и в настоящее время она уже не в полной мере удовлетворяет пользователей. В ближайшее время планируется поэтапный переход с существующей технологии распространения метеорологической информации через систему «ТВ-Информ-Метео» по зонам «М», «Г», «В», «Б» и «А» на универсальную технологию передачи файлов через систему «ТВ-Информ», используемую сейчас для передачи газет и другой информации через программу телевидения RTP. В западных районах страны (зоны «М» и «Г»), учитывая имеющийся широкий парк аппаратуры и ПО, предполагается организовать промежуточную модернизацию технологии передачи метеоинформации через ОПТ, позволяющую в дальнейшем постепенно перейти на новую технологию по мере появления новых абонентов и выработки ресурсов приемных устройств «Метеоинформ-П» и «Метеоинформ-ПК».

ЭП МЕКОМ. В каждом УГМС на ПАК MTS создан узел ЭП, который обеспечивает работу абонентов в зоне его ответственности и взаимодействует с вышестоящими узлами в региональных центрах, где узлы организованы на отдельных ПЭВМ. В г. Москве в центральном узле организованы Mail-сервер и взаимодействие с Интернетом. В ка-

ждом из узлов доступ абонентов к сети ЭП возможен как по LAN, так и через модем по коммутируемой телефонной сети. Между сетью ЭП и АСПД установлен шлюз, который позволяет организовать обмен сообщениями между АСПД и ЭП МЕКОМ или Интернетом.

*Использование Интернета и интернет-технологий в сети Росгидромета.* Сеть Интернета развивается, но в настоящее время не имеет сквозного управления качеством предоставляемых услуг, поэтому в ней возникают непредвиденные прекращения их предоставления. Учитывая, что использование Интернета для сбора, распространения оперативной информации и обслуживания потребителей эффективно уже сейчас предусматривается возможность выхода в Интернет на всех уровнях системы телесвязи Росгидромета. Началось использование в сети МЕКОМ интернет-технологий, таких как НТТР и FTP-доступ, электронная почта (e-mail), но оно сдерживается недостаточными скоростями в каналах связи, отсутствием программного обеспечения контроля и управления сетью.

## Глава 10. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ

### 10.1. Аэрологическое зондирование

**Основы радиозондирования.** Радиолокация основана на свойствах радиоволн распространяться в однородной среде по известным траекториям с постоянной скоростью. Процесс обнаружения объектов, а также определения их местоположения с помощью радиотехнических средств называется радиолокационным наблюдением. Радиотехнические устройства, с помощью которых осуществляется радиолокационное наблюдение, получили название радиолокационных станций (РЛС). Источником радиолокационной информации является радиолокационный сигнал, формирующийся в процессе радиолокационного наблюдения.

В основе радиолокационного наблюдения лежат следующие свойства электромагнитных волн:

- отражение волн от объектов, физические свойства которых отличаются от свойств окружающей среды;
- постоянство скорости распространения волн в однородной среде (скорость распространения электромагнитных волн в атмосфере считают равной  $3 \cdot 10^8$  м/с);
- прямолинейность распространения волн в однородной среде;
- возможность концентрировать излучение и прием электромагнитных волн в узких секторах.

Радиолокационные методы используют радиопеленгацию, а также первичную и вторичную радиолокацию (и сигналы навигационных станций). Сущность их такая же, как и метода шаропилотных наблюдений — определить пространственные координаты перемещающейся в пространстве цели путем сопровождения ее с помощью радиолокационных станций. Горизонтальная проекция траектории шара, несущего цель, позволяет определить средние скорости и направления ветра в слоях атмосферы, через которые пролетает шар. Отличие радиометодов от шаропилотных заключается в возможности измерения третьей координаты — наклонной дальности — и не требует использования предположения об относительном постоянстве вертикальной скорости шара.

Радиолокационные методы делятся на активные и пассивные. При активном методе путем послышки электромагнитной энергии в заданном направлении получают сигнал от любого предмета, способ-



ного отражать радиоволны. За счет различных потерь к приемнику возвращается лишь незначительная часть посылаемой передатчиком энергии. Чтобы ответный сигнал был заметен на фоне мощного посылаемого сигнала, он должен либо отличаться от него по частоте или фазе, либо поступать в приемник при отсутствии прямого сигнала (при работе РЛС в импульсном режиме). По амплитуде, частоте и фазе отраженного сигнала можно судить об ориентации, дальности и скорости перемещения наблюдаемого объекта относительно радиолокационной станции.

При аэрологических наблюдениях используется активный метод с активным ответом. Пеленгуемый объект (шар-зонд) несет радиопередатчик, который вырабатывает ответный сигнал в момент прихода запросного сигнала от радиолокационной станции. Такой метод получил название метода вторичной радиолокации. Большая часть современных радиозондов имеет передатчики-ответчики, амплитуда сигнала которых увеличивается в момент прихода запросного импульса. Благодаря этому повышается надежность работы таких систем и увеличивается дальность сопровождения.

Метод пассивной радиолокации заключается в том, что пеленгуемый объект имеет маломощный передатчик, работающий в режиме непрерывного излучения. Радиолокационная станция имеет чувствительный приемник и вращающуюся антенну с узкой диаграммой направленности. При точном наведении антенны на цель принимается сигнал передатчика, что позволяет определить азимут и угол места. Дальность таким методом определить невозможно, так как момент излучения импульса передатчика на зонде зарегистрировать нельзя. Такие станции являются наиболее простыми, они называются радиопеленгаторами. Для определения дальности используется импульсный метод. Суть его заключается в том, что РЛС излучает энергию в течение очень короткого промежутка времени — около миллионной доли секунды, а затем ожидает ответного (отраженного) сигнала. Продолжительность импульсов значительно меньше длительности пауз между ними. Если на пути распространения радиоволны находится отражающий предмет, то она отразится от него и ответный сигнал после преобразования в приемнике будет зарегистрирован на индикаторе. Когда пауза в излучении кончится, передатчик выработает следующий зондирующий импульс и т. д. В этом случае определение дальности сводится только к измерению отрезка времени между моментом послышки запросного импульса и приходом ответного сигнала. Ритм работы радиолокационной станции задается синхронизатором — генератором импульсов заданной частоты следования, запускающих пе-

редатчик и индикаторы. Синхронизатор нужен для того, чтобы момент посылки зондирующего импульса был согласован с началом работы разверток индикатора, так как без синхронизации определить дальность невозможно. Высокочастотный импульс передатчика через антенный переключатель поступает в антенну и излучается в форме короткого всплеска электромагнитной энергии. После этого система готовится к приему ответных сигналов. Так как до следующего зондирующего импульса передатчик не работает, то при приеме отраженных сигналов можно пользоваться той же антенной. С помощью антенного переключателя антенна отключается от передатчика и подключается к приемнику. В момент посылки зондирующего импульса антенный переключатель блокирует вход приемника, чтобы не допустить его перегрузку мощным импульсом передатчика. Таким образом, передатчик подключается к антенне только на время посылки зондирующего импульса.

Основными техническими характеристиками РЛС, важными для измерений, являются максимальная и минимальная дальность действия и точность определения координат. К преимуществам импульсных РЛС относятся возможность использования одной и той же антенны при передаче и приеме (это способствует уменьшению габаритов и массы станции) и возможность получения импульса большой мощности, что способствует увеличению дальности действия. При больших удалениях становится заметным явление рефракции — изменения направления распространения радиоволны в неоднородной среде, какой является атмосфера. Из-за диэлектрической неоднородности атмосферы электромагнитные волны распространяются не прямолинейно, а криволинейно. Для устранения влияния этого эффекта используются специальные поправки, которые приводятся в наставлениях и методических указаниях.

Угловое положение (координаты) объекта определяются с помощью антенны, которая фокусирует электромагнитные волны в узкий пучок. По угловому положению антенны в момент отражения от предмета (шара) можно найти его координаты. Степень фокусировки электромагнитной энергии зависит от конструкции антенной системы и диапазона длин волн, в котором работает РЛС. Ширина луча характеризуется диаграммой направленности антенны, под которой понимается угловая зависимость мощности сигнала в точках, равноудаленных от антенны. Антенны бывают двух типов: ненаправленные и направленные.

***Система радиозондирования атмосферы АВК-1 («Титан») – МРЗ.*** В настоящее время на сети станций зондирования ат-

атмосферы применяется система АВК-1 («Титан») — специализированный информационно-вычислительный комплекс, в состав которого входят наземная радиолокационная импульсная станция со специальным компьютерным устройством и радиозонд типа МРЗ-3 А. По принципу действия эта система аналогична системе «Метеорит – МАРЗ», но технически более совершенна. Радиолокационная станция выполнена на современной элементной базе и оснащена компьютерным устройством, которое обеспечивает зондирование атмосферы с полной автоматизацией приема и обработки измерительных сигналов, а также выдачу всей метеорологической информации потребителю в виде специальных телеграмм. Кроме того, компьютерное устройство позволяет выполнять тестовый и функциональный контроль работоспособности самой РЛС.

Комплекс АВК-1 работает совместно с радиозондом типа МРЗ, выпускаемым в свободный полет на наполненной водородом оболочке. В процессе полета комплексом принимаются, формируются и обрабатываются все поступающие измерительные сигналы, а также определяется местоположение радиозонда в пространстве. Структурная схема комплекса представлена на рис. 10.1. Комплекс содержит следующие системы: передающую, антенно-фидерную, приемную, отображения информации, определения координат, обработки и управления, управления антенной, автоматического контроля и электропитания. Передающая система позволяет формировать кратковременные импульсы в сверхвысокочастотном диапазоне (импульсы запроса) большой и малой мощности (1 кВт и 10 кВт).

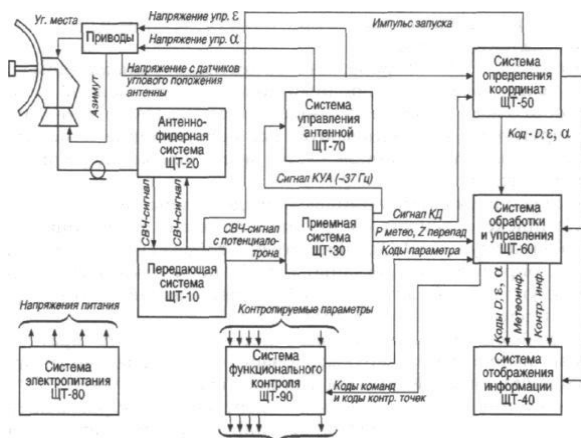


Рис. 10.1. Структурная схема комплекса АВК-1

Система обработки и управления выполняет обработку первичных радиолокационных данных и измерительных сигналов, а также управляет работой систем комплекса. Система решает следующие задачи:

- обрабатывает радиолокационные данные и измерительные сигналы от радиозонда;
- вычисляет метеорологические величины в соответствии с задачей зондирования;
- подготавливает аэрологические телеграммы КН-03, КН-04, «Слой», «Приземный слой», «Шторм»;
- обрабатывает и выдает в систему отображения всей отображаемой и регистрируемой радиолокационной и метеорологической информации;
- вырабатывает команды по включению, изменению и выключению режимов систем комплекса в процессе подготовки и проведения зондирования атмосферы.

Комплекс АВК-1 имеет следующие основные характеристики:

- максимальная высота зондирования — 40–50 км;
- максимальные ошибки измерения координат радиозонда: наклонной дальности — 30 м; угловых координат — 7,2';
- ширина диаграммы направленности — 6°;
- частота кругового сканирования диаграммы направленности — 37 Гц;
- типы индикаторов: дальности — А; отображения информации — ВКУ.

**Радиозонды типа МРЗ.** Для работы с АВК-1 используются радиозонды типа МРЗ: МРЗ-ЗА и МРЗ-ЗАМ; в зондах МРЗ-ЗАМ используется, в отличие от зонда МРЗ-ЗА, модернизированный первичный измерительный преобразователь относительной влажности, позволяющий проводить соответствующие измерения в большем диапазоне и с более высокой точностью. Радиозонды МРЗ отличаются от радиозондов МАРЗ способом модуляции несущей частоты (в этих радиозондах применена частотная модуляция), а также длительностью канальных интервалов в работе электронного коммутатора (5,5 с.).

Радиозонд содержит СВЧ-автогенератор, совмещающий функции генератора, высокочувствительного приемника запросных импульсов от АВК-1 и активного ответчика по каналу дальности; генератор импульсов, вырабатывающий прямоугольные импульсы с частотой следования 800 или 600 кГц, обеспечивающие работу в режиме сверхгенерации; первичные измерительные преобразователи температуры (терморезистор ММТ-6) и относительной влажности (оксид алюминия

или пленка с преобразователем механических деформаций в электрическое сопротивление); электронный коммутатор, обеспечивающий поочередное подключение метеорологических датчиков к измерительному преобразователю, который преобразует электрическое сопротивление датчиков в период следования температуры или относительной влажности; формирователь импульсов, вырабатывающий разной длительности сигналы от используемых метеорологических датчиков; батарею питания 28-МХМ-01 со стабилизаторами напряжения и тока. Принцип действия радиозонда типа МРЗ состоит в использовании частотной модуляции (взамен амплитудной модуляции у радиозондов МАРЗ) частоты 800 или 600 кГц.

Информация о значениях температуры и относительной влажности содержится в параметрах радиотелеметрического сигнала, представляющего последовательность импульсов, следующих с частотой 800 или 600 кГц и имеющих в качестве частоты заполнения несущую частоту передатчика радиозонда. В зависимости от того, какой метеорологический датчик оказывается подключенным к измерительному преобразователю, импульсы на выходе формирователя имеют ту или иную длительность, причем разность в их длительности для конкретного радиозонда составляет не менее 180 мкс. Благодаря этому АВК-1 уверенно разделяет сигналы датчика температуры и сигналы датчика относительной влажности.



Рис. 10.2. Радиозонд типа МРЗ

Передатчик радиозонда МРЗ вырабатывает ответный сигнал на запросный импульс АВК-1. Ответ состоит из первичной и вторичной реакции на запросный сигнал и представляет собой последовательность из двух импульсов, из которых первый увеличен, а второй — уменьшен по длительности относительно всех остальных импульсов. Иначе говоря, при приходе запросного сигнала происходит расширение импульса шума без изменения его амплитуды и вслед за этим су-

жение следующего импульса или полное его исчезновение, образуется пауза большой длительности в излучении передатчика СВЧ-радиозонда.

Основные характеристики радиозондов типа МРЗ:

- диапазон измерения температуры — от  $-80$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ ;
- диапазон измерения относительной влажности: зонда МРЗ-ЗА —  $15\text{--}100\%$ ; зонда МРЗ-ЗАМ —  $10\text{--}100\%$ ;
- пределы допускаемой погрешности канала влажности: зонда МРЗ-ЗА не более  $10\%$ ; зонда МРЗ-ЗАМ не более  $7\%$ ;
- несущая частота —  $1782$  МГц;
- частота следования импульсов —  $800$  или  $600$  кГц;
- потребляемые токи радиозондом —  $20\text{--}50$  мА;
- время непрерывной работы зонда — не менее  $2$  ч;
- масса — не более  $0,36$  кг.

Компьютер станции АВК-1 по величинам отношения соответствующих частот к опорной частоте рассчитывает значения температуры и относительной влажности воздуха. Следует отметить, что переход от числа импульсов в единицу времени (частоты импульсов) к периоду их следования при измерении метеорологических величин является одним из важнейших отличий радиозондов МРЗ от зондов МАРЗ, позволяющим повысить эффективность измерения метеорологических величин.

***Перспективная система радиозондирования.*** МАРЛ-Т — микроэлектронный аэрологический радиолокатор. Основные достоинства МАРЛ: отсутствие необходимости в строительстве специального здания; уменьшенные эксплуатационные расходы; рабочий диапазон частот, соответствующий международному стандарту; применение фазированной антенной решетки, что позволяет вести автоматический поиск и захват радиозонда в сложных метеорологических условиях; дает возможность работать с разными типами радиозондов.

Состав аппаратуры: радиолокатор; персональный компьютер с принтером и модемом. Технические характеристики МАРЛ-Т:

- рабочий диапазон частот —  $1680$  МГц;
- дальность сопровождения радиозонда — не менее  $250$  км;
- тип антенны — ФАР;
- пределы поворота диаграммы направленности: в горизонтальной плоскости — механический поворот —  $\pm 210^{\circ}$ , электронное сканирование —  $\pm 25^{\circ}$ ; в вертикальной плоскости: электронное сканирование в секторе (от  $-10$  до  $+100$ ) $^{\circ}$ ;
- ширина диаграммы направленности: в горизонтальной плоскости —  $9^{\circ}$ ; в вертикальной плоскости —  $6^{\circ}$ ;

– систематические ошибки измерения угловых координат — 0,05°;

– потребляемая мощность — 1000 Вт;

– масса — 385 кг.

В состав комплекта перспективных отечественных радиозондов, работающих с МАРЛ-Т, входят первичные измерительные преобразователи (датчики) температуры, относительной влажности и атмосферного давления, радиоблоки (включающие формирователь телеметрического сигнала и приемопередатчик), водоактивируемая батарея питания и теплозащитный корпус с элементами крепления. В качестве первичного измерительного преобразователя температуры в радиозондах могут использоваться как серийный датчик зондов типа МРЗ, так и датчики температуры повышенной точности ИПТ-Ф и ИПТ-ПО, выполненные на основе никелевого фольгового терморезистора и на основе платиновой микропроволоки. В качестве датчика относительной влажности используется измерительный преобразователь ИПВ с частотным выходом, разработанный на основе интегрального пленочного преобразователя влажности. В качестве датчика атмосферного давления используется измерительный преобразователь ИПАД, созданный на основе интегрального кремниевого преобразователя.

С помощью радиоблока выходные параметры датчиков метеорологических величин преобразуются в частотные телеметрические сигналы и по очереди подключаются на вход приемопередатчика. Сверхрегенеративный приемопередатчик передает телеметрический сигнал на несущей частоте 1780 мГц и дает ответный сигнал на запросный импульс, излучаемый станцией сопровождения. Полный цикл передачи всех телеметрических сигналов содержит восемь равных по длительности канальных интервалов времени. Количество телеметрических сигналов и последовательность их передачи в цикле устанавливаются в радиоблоке автоматически при подключении к нему определенного (необходимого для данного вида зондирования) набора датчиков метеорологических величин. Могут использоваться следующие наборы датчиков: температуры; температуры и относительной влажности; температуры и атмосферного давления; температуры, относительной влажности и атмосферного давления. Применение в радиоблоках программируемых логических интегральных микросхем позволяет изготовить радиозонды с различной длительностью канальных интервалов, разным числом и разной последовательностью передачи сигналов в телеметрическом цикле, что обеспечивает возможность их использования с различными станциями сопровождения.

## 10.2. Метеорологические радиолокационные комплексы

**Назначение метеорологических радиолокаторов.** Метеорологические радиолокационные станции, называемые метеорологическими радиолокаторами (МРЛ), предназначены для зондирования атмосферы с целью обнаружения и исследования облаков и осадков, основная метеорологическая информация о которых заключена в их радиолокационной отражаемости, подлежащей измерению. В результате зондирования атмосферы с помощью МРЛ в оперативном режиме решаются следующие задачи:

- обнаружение и определение местоположения радиоэха кучево-дождевых облаков и связанных с ними явлений (ливней, гроз и града);

- предупреждение о грозах, граде и сильных ливнях;

- определение направления и скорости перемещения кучево-дождевых облаков и осадков;

- определение верхней и нижней границ радиоэха облаков;

- определение тенденции изменения радиолокационных характеристик облачных систем;

- определение эволюции кучево-дождевых облаков;

- оценка интенсивности и распределения осадков.

Метеорологический анализ данных радиолокационных измерений основан на существовании устойчивых физико-статистических связей радиолокационных характеристик с физическим состоянием и параметрами облаков и осадков. Используются качественные особенности пространственного распределения радиоэха и их количественные характеристики (высота верхней границы, вертикальная мощность и радиолокационная отражаемость). Метеорологическая интерпретация получаемых радиолокационных данных основана на использовании заранее составленных описаний радиолокационных характеристик метеорологических объектов для классификации облаков и облачных систем; одиночных и комплексных физико-статистических критериев для распознавания опасных явлений погоды, связанных с кучево-дождевыми облаками; корреляционных связей — для оценки мгновенной интенсивности осадков.

**Особенности метеорологических радиолокационных станций.** Метеорологические радиолокационные станции предназначены для количественных измерений мощности сигналов, отраженных от облаков и осадков. С этой целью в их состав входят специальные устройства. Точные измерения мощности отраженных сигналов вызывают необходимость калибровки радиолокатора как метеорологического



инструмента и контроля его потенциала в процессе измерений. Другой особенностью метеорологических РЛС является большой динамический диапазон приемного устройства, что обусловлено большим диапазоном значений мощности радиолокационных сигналов, отраженных от метеорологических объектов. Их динамический диапазон достигает 100–120 дБ, таким же диапазоном должен обладать и приемник МРЛ.

С целью надежного обнаружения облаков и осадков с малыми значениями отражаемости метеорологические локаторы должны обладать значительным потенциалом, что обеспечивается применением мощных передатчиков и высокочувствительных приемных устройств. Важен выбор длины волны излучаемой электромагнитной энергии, который должен решаться компромиссно с учетом как рассеивающих свойств метеорологических объектов, так и ослабляющих свойств атмосферы.

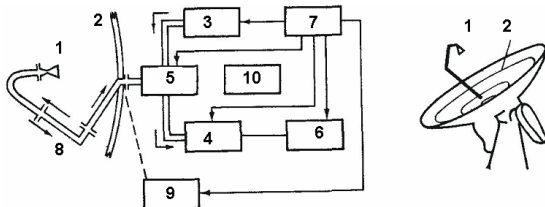


Рис. 10.3. Обобщенная схема метеорологической РЛС (структурная схема и антенная система)

Метеорологические радиолокаторы обеспечивают наблюдение метеорологических объектов как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях, для чего предусмотрены соответствующие режимы управления антенной и индикаторные устройства. Обобщенная схема импульсного метеорологического радиолокатора представлена на рис. 10.3. Основными частями метеорологического радиолокатора являются антенная система, включающая облучатель и металлическое зеркало-отражатель (2), передатчик (3), приемник (4), антенный переключатель (5), индикаторы (6), синхронизатор (7), волноводно-фидерный тракт (8), блоки управления антенной (9) и энергетического питания (10). Передатчик МРЛ генерирует мощные электромагнитные СВЧ-колебания в виде периодически повторяющихся зондирующих импульсов, которые с помощью антенной системы излучаются в сторону метеорологического объекта. Во время пауз между зондирующими импульсами отраженные от метеорологического объекта информационные сигналы принимаются той же антенной системой и по волно-

водному тракту поступают на вход приемника, усиливаются и подаются на индикаторы для определения координат и физических характеристик метеорологических объектов.

В метеорологических радиолокационных станциях для наглядного представления метеорологической обстановки применяются индикаторы кругового обзора, вертикального обзора (дальность-высота) и амплитудные индикаторы.

**Виды МРЛ.** Метеорологический радиолокатор имеет несколько режимов работы. *Режим кругового обзора.* В этом режиме антенна вращается в горизонтальной плоскости с частотой 6 об/мин при постоянном угле наклона в вертикальной плоскости. На индикаторе кругового обзора создается общая картина состояния атмосферы в зоне действия станции.

*Режим ступенчатого обзора.* В этом режиме антенна вращается в горизонтальной плоскости, а ее наклон в вертикальной плоскости изменяется после оборота антенны. Величину изменения наклона антенны после каждого оборота можно регулировать от 0 до 5°. Указанным образом наклон антенны в вертикальной плоскости в данном режиме изменяется в пределах от 1 до 11°. На индикаторе кругового обзора создается общая картина состояния атмосферы в зоне действия станции под различными углами места.

*Режим вертикального обзора.* Антенна качается в вертикальной плоскости с частотой 2 качания в 1 мин. при постоянном азимуте. На индикаторе дальность-высота отображается вертикальный разрез атмосферных образований при выбранном азимуте.

*Режим вертикального зондирования.* В этом режиме антенна неподвижна, но может быть установлена в любом направлении в горизонтальной плоскости и под любым углом в пределах 1–105°. Радиолокатор в данном режиме просматривает узкий выбранный сектор пространства. Визуальная индикация метеобразований осуществляется на индикаторах трех типов: кругового обзора, дальность-высота и амплитудном (рис. 10.4).

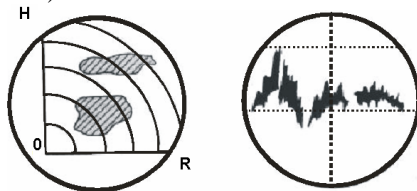


Рис. 10.4. Изображение сигналов от метеобразований на индикаторах «дальность–высота» и амплитудном

Метеорологический радиолокатор штормового оповещения МРЛ-5 предназначен для обнаружения зон облаков, грозовых и градовых очагов. Метеорологическая информация, получаемая от радиолокатора МРЛ-5, используется для штормового оповещения аэропортов и населенных пунктов, обслуживания активных воздействий на градовые очаги с целью предотвращения градобитий. Аппаратура может быть размещена в кузове автоприцепа – передвижной вариант (рис. 10.5) – или стационарно.



Рис. 10.5. Внешний вид МРЛ-5 (передвижной вариант)

Для зондирования атмосферы используется базовая отечественная радиометеорологическая система МРЛ-5. Система является двухволновым высокопотенциальным импульсным радиолокатором. Локаатор может работать как в режиме штормооповещения, так и при обслуживании градозащиты.

Отметим основные особенности МРЛ-5. Используются два отдельных канала, каждый из которых обладает высоким потенциалом; режим штормооповещения может осуществляться на каждом из каналов, а режим обслуживания градозащиты реализуется главным образом при совместной работе обоих каналов. Применяется антенная система с параболическим отражателем и двухдиапазонным облучателем, формирующая узкие диаграммы направленности. Такая антенна обеспечивает получение высокой разрешающей способности по угловым координатам и совмещение диаграмм направленности обоих диапазонов с высокой точностью, что обуславливает соответствующее качество измерения горизонтальных и вертикальных характеристик радио-

эха. Антенная система помещена под защитный купол, обеспечивающий защиту антенны от ветровых нагрузок и воздействия атмосферных явлений. Прием измерительных сигналов ведется с помощью приемных устройств 1 и 2 каналов, каждое из которых обладает высокой чувствительностью и широким динамическим диапазоном входных сигналов. Высокая чувствительность приемных устройств позволяет увеличить дальность обнаружения метеорологических объектов, а широкий динамический диапазон обеспечивает высокую точность количественных измерений радиоэха.

Принятые измерительные сигналы отображаются с помощью универсальной системы индикации, обеспечивающей возможность наблюдения и регистрации радиоэха от метеорологических объектов. Информация преобразуется с помощью аппаратуры, обеспечивающей определение азимута метеорологических целей, вычисление высоты и горизонтальной дальности, а также сопряжение с устройствами автоматической обработки метеорологической информации. Градовые очаги автоматически выделяются с помощью специальных устройств. Оперативный съем и регистрация даты, времени, номера реализуемого канала, знака нормы потенциала МРЛ, уровня изоэха, масштаба изображения, азимута и угла возвышения антенны, горизонтальной и наклонной дальности и высоты выбранной метеорологической цели выполняются с помощью специального светового табло. В МРЛ-5 с помощью специальных устройств контролируются чувствительность приемных устройств, мощность и потенциал локатора. Картины радиоэха документируются с помощью специальной регистрирующей аппаратуры.

***Автоматизация радиометеорологического зондирования атмосферы.*** Процессы получения и обработки радиометеорологической информации являются трудоемкими и при ручном способе реализации не отвечают современным требованиям к точности, пространственному разрешению, оперативности и способам доведения информации до потребителей. Именно поэтому необходима автоматизация процесса получения радиолокационной информации и ее оперативной обработки. Решение этой проблемы потребовало специальной аппаратуры сопряжения МРЛ с компьютером и специального математического обеспечения.

В настоящее время широко используются два типа отечественных специализированных автоматизированных радиометеорологических комплексов: системы АКСОПРИ и «Метеочайка».

*Система АКСОПРИ.* Автоматизированный комплекс сбора, обработки и представления радиолокационной информации (АКСОПРИ) представляет собой комплекс технических и программных средств, обеспечивающих автоматизированное проведение радиолокационных наблюдений и передачу информации потребителям, в том числе и удаленным.

АКСОПРИ обеспечивает решение следующих основных задач:

- получение информации об опасных явлениях погоды, связанных с конвективной облачностью;
- оперативное измерение характеристик осадков по большим площадям;
- сверхкраткосрочный прогноз эволюции и перемещения полей облачности и осадков;
- контроль активных воздействий на облачные системы с целью регулирования осадков и подавления града;
- комплексные исследования атмосферы.

Комплекс содержит следующие технические устройства:

- метеорологический радиолокатор МРЛ-5;
- аппаратура предварительной обработки сигналов и сопряжения радиолокатора с компьютером;
- управляющий вычислительный комплекс;
- устройства представления информации на мониторе и передачи информации потребителям.

Работой МРЛ управляет компьютер, с помощью которого выбирается рабочий канал зондирования, определяется режим предварительной обработки и включается режим кругового обзора. Осуществляется предварительная аналоговая и цифровая обработка сигналов, отраженных от метеорологических объектов. Предварительная цифровая обработка заключается в преобразовании сигналов радиоэха в специальный код и последующем вычислении исходных радиолокационных характеристик. При этом обеспечивается дискретность съема информации через каждые 250 м по дальности; данные осредняются по заданным интервалам дальности (0.5, 1.0 или 2.0 км) и азимутального угла ( $1^\circ$ ). Значения отражаемости рассчитываются в 250 прилегающих ячейках пространства. При этом обеспечивается контрольное отображение распределения радиоэха на индикаторах. Информативность данных АКСОПРИ повышена благодаря включению дополнительных режимов обработки и представления данных. Так, режим «фаза» обеспечивает измерение разности радиальных скоростей элементарных отражателей (частиц облаков и осадков) на интервале дальности 500 м

и отображение на индикаторах МРЛ зон повышенных неоднородностей поля скоростей и турбулентности.

Информация об отражаемости и неоднородностях поля скоростей при конических обзорах пространства для заданного набора углов возвышения антенны поступает в компьютер. Количество обзоров и дискретность по углам возвышения антенны определяются автоматически в соответствии с задачами, которые должен решать комплекс. Эти задачи могут оперативно изменяться оператором МРЛ. Цифровая информация выводится по полю  $100 \times 100$  элементов с пространственным размером ячеек представления  $1 \times 1$ ,  $2 \times 2$  или  $4 \times 4$  км в зависимости от выбранного радиуса обзора пространства. Для оперативного представления полученной метеорологической информации карты распределений отображаются на мониторе компьютера в виде цветных мозаичных карт. Комплекс с помощью модема позволяет организовать передачу штормовой информации по телефонной линии связи.

Комплекс АКСОПРИ обеспечивает различные режимы получения метеорологической радиолокационной информации. При работе на 1 канале ( $\lambda = 3$  см) реализуется узкая диаграмма направленности ( $0.5^\circ$ ), удобная для работы в высоких и умеренных широтах, особенно в тех случаях, когда облачные образования небольшие и поля осадков слабые. При работе с мощными метеорологическими образованиями (летом или в тропических широтах) переходят на работу во 2 канале ( $\lambda = 10$  см), где затухание радиоволн в метеорологических образованиях намного меньше. При работе с градовыми облаками можно использовать режим одновременной работы на двух каналах, реализуя метод двухволновой радиолокации. АКСОПРИ позволяет не только отображать полученную радиолокационную информацию определенного типа и в заданном масштабе, но и архивирует данные радиометеорологического зондирования атмосферы. Дальнейшая обработка данных позволяет просматривать на мониторе динамику метеорологической обстановки, совмещать с картой местности, исключать отражения от местных предметов.

*Система «Метеоячейка».* Автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс (АМРК) «Метеоячейка» предназначен для получения информации об опасных явлениях погоды, связанных с облаками. Комплекс обеспечивает автоматизированное управление метеорологическим радиолокатором МРЛ-5, сбор, обработку и анализ информации, полученной с помощью управляющего вычислительного комплекса с отображением ее на мониторе, а также

распределение обработанной метеорологической информации удаленным потребителям.

С помощью комплекса «Метеоячейка» решаются следующие основные задачи:

- проведение наблюдений, обработка и анализ данных МРЛ в режиме конических разрезов пространства обзора для ближней (до 40 км) и дальней (30–300 км) зон, представление обработанной информации в виде горизонтальных и вертикальных сечений пространства обзора. Максимальная высота обзора составляет 16 км, а общее количество ячеек представления — 1600. Информация о вертикальном профиле облачности представляется в виде вертикальных сечений для дальней зоны с размером ячеек представления 15×15 км (масштаб 150 км) или 30×30 км (масштаб 300 км), а также для ближней зоны с размером ячеек представления 5×5 км;

- прием и обработка пеленгов грозовых разрядов, принятых грозопеленгатором-дальномером в радиусе 100 и 420 км;

- проведение автоматического комплексного анализа радиолокационных характеристик метеорологических объектов на базе моделей классификации и распознавания типов опасных явлений;

- отображение метеорологической информации на мониторе с указанием на справочном поле цветовой кодировки, масштаба и режима работы, времени наблюдений и используемых размеров координатной сетки;

- передача обработанной информации в виде специализированных телеграмм по каналам связи.

Комплекс аппаратуры «Метеоячейка» состоит из следующих основных устройств:

- аппаратура первичной обработки, размещаемая в МРЛ-5;
- аппаратура вторичной обработки;
- аппаратура абонентского пункта.

В комплексе аппаратуры обработки и анализа данных имеются два блока устройства предварительной обработки и командно-диспетчерский пункт. Устройство обработки осуществляет предварительную обработку эхосигналов и выдает обработанную информацию в устройство управления. Устройство управления передает в блок обработки команды управления обработкой, содержащиеся в командном сообщении. После исполнения каждой команды устройство обработки передает в блок управления сообщение об исполнении и характеристику завершения. Блок управления через устройство коммутации управляет функционированием и контролирует работоспособность метеорологического радиолокатора, передавая обработанную инфор-

мацию и сообщения о состоянии МРЛ-5. С помощью пульта ведется управление метеорологическим радиолокатором через устройства коммутации и управления.

Весь комплекс работает с помощью стандартного и специально-го математического обеспечения. Стандартное программное обеспечение поддерживает работу системы в реальном масштабе времени, обеспечивает взаимодействие со всеми видами периферийных устройств, а также функциональный контроль в рабочем и автономном режимах. Математическое обеспечение позволяет решать функциональные задачи, связанные с комплексом, обработку и распределение метеорологической информации.

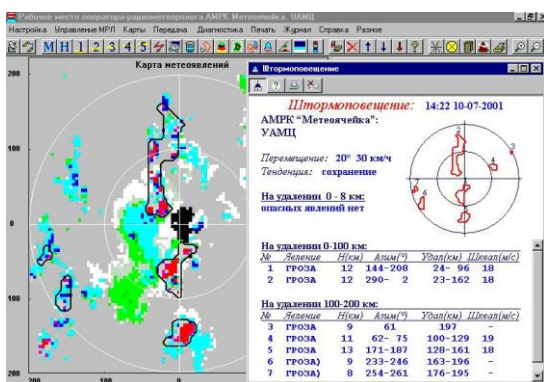


Рис. 10.6. Карта метеоявлений и штормоповещения, АМРК «Метеоячейка»

С помощью аппаратуры абонентского пункта пользователь, удаленный на расстояние до 5 км, может получать карты метеорологических явлений, верхней границы облачности и отражаемостей в заданном слое, вертикального сечения по заданному азимуту. В телеграмме, формируемой для передачи по каналу связи, содержится информация о времени измерения, используемом типе разреза, масштабе измерений, обнаруженных типах опасных явлений погоды, скорости перемещения и направлении перемещения опасных явлений погоды, координат точек контура каждого опасного явления погоды с указанием высоты облачности, с которой оно связано. Радиолокационная метеорологическая информация с АРМК «Метеоячейка» может отображаться на индикаторах диспетчеров управления воздушным движением (рис. 10.6, 10.7).



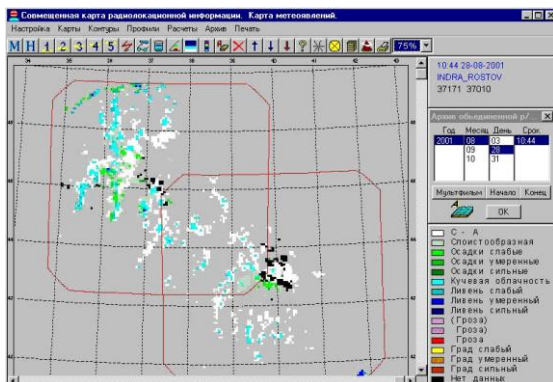


Рис. 10.7. Совмещенная карта, АМРК «Метеоячейка»

### 10.3. Метеорологические спутники

Основным преимуществом использования метеорологических космических систем, включающих несколько однотипных космических аппаратов (КА), является оперативное получение в глобальном масштабе гидрометеорологических данных с необходимым разрешением.

Спутниковые орбиты (траектории) выбираются исходя из возможностей и назначения приборов, которые размещены на спутнике. Орбиты различаются по высоте над поверхностью Земли и по ориентации плоскости вращения спутника относительно Земли. Наиболее распространены геостационарные и полярные орбиты. Геостационарные орбиты — это круговые орбиты, которые ориентированы в плоскости экватора Земли на высоте 35,800 км. Когда спутник летит на такой высоте, его орбитальный период соответствует периоду вращения Земли, поэтому спутник всегда располагается над одной и той же точкой земной поверхности. Это позволяет обеспечить регулярные наблюдения выбранной территории в любое время суток и года. Высокое временное разрешение и постоянные углы зрения – очевидные преимущества геостационарных изображений. Однако геостационарный спутник располагается далеко от Земли, чтобы одновременно получить высокое пространственное разрешение и обеспечить высокоточные количественные наблюдения. Кроме того, приборы, установленные на таких спутниках, не фиксируют полюсов и обеспечивают

хорошие условия наблюдения только в экваториальных областях, при условии одновременного размещения на орбите 5–6 спутников.

Большинство спутников в настоящее время летает по полярным орбитам. Это означает, что спутник летит к северу на одной стороне Земли, пролетает вблизи полюса, а затем летит к югу на второй половине орбиты. Многие из таких спутниковых орбит являются также солнечно-синхронизированными так, что спутники пролетают над выбранным местом в одно и то же время. Это обеспечивает одинаковые условия освещенности в одно и то же время года в течение последующих лет. Половина орбиты, на которой спутник летит в северном направлении, называется восходящей орбитой, а другая половина — нисходящей. Полярные орбиты существенно ниже, чем геостационарные. Приборы, размещаемые на полярно-орбитальных спутниках, обеспечивают лучшее пространственное разрешение и позволяют получать высококачественные данные зондирования Земли и атмосферы.

*Метеорологическая космическая система «Метеор».* В состав системы входят два спутника «Метеор-2», находящихся на квазиполярных круговых орбитах высотой около 900 км, плоскости которых пересекаются под углом  $100^\circ$ . Угол наклона орбиты составляет  $81,2^\circ$ . Средний период обращения — 102,5 мин. На спутнике установлена аппаратура, предназначенная для получения изображения облачности, ледяных и снежных полей и подстилающей поверхности (в диапазоне 0,5–0,7 мкм), для обнаружения и прослеживания облачности на теневой стороне Земли (в окне прозрачности 8–12 мкм), а также другая спектрометрическая аппаратура для определения температуры и высоты верхней границы облаков, для решения задач термического зондирования атмосферы и наблюдения за потоками проникающего излучения в околоземном пространстве.

*Российский метеорологический полярно-орбитальный КА «Метеор-3М» №1.* КА «Метеор-3М» №1 (рис. 10.8) предназначен для решения следующих основных задач:

- получение глобальных и региональных изображений облачности в видимом и инфракрасном диапазонах спектра для синоптического анализа и уточнения синоптических процессов (МР-2000М);
- получение глобальных и региональных данных о температуре поверхности океана и высоте верхней границы облачности;
- определение местоположения и динамики перемещения атмосферных вихрей (МР-2000М);
- получение данных о ледовой обстановке на акваториях морей и океанов, границах снежного покрова (МТВЗА);

– получение глобальных данных температурно-влажностного зондирования атмосферы (МТВЗА), изучения зон интенсивных осадков, интегрального водозаписа облаков (МИВЗА).

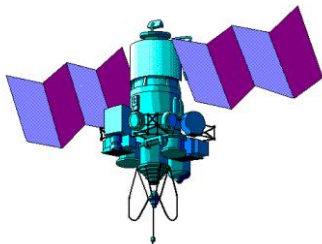


Рис. 10.8. Российский полярно-орбитальный метеорологический КА «Метеор-М»

Установка на борт КА «Метеор-3М» №1 многоканальных сканирующих устройств высокого (40 м) и среднего (225 м) пространственного разрешения позволяет использовать данный КА для решения как традиционных метеорологических, так и природно-ресурсных задач (табл. 10.1).

На борту также имеется комплекс аппаратуры гелиогеофизических измерений, американский экспериментальный прибор SAGE-III, предназначенный для определения вертикального распределения аэрозолей и малых газовых компонент атмосферы. КА «Метеор-3М» №1 (запущен 10 декабря 2001 г.): орбита — солнечно-синхронная, максимальная высота орбиты — 1029 км, минимальная — 1005 км, наклонение —  $99^{\circ}60'$ , период вращения 105,3 мин.

Радиолинии: диапазон 8,2 ГГц (передача данных МСУ-Э, МСУ-СМ); диапазон 1,7 ГГц (передача данных SAGE-III, МИВЗА, МТВЗА, МСГИ-5, КГИ-4С); диапазон 0,465 ГГц (передача глобальных данных). Состоявшийся запуск является первым шагом на пути восстановления российской полярно-орбитальной метеорологической космической системы. Спутник подготовлен Российским авиационно-космическим агентством совместно с Росгидрометом (заказчик КА «Метеор-3М» №1) в рамках Федеральной космической программы России. В настоящее время осуществляются летные испытания КА «Метеор-3М» № 1. Прием данных с КА «Метеор-3М» №1 ведется основными приемными центрами Росгидромета в Обнинске (НИЦ «Планета»), Новосибирске (ЗС РЦПОД) и Хабаровске (ДВ РЦПОД).

Таблица 10.1

## Аппаратура КА «Метеор-3М» №1

Аппаратура	Спектральный диапазон, мкм	Разрешение	Обзор, км
Сканирующая ТВ-аппаратура для получения глобальной информации МР-2000М1	0,5–0,8	1,5 км	3100
ИК-сканер для получения глобальной информации и изображений в режиме АРТ (КЛИМАТ)	10,5–12,5	1,7 км	3100
Микроволновый радиометр интегрального влажностного зондирования атмосферы (МИВЗА)	22–94 ГГц 5 каналов	25–100 км	1500
Микроволновый радиометр температурного и влажностного зондирования атмосферы (МТВЗА)	18,7–183 ГГц 52–55 ГГц 19 каналов	12–75 км	2600
Ультрафиолетовый спектрометр (лимбовый) СФМ-2	4 канала 0,2–0,51	-	-
Многоканальное сканирующее устройство высокого разрешения МСУ-Э	0,5–0,6; 0,6–0,7; 0,8–0,9	38×38 м	78
Многоканальное сканирующее устройство среднего разрешения МСУ-СМ	0,5–0,7; 0,7–1,1	225 м	2250
Определение вертикального распределения аэрозоля SAGE (США)	11 каналов 0,29–1,55	-	-

*Спутник NOAA (США).* Метеорологические спутники NOAA (рис. 10.9) имеют длину 4,18 м, диаметр — 1,88 м, массу на орбите — 1030 кг. Высота круговой орбиты 870 км, один виток спутник совершает за 102 мин. Площадь солнечных батарей спутника — 11,6 м<sup>2</sup>, мощность батарей — не менее 1,6 кВт, но со временем батареи деградируют из-за воздействия космических лучей и микрометеоров. Для нормальной работы спутника необходима мощность не менее 515 Вт. В настоящее время на орбите функционируют несколько спутников. Сканер AVHRR спутника NOAA-14 с цилиндрическим сканированием имеет 8-дюймовую (20 см) оптическую систему Кассегрена, сканирование осуществляется путем вращения с частотой 6 об/с зеркала из бериллия. Угол сканирования —  $\pm 55^\circ$ , полоса обзора — около 3000 км. Из-за кривизны Земли зона радиовидимости спутника составляет

$\pm 3400$  км, поэтому за один проход спутника удастся получить информацию с поверхности около  $3000 \times 7000$  км.

Спектральные каналы сканера выбраны так, что попадают в окна прозрачности атмосферы (мкм):

1-й — 0,58–0,68 (красный участок спектра);

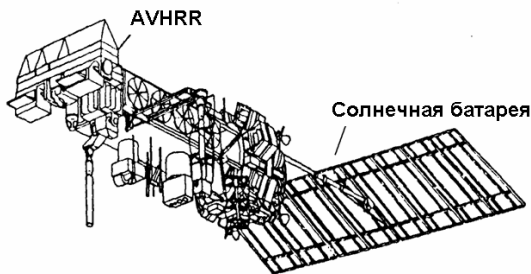
2-й — 0,725–1,0 (ближний ИК);

3-й — 3,55–3,93 (участок ИК диапазона, оптимальный для измерения излучения от лесных и других пожаров);

4-й — 10,3–11,3 (канал для измерения температуры поверхности суши, воды и облаков);

5-й — 11,4–12,4 (канал для измерения температуры поверхности суши, воды и облаков).

На спутнике NOAA-15 установлен дополнительный канал, работающий на волне длиной около 1,6 мкм для распознавания снега и льда. В 1-м и 2-м каналах в качестве детекторов излучения применяются кремниевые фотодиоды. В 4-м и 5-м каналах установлены охлаждаемые до 105 К фоторезисторы, в 3-м канале — охлаждаемый фоторезистор. На спутнике NOAA, как и на других спутниках, предусмотрена бортовая калибровка датчиков. Сканер AVHRR имеет мгновенное поле зрения во всех каналах  $\Delta\varphi = 1,26 \cdot 10^{-3}$  рад, разрешение на местности в подспутниковой точке выбрано  $\Delta L = 1,1$  км. Это связано с тем, что скорость спутника на орбите составляет 7,42 км/с, его проекция движется по поверхности Земли со скоростью 6,53 км/ч, сканер делает 6 сканов/с, за время одного скана проекция перемещается на  $l = 6,53/6$  км = 1,09 км. Указанному полю зрения в подспутниковой точке соответствует пиксел  $1,1 \times 1,1$  км. Сигналы каждого канала квантуются на 1024 уровня (10-битное квантование). Передатчик спутника имеет мощность 5,5 Вт, частота — 1700 МГц. Скорость передачи цифровой информации со сканера AVHRR составляет 665,4 Кбит/с.



### Рис. 10.9. Спутник NOAA

На спутнике установлена аппаратура HIRS для определения температуры в тропосфере на разных высотах (вертикальные профили атмосферы) в полосе обзора 2240 км. Для этого HIRS содержит автоматический сканирующий спектрофотометр ИК диапазона, использующий свойство углекислого газа изменять положение и ширину линии поглощения на длинах волн порядка 14–15 мкм в зависимости от давления. Этот же прибор позволяет оценивать общее содержание озона (ОСО) в столбе атмосферы по поглощению теплового излучения от поверхности Земли и атмосферы на длине волны 9,59 мкм. И вертикальные профили, и ОСО вычисляются на приемном конце путем решения обратных задач.

Кроме указанной аппаратуры на спутник установлены: прибор SSU для исследования стратосферы; микроволновый прибор MSU для измерения температурных профилей стратосферы; аппаратура поиска и спасения по международной программе Коспас/SARSAT; система ARGOS для сбора метеорологической и океанографической информации с автоматических метеостанций, морских буев и воздушных шаров; некоторые другие приборы. ARGOS позволяет следить за миграцией крупных животных и птиц, если к их телу прикреплены специальные малогабаритные передатчики.

*Спутник «Ресурс-01» (Россия).* Высота орбиты — 650 км, период обращения — 97,4 мин., угол наклона орбиты — 97°. Сканер МСУ-СК с конической разверткой имеет скорость сканирования 12,5 дуг/с, разрешение — 150×250 м, полосу обзора — 600 км, спектральные каналы: 0,5–0,6 мкм (зеленый участок спектра), 0,6–0,7 мкм (красный участок), 0,7–0,8 мкм (красный и ближний ИК), 0,8–1,1 мкм (ближний ИК), 10,5–12,5 мкм (тепловой, в этом канале разрешение 500 м). Сигнал каждого канала квантуется на 256 уровней. Масса сканера — 55 кг.

На спутнике «Ресурс-01» (рис. 10.10) установлены два сканера МСУ-Э с линейной разверткой, содержащие по 3 линейки на ПЗС по 1000 пикселей (по одной на каждый из 3 спектральных каналов). Разрешение — 35×45 м, скорость сканирования — 200 строк/с, полоса обзора каждого сканера — 45 км; если включены оба сканера, то полоса обзора составляет 80 км, так как полосы обзора перекрываются. Над одной и той же точкой поверхности спутник пролетает один раз в 14 дней. Чтобы повысить регулярность приема, предусмотрено отклонение оси сканера на  $\pm 30^\circ$  от надира в направлении, перпендикулярном

направлению движения спутника. Это позволяет смещать полосу обзора на  $\pm 400$  км. Спектральные каналы сканера: 0,5–0,59; 0,61–0,69; 0,7–0,89 мкм.

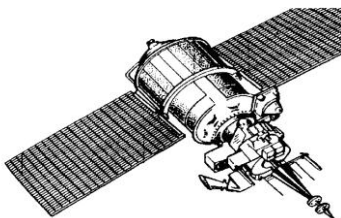


Рис. 10.10. Спутник «Ресурс-01»

Масса прибора — 23 кг. Результаты измерений передаются по радиоканалу на частоте около 8 ГГц со скоростью 7,68 Мбит/с, мощность бортового передатчика — 10 Вт.

Спутник *LANDSAT-5 (США)*. Высота орбиты — 705 км, наклонение орбиты —  $98,2^\circ$ , период обращения — 98 мин. Над одной и той же точкой поверхности пролетает один раз в 16 дней приблизительно в 9 ч. 45 мин. местного времени. Установлены 2 сканера с цилиндрической разверткой: Multi-Spectral Scanner (MSS) и Thematic Mapper (TM). MSS имеет спектральные каналы 0,49–0,605 мкм (зеленый участок спектра), 0,603–0,7 мкм (красный), 0,701–0,813 мкм (красный — ближний ИК), 0,808–1,023 мкм (ближний ИК), разрешение  $\Delta L = 80$  м, зона обзора —  $185 \times 185$  км. Сканирование осуществляется с помощью качающегося зеркала диаметром 30 см с частотой качания 13,62 Гц. Выходной сигнал квантуется на 64 уровня для каждого из каналов.

Thematic Mapper имеет разрешение  $\Delta L = 30$  м во всех спектральных каналах, кроме шестого, где оно равно  $\Delta L = 120$  м. 1–4-й каналы перекрывают диапазон 0,45–0,9 мкм; 5-й — 1,55–1,75 мкм, 7-й — 2,08–2,35 мкм, 6-й канал — тепловой (10,4–12,5 мкм). Формирование изображения осуществляется с помощью вращающегося зеркала диаметром 53 см с частотой 7 Гц. В 1–4-м каналах в качестве фотоприемников применяются кремниевые фотодиоды, в 5-м и 7-м каналах — фоторезисторы из InSb, охлаждаемые до 87 К, в 6-м канале использован фоторезистор из (HgCd) Те. TM имеет полосу обзора 185 км, выходной сигнал каждого канала квантуется на 256 уровней, скорость формирования информационного потока — 85 Мбит/с.

Если бы для каждого канала применялся один фотоприемник, то при указанных скоростях сканирования не удалось бы обеспечить ука-

занного разрешения. Столь высокое разрешение сканеров достигнуто за счет применения линейки фотоприемников, ориентированной вдоль направления движения спутника, и последовательного считывания информации с элементов линейки.

*Спутник SPOT-3 (Франция).* Орбита почти круговая высотой 820 км с наклоном  $98,7^\circ$ , период обращения — 101 мин. На спутнике установлены два сканера HVR с линейной разверткой, фотоприемниками служат 1728-элементные ПЗС-линейки, ориентированные перпендикулярно движению спутника, цветоделение осуществляется с помощью призм. Возможен панхроматический режим, перекрывающий зеленый, красный и ближний ИК диапазоны (0,51–0,73 мкм). При этом используются 4 линейки, количество пикселей в них достигает 6000, разрешение в надире  $\Delta L = 10$  м.

В многоспектральном режиме реализуются три канала: 0,5–0,59, 0,61–0,68, 0,79–0,89 мкм, по две линейки на канал ( $\Delta L = 20$  м). В панхроматическом режиме сигнал квантуется на 64 уровня, в многоспектральном — на 256 уровней для каждого канала. Полоса обзора равна 60 км в обоих случаях. Если включены оба сканера HVR, то полоса обзора равна 117 км с 3-километровым перекрытием. Периодичность наблюдения заданного района составляет 1 раз в 26 дней. Камера может отклоняться от направления в надир до  $\pm 27^\circ$ , поэтому полоса обзора может смещаться вправо и влево до 475 км от трассы спутника. При этом периодичность наблюдения заданного района может составлять 1–4 суток. Особенностью спутника SPOT является возможность получать стереоизображения земной поверхности путем съемки одного и того же участка на двух последовательных витках.

*Спутник ERS (Европейское космическое агентство).* Высота орбиты —  $798 \times 782$  км с наклоном  $98,54^\circ$  и периодом обращения 100,67 мин. В состав бортовой аппаратуры включена радиолокационная станция микроволнового зондирования AMI (Active Microwave Instrument), которая обеспечивает три режима работы.

Режим построения радиолокационных изображений подстилающей поверхности с использованием синтезированной апертуры антенны (AMI-SAR image mode) применяется при наблюдении береговой зоны, полярных льдов, при определении состояния поверхности моря, выявлении особенностей геологического строения земной поверхности, изучении растительного покрова. Сигналы, отраженные от поверхности Земли, могут приниматься двумя антеннами, расположенными одна над другой. По разности фаз их сигналов (интерферометрический метод измерения) можно определять высоту наземных объектов с точностью 10 м.



Аппаратура АМІ имеет следующие характеристики: мощность передатчика — 1270 Вт, частота — 5,3 ГГц, длительность импульса — 37,1 мкс, ширина спектра излучаемых сигналов — 15,5 МГц, вертикальная линейная поляризация излучаемых и принимаемых волн, пространственное разрешение — 30 и 100 м, ширина полосы обзора — 100 км при угле падения излучаемых электромагнитных волн на поверхность Земли  $23^\circ$  в центре полосы. На кодирование каждого отсчета отводится 16-битное слово.

Режим изучения морских волн с использованием синтезированной апертуры антенны (АМІ-SAR wave mode) обеспечивает определение направления и длины морских волн. Данный режим программно включается каждые 200–300 км, позволяя получать изображения размером  $6 \times 6$  км, по которым можно оценивать характеристики морских волн. В этом режиме излучаемая мощность — 540 Вт, частота — 5,3 ГГц, поляризация излучаемых и принимаемых волн вертикальная, точность измерения длины волны —  $\pm 25\%$  в диапазоне 100–1000 м, точность определения направления волн —  $\pm 20^\circ$  в диапазоне  $0-180^\circ$ .

Режим трехлучевого скаттерометра (АМІ Scatterometer mode) предназначен для определения характеристик приповерхностных морских ветров. В этом режиме три передающие антенны формируют три луча, сканирующие в полосе шириной до 500 км, позволяя определять направление и скорость ветра. Элементы разрешения размером  $50 \times 50$  км формируются с интервалом 25 км. Характеристики АМІ следующие: излучаемая мощность — 540 Вт, частота — 5,3 ГГц, точность определения скорости ветра —  $\pm 2$  м/с или  $10\%$  в диапазоне 2–24 м/с, точность определения направления ветра —  $\pm 20^\circ$  в диапазоне  $0-360^\circ$ , угол падения лучей изменяется в пределах  $27-58^\circ$ , обеспечивая полосу обзора шириной 500 км. Скорость передачи информации — 500 кбит/с. Во всех трех режимах полоса обзора аппаратуры АМІ смещена относительно трассы ИСЗ вправо по ходу движения.

В состав измерительной аппаратуры входит также радиолокационный высотомер RA (Radar Altimeter) на частоту 13,8 ГГц для определения скорости ветра, измерения характерной высоты волн, топографии морской поверхности, ледяного покрова и поверхности суши, построения контуров ледяных массивов, а также выявления границ морских льдов. Высотомер может работать в режиме исследования океана (Ocean Mode), обеспечивая точность измерения скорости волн 2 м/с и точность измерения высоты волн 0,5 м в диапазоне 1–20 м в пределах пятна размером 1,6–2,0 км, точность определения высоты подъема поверхности моря — 10 см. В режиме определения характеристик ледяного покрова (Ice Mode) высотомер работает с более низким простран-

ственным разрешением (около 7 км). Этот режим используется при топографии ледяных покровов, определении типа льда и выявлении границ ледяного покрова. Для периодических уточнений параметров орбиты, а также калибровки радиолокационного высотомера на ERS устанавливаются лазерные уголкового отражатели.

Комплекс приборов ATSR (Along-Track Scanning Radiometer and Microwave Sounder) включает радиометр оптического диапазона и двухканальное микроволновое устройство вертикального зондирования. Радиометр предназначен для наблюдения поверхности моря и суши, измерения их температуры, температуры верхней облачности и обеспечивает прием излучения в спектральных каналах 0,65; 0,85; 1,27; 1,6; 3,7; 11 и 12 мкм с пространственным разрешением 1 км в надире. Микроволновое устройство зондирования на частотах 23,8 и 36,5 ГГц обеспечивает поступление информации дистанционного зондирования о содержании аэрозолей в земной атмосфере, концентрации водяного пара и облачных капель, а также о состоянии растительного покрова Земли. Точность определения вертикального профиля концентрации водяного пара в пределах пятна размером 20–25 км составляет 10 %.

Спектрометр GOME (Global Ozone Monitoring Experiment) используется для построения вертикальных профилей концентрации озона ( $O_3$ ) и малых газовых компонентов ( $NO$ ,  $NO_2$ ,  $BrO$ ,  $H_2O$ ) в тропосфере и стратосфере, измерения потоков солнечного излучения, отражаемого поверхностью Земли и рассеиваемого атмосферой. Прибор работает в ультрафиолетовом диапазоне в спектральных каналах 0,24–0,295; 0,29–0,405; 0,4–0,605 и 0,59–0,79 мкм. Каждый канал содержит решетку детекторов из 1024 фотодиодов, температура которых поддерживается в пределах 39–41°C термоэлектрическими охладителями. Вертикальное разрешение при определении концентрации озона  $O_3$  составляет 5 км. Полоса обзора изменяется от 120 до 960 км, а пространственное разрешение — от 40×40 до 40×320 км.

Аппаратура PRARE (Precise Range and Rate Equipment) обеспечивает определение параметров орбиты спутника путем одновременной передачи двух радиосигналов с разной частотой на сеть специальных наземных станций, измеренная разница времени прихода сигналов позволяет корректировать относительную дисперсию, которая обусловлена влиянием ионосферы. Информация о дальности до спутника и его радиальной скорости передается обратно на борт спутника и накапливается в специальном бортовом запоминающем устройстве, а затем — в пункт приема информации при пролете над ним. Точность определения наклонной дальности до спутника составляет 4–8 см.

Информация с аппаратуры АМІ, работающей в режиме построения радиолокационных изображений (АМІ-SAR image mode), передается со скоростью 105 Мбит/с на частоте 8,14 ГГц только в реальном масштабе времени. Информация со всей зондирующей аппаратуры космического аппарата ERS, за исключением радиолокационной, объединяется в цифровой поток со скоростью около 1,1 Мбит/с и передается на Землю на частоте 8,04 ГГц или записывается на бортовой магнитофон для последующего воспроизведения в зоне радиовидимости станции приема информации со скоростью 15 Мбит/с.

*Спутник «Океан-О» (Россия).* Высота орбиты — 667 км, период обращения — 97,98 мин., угол наклона орбиты — 98,03°. На спутнике установлены две некогерентные РЛС БО, антенны которых направлены соответственно влево и вправо от направления движения спутника. Полоса обзора каждой РЛС — 455 км, угол падения излучаемых электромагнитных волн на подстилающую поверхность — 20,48°. Пространственное разрешение — в среднем 1,3 км поперек направления движения спутника и 2,5 км вдоль него.

Многоканальный сканирующий микроволновый радиометр «Дельта-2Д» имеет 4 канала со средней длиной волны 0,8 мкм (1-й канал), 1,35 см (2-й канал), 2,25 см (3-й канал) и 4,3 см (4-й канал). Полоса обзора составляет 1126 км, размеры элементов разрешения на подстилающей поверхности не более 17×22 км в 1-м канале, 28×37 км во 2-м, 49×65 км в 3-м и 91×120 км в 4-м. Два микроволновых несканирующих радиометра на длинах волн 2,25 и 6 см направлены в надир, имеют полосу обзора около 130 км.

На спутнике «Океан-О» установлен ряд приборов, работающих в оптическом диапазоне. Сканер МСУ-СК с конической разверткой аналогичен сканеру МСУ-СК спутника «Ресурс-О». Многоканальное сканирующее устройство высокого разрешения МСУ-В с полосой обзора 195 км имеет 8 спектральных каналов: 1-й — 0,48–0,52 мкм, 2-й — 0,54–0,61, 3-й — 0,63–0,73, 4-й — 0,78–0,92, 5-й — 0,915–0,997, 6-й — 1,47–1,62, 7-й — 2,060–2,385, 8-й — 10,6–12,0 мкм. Пространственное разрешение в 1–5-м каналах — 50 м, в 6-м — 100, в 7-м — 300, в 8-м — 250.

Многоканальное сканирующее устройство малого разрешения МСУ-М имеет полосу обзора 2000 км, пространственное разрешение — 1,5×1,7 км в центре строки и 1,8×1,7 км на краю строки. Поляризационный спектрорадиометр «Трассер-О» в диапазоне длин волн 411–809 нм имеет пространственное разрешение 45 км. Для сбора информации с морских буев предназначена аппаратура сбора и передачи информации «Кондор-2».

*Космический аппарат «Электро».* Геостационарный метеорологический ИСЗ «Электро» (рис. 10.11) входит в систему «Планета-С», которая совместно с метеорологической системой на базе полярно-орбитальных спутников серии «Метеор» образует Российскую национальную систему сбора гидрометеорологической информации. Запуск осуществлен 31 октября 1994 г. при помощи ракеты-носителя «Протон».

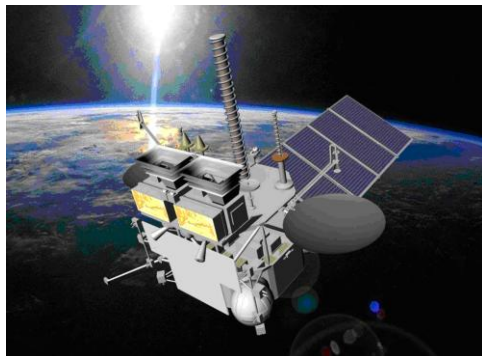


Рис. 10.11. ИСЗ «Электро-Л»

Геостационарный космический аппарат «Электро» в сочетании с техническими средствами наземного сегмента обеспечивал решение следующих основных задач:

- получение многоцелевых изображений в видимом и инфракрасном участках спектра с разрешением 1,5 и 8 км;
- сбор данных с платформ геофизического мониторинга окружающей среды;
- ретрансляция спутниковых метео снимков, прошедших предварительную обработку в наземном центре;
- мониторинг околоземного космического пространства.

В состав бортовой аппаратуры ДЗЗ, установленной на аппарате, входят бортовой телевизионный комплекс и бортовой комплекс радиационно-магнитометрической системы.

Кроме России, США, Франции, Европейского космического агентства спутники для дистанционных исследований Земли запущены Японией, Индией, Китаем, Бразилией и некоторыми другими странами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Авиационно-климатический атлас-справочник СССР. Вып. 1. Климатические характеристики основных аэропортов. Ч. 1. М.: Госкомгидромет, 1973. 185 с.*

*Автоматическая станция КРАМС / под ред. Л. П. Афиногенова и М. С. Стернзата. Л.: Гидрометеиздат, 1974. С. 14-20.*

*Автоматизированные метеорологические радиолокационные комплексы «Метеоячейка». СПб.: Гидрометеиздат, 2007. 250 с.*

*Анемометр WAA 15A/151. Руководство пользователя. Vaisala, 1996. С. 1-6.*

*Атмосфера: справочник. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 509 с.*

*Атмосфера стандартная. Параметры. ГОСТ 4401-81. М.: Госстандарт СССР. 179 с.*

*Базлова Т.А. Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети / Т.А. Базлова, Н.В. Бочарников, Г.Б. Брылев, Л.И. Кузнецова и др. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 332 с.*

*Бакулев П.А. Радиолокационные и радионавигационные системы / П.А. Бакулев, А.А. Сосновский. М.: Радио и связь, 1994. 296 с.*

*Баранов А.М. Видимость в атмосфере и безопасность полетов / А.М. Баранов. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 206 с.*

*Баранов А.М. Авиационная метеорология / А. М. Баранов, С.В. Солонин. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 383 с.*

*Баранов А.М. Авиационная метеорология / А.М. Баранов, О.Г. Богаткин, В.Ф. Говердовский, В.Д. Еникеева. СПб.: Гидрометеиздат, 1991. 345 с.*

*Баранов А.М. Облака и безопасность полетов/ А.М. Баранов. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 231 с.*

*Богаткин О.Г. Авиационные прогнозы погоды / О.Г. Богаткин Г.Г.Тараканов. СПб., 2007. 270 с.*

*Бочарников Н.В. Метеорологическое оборудование аэродромов и его эксплуатация / Н.В. Бочарников, Г.Б. Брылев, С.О. Гусев, В.П. Ковальков и др. СПб.: Гидрометеиздат, 2003. 592 с.*

*Бочарников Н.В. Автоматизированные метеорологические радиолокационные комплексы «Метеоячейка» / Н.В. Бочарников, Г.Б. Брылев, Л.И. Кузнецова, А.Г. Линев и др. СПб.: Гидрометеиздат, 2007. 236 с.*

*Бочарников Н.В.* Дальность видимости на взлетно-посадочной полосе и ее определение / Н.В. Бочарников, П.Я. Никишков, А.С. Солонин. СПб.: Гидрометеоздат, 1999. 71 с.

*Гаврилов В.А.* Прозрачность атмосферы и видимость / В.А. Гаврилов. Л.: Гидрометеоздат, 1958. 167 с.

*Гарбук С.В.* Космические системы дистанционного зондирования земли / С.В. Гарбук, В.Е. Гершензон. М.: Изд-во «А и Б», 1997. 296 с.

*Герман М.А.* Космические методы исследования в метеорологии / М.А. Герман. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 351 с.

*Государственная система обеспечения единства измерений.* Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. ГОСТ 8.009-84. М.: Изд-во стандартов, 1976. 15 с.

*Государственная система обеспечения единства измерений.* Метрология. Основные термины и определения. Минск: Изд-во стандартов, 2000. С. 9-11.

*Датчик температуры и влажности воздуха HMP45D.* Руководство по эксплуатации. Vaisala, 1999. С. 5-9.

*Иванов А. П.* Оптика рассеивающих сред / А.П. Иванов. Минск: Наука и техника, 1969. 590 с.

*Измеритель высоты нижней границы облаков РВО-2М.* Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Гидрометеоздат, 1988. С. 2-9.

*Качурин Л.Г.* Методы метеорологических измерений / Л.Г. Качурин. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 456 с.

*Коровин В.П.* Методы и средства гидрометеорологических измерений. Океанографические работы / В.П. Коровин, В.М. Тимец. СПб.: Гидрометеоздат, 2000. 310 с.

*Ковалев В.А.* Видимость в атмосфере и ее определение / В.А. Ковалев. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 216 с.

*Код для оперативной передачи данных приземных гидрометеорологических наблюдений с сети станций Госкомгидромета СССР, расположенных на суше (включая береговые станции). КН-01.* Национальный вариант международного кода FM 12-IX SYNOP. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 64 с.

*Комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция КРАМС-4.* Руководство по эксплуатации. 2004. 142 с.

*Матвеев Л.Т.* Физика атмосферы / Л.Т. Матвеев. СПб.: Гидрометеоздат, 2000. 778 с.

*Мейсон Б.Д.* Физика облаков / Б.Д. Мейсон. Л.: Гидрометеоздат, 1961. 542 с.

*Методические указания по приведению атмосферного давления к уровню моря и вычислению высот изобарических поверхностей на метеорологических станциях.* Л.: Гидрометеоздат, 1979. 49 с.

*Наставление гидрометеорологическим станциям и постам.* Л.: Гидрометеоздат, 1985. Вып. 3, ч. 1. 157 с.

*Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации России (НМО ГА-951).* М., 1995. 156 с.

*Облакомер CL31. Руководство пользователя.* Vaisala, 2005. 131 с.

*Правила техники безопасности при производстве наблюдений и работ на сети Госкомгидромета.* Л.: Гидрометеоздат, 1987. 262 с.

*Приборы и установки для метеорологических измерений на аэродромах / под ред. Л.П. Афиногенова, Е.В. Романова.* Л.: Гидрометеоздат, 1981. 295 с.

*Прэтт У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт.* М.: Мир, 1982. Т. 1. 310 с., Т. 2. 790 с.

*Психрометрические таблицы.* Л.: Гидрометеоздат, 1972. 235 с.

*Облака и облачная атмосфера: справочник / под ред. И.П. Мазина и А.Х. Хргиана.* Л.: Гидрометеоздат, 1989. 647 с.

*Радиолокационные станции обзора Земли / под ред. Г.С. Кондратенкова.* М.: Радио и связь, 1983. 246 с.

*Руководство по использованию спутниковых данных в анализе и прогнозе погоды / под ред. И.П. Ветлова, Н.Ф. Вельтищева.* Л.: Гидрометиздат, 1982. 342 с.

*Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации.* Л.: Гидрометеоздат, 1985. 301 с.

*Российская Федерация. Закон об обеспечении единства измерений. № 4871-1. 27.04.1993.* М.: Дом Советов России, 1993. 86 с.

*Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений. 6-е изд.// документы ВМО. Женева, 2000, № 8.* 305 с.

*Руководство по определению дальности видимости на ВПП (RVR). РД 52.21.680-2006.* М.: Гидрометеоздат, 2006. 96 с.

*Савиных В.П. Оптико-электронные системы дистанционного зондирования / В.П. Савиных, В.А. Соломатин.* М.: Недра, 1995. 240 с.

*Сборник международных метеорологических авиационных кодов (METAR, SPECI ТАФ).* М.: Росгидромет, 1995. 44 с.

*Семенченко Б.А. Физическая метеорология / Б.А. Семенченко.* М.: Аспект Пресс, 2002. 415 с.

*Справочник потребителя спутниковой информации / под ред. В.В. Асмуса, О.Е. Милехина.* СПб.: Гидрометеоздат, 2002. 105 с.

*Стернзат М.С.* Метеорологические приборы и измерения / М.С. Стернзат. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 391 с.

*Толмачева Н.И.* Космическая метеорология с основами астрономии: метод. указ. / Н.И. Толмачева; Перм. ун–т. Пермь, 2002. Ч. 1. 24 с.; Ч. 2. 13 с.; Ч. 3. 16 с.

*Толмачева Н.И.* Основы метеорологических наблюдений / Н.И. Толмачева, Л.Н. Ермакова; Перм. ун–т. Пермь, 2005. 259 с.

*Толмачева Н.И.* Космические методы экологического мониторинга / Н.И. Толмачева, Л.С. Шкляева; Перм. ун–т. Пермь, 2006. 296 с.

*Толмачева Н.И.* Метеорологические радиолокаторы и радионавигационные системы управления воздушным движением / Н.И. Толмачева, О.Ю. Булгакова; Перм. ун-т. Пермь, 2007. 154 с.

*Толмачева Н.И.* Дистанционные методы исследования мезометеорологических процессов / Н.И. Толмачева; Перм. ун-т. Пермь, 2010. 200 с.

*Тучков Н.Т.* Автоматизированные системы и радиоэлектронные средства управления воздушным движением / Н.Т. Тучков. М.: Транспорт, 1994. 368 с.

Флюгер WAV 15 A/151. Руководство пользователя. Vaisala, 1996. С. 7-9.

*Хромов С.П.* Метеорологический словарь / С.П. Хромов, Л.И. Мамонтова. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 568 с.

*Хромов С.П.* Метеорология и климатология / С.П. Хромов, М.А. Петросянц. М.: Изд-во МГУ, 2001. 527 с.

*Хромов С.П.* Метеорология и климатология / С.П. Хромов, М.А. Петросянц. М.: Изд-во МГУ, 2004. 584 с.

*Хргиан А.Х.* Физика атмосферы / А.Х. Хргиан. М.: Изд-во МГУ, 1986. 328 с.

*Шарова Л.Н.* Средняя многолетняя температура воздуха по зарубежной территории и акватории Северного полушария / Л.Н. Шарова. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 296 с.

*Шанда Э.* Физические основы дистанционного зондирования / Э. Шанда. М.: Недра, 1990. 280 с.

Цифровые барометры серии РТВ220. Руководство пользователя. Vaisala, 2000. С. 3-5.

*Ямпольский В.С.* Основы автоматики и электронно-вычислительной техники / В.С. Ямпольский. М.: Просвещение, 1991. 223 с.



## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

### Применяемые термины и определения

*Безопасность труда* — состояние условий труда, при котором исключено воздействие на работающих опасных и вредных производственных факторов.

*Временное удостоверение годности* — документ, удостоверяющий соответствие серийного образца оборудования сертификату с установленными для него ограничениями и дающий право на его установку и настройку на месте эксплуатации (выдается по результатам приемочных испытаний образца на предприятии-изготовителе).

*Гарантийный срок* — период (годы, месяцы), в течение которого изготовитель гарантирует выполнение и обеспечивает ремонт выпускаемых изделий.

*Защитное заземление* — преднамеренное электрическое соединение с землей и ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

*Изделие* — единица серийно выпускаемой продукции, предназначенной для выполнения определенной функции.

*Комплект ЗИП* — запасные части, инструменты, принадлежности (контрольные приборы, приспособления, чехлы, буксирные тросы и т. п.) и материалы, необходимые для технического обслуживания и ремонта изделий и скомплектованные в зависимости от назначения и особенностей использования.

*Метеорологическое оборудование (метеоборудование)* — технические средства, предназначенные для получения метеоинформации, необходимой для метеорологического обеспечения взлета и посадки воздушных судов на аэродромах ГА.

*Нормальные условия* — это когда температура окружающего воздуха равна  $(20 \pm 5)$  °С, относительная влажность воздуха 30–80 %, атмосферное давление 630–800 мм рт. ст. (840–1080 гПа).

*Охрана труда* — система законодательных социально-экономических, технических, санитарно-гигиенических и организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность труда, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

*Паспорт* — документ, удостоверяющий гарантированные предприятием-изготовителем основные параметры и характеристики изде-

лия.

*Первичная поверка средства измерений* — поверка средства измерений, производимая при выпуске его из производства или ремонта.

*Периодическая поверка средства измерений* — поверка средства измерений, производимая при его эксплуатации и хранении через определенные промежутки времени.

*Периодическое техническое обслуживание* — техническое обслуживание, выполняемое через установленные в эксплуатационной документации значения наработки или интервалы времени.

*Поверка средства измерений* — определение метрологическим органом погрешностей средства измерений и установление его пригодности к применению (в отдельных случаях при поверке вместо определения значений погрешностей проверяют, находятся ли они в допускаемых пределах).

*Вероятность безотказной работы* — вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ изделия не возникает.

*Назначенный ресурс* — суммарная наработка изделия, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его состояния.

*Погрешность средств измерений* — разность между показанием прибора и действительным значением измеряемой величины (для измерительного прибора); разность между действительной и номинальной характеристиками преобразования, приведенная к его выходу (для измерительного преобразователя). Погрешности средств измерений характеризуются пределом  $\Delta$  допускаемого значения погрешности средств измерений данного типа; математическим ожиданием  $M(\Delta)$  и средним квадратическим отклонением  $\sigma(\Delta)$  погрешности средств измерений данного типа. Установлены следующие пределы допускаемых погрешностей средств измерений:

- абсолютные  $\Delta = \pm\alpha$ , где  $\alpha$  — постоянная величина;
- приведенные  $\gamma = 100*\Delta/x_N$ , где  $\gamma$  — в процентах от нормируемого значения  $x_N$ ,  $\Delta$  — абсолютная погрешность;
- относительные  $\delta = 100*\Delta/x \pm c$ , где  $x$  — значение измеряемой величины,  $c$  — постоянное число.

*Порог ВПП* — начало участка ВПП, который может использоваться для посадки воздушных судов.

*Пожарная безопасность* — состояние объекта, при котором практически исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных факторов пожара и обеспечивается защита материальных ценностей.

*Предельное состояние* — состояние изделия, при котором его

дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена из-за неустранимого нарушения требований безопасности или неустранимого ухода характеристик за установленные пределы, или неустранимого снижения эффективности эксплуатации ниже допустимой, а также из-за необходимости среднего или капитального ремонта.

*Продленный ресурс* — наработка, установленная после проведения экспертизы изделия, выработавшего средний ресурс.

*Резервирование* — метод повышения надежности изделия введением избыточности (избыточность — дополнительные средства и возможности сверх минимально необходимых для выполнения изделием заданных функций).

*Регламент* — свод правил, устанавливающий периодичность и объем работ, которые могут быть отменены только органами, установившими регламент.

*Ремонт* — комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности изделий и восстановлению ресурсов изделий и их составных частей.

*Ремонтопригодность* — свойство изделия, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранения их последствий путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

*Сертификация* — установление соответствия оборудования требованиям действующих норм годности к эксплуатации.

*Сертификат годности оборудования к эксплуатации* — документ, удостоверяющий соответствие данного типа оборудования аэродрома действующим нормам годности к эксплуатации оборудования аэродромов и специальным требованиям заказчика в ожидаемых условиях эксплуатации.

*Средство измерения* — техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства.

*Срок службы* — календарная продолжительность эксплуатации изделия от ее начала или возобновления после среднего и капитального ремонта до наступления предельного состояния.

*Техника безопасности* — система организационных и технических мероприятий и средств, предотвращающих воздействие на работающих опасных производственных факторов.

*Техническое обслуживание* — комплекс операций или операция по поддержанию работоспособности или исправности изделия при его использовании по назначению, хранении и транспортировании.

*Технические условия* — нормативно-технический документ, устанавливающий комплекс требований к продукции конкретных типов, марок, артикулов, разрабатываемый на основе соответствующих стандартов и в дополнение к ним. ТУ разрабатываются на изделия, предназначенные для самостоятельной поставки потребителю, а также на составные части сложных изделий. Они входят в состав конструкторской документации и являются основным правовым документом, характеризующим качество продукции при заключении договоров на ее поставку и предъявление рекламаций.

*Технический ресурс* — наработка объекта от начала эксплуатации или ее возобновления после среднего и капитального ремонта до наступления предельного состояния.

*Технологическая карта* — форма технологической документации, в которой записан весь процесс технического обслуживания (обработки) изделия, указаны операции и их составные части, применяемые материалы, производственное оборудование, технологические режимы и необходимое для проведения работы время (с указанием его составляющих), квалификация работников и др.

*Требования безопасности труда* — требования, установленные законодательными актами, нормативно-технической документацией, правилами и инструкциями, выполнение которых обеспечивает безопасность труда.

*Удостоверение годности оборудования к эксплуатации* — документ, удостоверяющий соответствие экземпляра оборудования сертификату и дающий право на его эксплуатацию в соответствии с установленными для данного типа оборудования ограничениями.

*Формуляр* — документ, удостоверяющий гарантированные предприятием-изготовителем основные параметры и технические характеристики изделия, отражающие техническое состояние данного изделия и содержащие сведения по его эксплуатации (длительность и условия работы, техническое обслуживание, виды ремонта и др. за весь период эксплуатации).

*Электробезопасность* — система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

*Юстировка средств измерений* — совокупность операций по доведению погрешностей средств измерений до значений, соответ-

вующих техническим требованиям.

## Приложение 2

### Список аббревиатур и сокращений

- АИУ – автономное индикаторное устройство.  
АМИИС – автоматизированная метеорологическая информационно-измерительная система.  
АМСГ – авиационная метеорологическая станция гражданская.  
АМЦ – авиационный метеорологический центр.  
АРМ – автоматизированное рабочее место.  
АРУ – автоматическая регулировка усиления.  
АСМО – автоматизированная система метеообеспечения.  
АСПД – автоматизированная система передачи данных.  
АСУ – автоматизированная система управления.  
БДТВ – блок датчиков температуры и влажности КРАМС.  
БИ – блок индикации.  
БПРМ – ближнеприводной радиомаркерный пункт.  
БРВ – блок ручного ввода.  
БУП – блок управления и преобразования КРАМС-2.  
БФ – блок фотометрический.  
ВМО – Всемирная метеорологическая организация.  
ВНГО – высота нижней границы облаков.  
ВПН – вспомогательный пункт наблюдений.  
ВПП – взлетно-посадочная полоса.  
ВЦЗП – Всемирный центр зональных прогнозов.  
Госстандарт – Государственный комитет стандартизации и метрологии.  
ГМС – гидрометеорологическая станция.  
ДВНГО – датчик высоты нижней границы облаков.  
ДВО – датчик высоты облаков КРАМС-2.  
ДД – датчик атмосферного давления КРАМС.  
ДМДВ – датчик метеорологической дальности видимости.  
ДПВ – датчик параметров ветра.  
ЗИП – запасное имущество и приспособления.  
ИВО – измеритель высоты облаков.

ИНГО – измеритель нижней границы облаков.

ИЭ – инструкция по эксплуатации.

ИС – информационная система.

КДП – командно-диспетчерский пункт.

КРАМС – комплексная радиотехническая автоматическая метеорологическая станция (КРАМС-М, КРАМС-М1, КРАМС-2, КРАМС-2-АРМ, КРАМС-4).

МДВ – метеорологическая дальность видимости.

МОД – метеорологическая оптическая дальность.

МРЛ – метеорологический радиолокатор.

МС – метеорологическая станция.

ОЗУ – оперативное запоминающее устройство.

ОПН – основной пункт наблюдений.

РВО – регистратор высоты облаков (РВО-2М).

РДВ – регистратор дальности видимости (РДВ-1, РДВ-2, РДВ-

3).

Росгидромет – Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

РТА – рулонный телеграфный аппарат.

СДП – стартовый диспетчерский пункт.

ТО – техническое описание.

УВД – управление воздушным движением.

УГМС – межрегиональное территориальное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

УЦВС – устройство центральное вычислительное специализированное КРАМС-2.

ФИ – фотометр импульсный (ФИ-1, ФИ-2).

ЦГМС – центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

*Учебное издание*

*Толмачева Наталья Игоревна*

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ  
(для метеорологов)**

*Учебное пособие*

Редактор *Л. Г. Подорова*  
Компьютерная верстка *Н.И. Толмачевой*

Подписано в печать 03.03.2011. Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. 13,02. Тираж 100 экз. Заказ

Редакционно-издательский отдел  
Пермского государственного университета  
614990. Пермь, ул. Букирева, 15

Типография Пермского государственного университета  
614990. Пермь, ул. Букирева, 15