

Министерство образования и науки Российской Федерации

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**К.Л. Восканян, А.Д. Кузнецов, О.С. Сероухова**

# **АВТОМАТИЧЕСКИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ**

**Часть 1. Тактико-технические характеристики**

Учебное пособие

Санкт-Петербург



2016

УДК 91(075.8)

ББК 26.23

В76

*Рецензент:* д-р физ.-мат. наук, проф. Г.Г. Шукин (Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского).

**Восканян, К.Л. и др.**

Автоматические метеорологические станции: в 2 т. / К.Л. Восканян, А.Д. Кузнецов, О.С. Сероухова. — Ч. 1. Тактико-технические характеристики: учебное пособие. — СПб.: РГГМУ, 2016. — 170 с.

Представленный в первой части учебного пособия материал позволит будущим учащимся ознакомиться с устройством и принципом действия современных автоматических метеорологических станций, понять особенности проведения метеорологических наблюдений в интересах различных отраслей хозяйственной деятельности, ознакомиться с используемыми в этих станциях датчиками, получить представления о формах визуализации информации от автоматических метеорологических станций.

Пособие предназначено для бакалавров и магистров, обучающихся по специальностям гидрометеорологического профиля при изучении такой дисциплины, как «Автоматические метеорологические станции общего и специального назначения». Пособие будет также полезно в качестве дополнительной литературы при изучении дисциплин «Методы и средства гидрометеорологических измерений», «Зарубежная метеорологическая техника», «Авиационная метеорология», «Современные тенденции развития метеорологической техники», «Аппаратурные средства метеорологического обеспечения авиации», «Контроль загрязнения природной среды», «Текущее прогнозирование».

**Voskanyan, K.L. et al.**

Automatic weather stations / K.L. Voskanyan, A.D. Kuznetsov, O.S. Serouhova. Part 1: Performance characteristics. Tutorial. — St. Petersburg, RSHU Publishers, 2016. — 170 p.

Introduced in the first part of the tutorial material will allow students to become familiar with the device and the principle of operation of modern automatic weather stations; understand the characteristics of meteorological observations in the interests of various sectors of economic activity, to get acquainted with these stations are used in sensors, get ideas about ways to visualize information from automatic weather stations.

The manual is intended for bachelors and masters trained on specialties of hydrometeorological profile in the study of such subjects as «Automatic Weather Stations general and special purpose». The manual will also be useful as an additional literature in the study of such disciplines as «Methods and tools for hydro-meteorological measurement», «International meteorological equipment», «Aviation meteorology», «Modern trends in meteorological technology», «Instrumental means of meteorological support of aviation», «Nowcasting».

ISBN 978-5-86813-421-0 — ч. 1  
ISBN 978-5-86813-423-4 — ч. 2

© Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С., 2016  
© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2016

## ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ

ВМО	Всемирная метеорологическая организация
Росгидромет	Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
УГМС	Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
АМС	Автоматическая метеорологическая станция
ОЯ	опасные явления
НГЯ	неблагоприятные гидрометеорологические явления
<i>BWS200,</i> <i>AWS-2700,</i> <i>Vantage Pro,</i> <i>WXT520,</i> <i>WS 600-UMB,</i> <i>100WX/150WX/300WX,</i> М-49М	Автоматические метеорологические станции
<i>GPRS</i>	<i>General Packet Radio Service</i> — «пакетная радиосвязь общего пользования»
ИРАМ	ЗАО «Институт радарной метеорологии» (ЗАО «ИРАМ»)
АИИС	Автоматическая информационно-измерительная система
АМК	автоматизированный метеорологический комплекс
АРМ	автоматизированное рабочее место
ААК	автоматизированный актинометрический комплекс
АИК	автоматизированный измерительный комплекс
КМ-1	книжка для записи метеорологических наблюдений в сроки
КН-01	код для оперативной передачи данных приземных гидрометеорологических наблюдений на сети станций Росгидромета (национальный вариант международного кода <i>FM12-IX SYNOP</i> )
КН-21	код сообщения о ежесуточных и ежедекадных данных, используемый на метеорологической сети
КН-19	код сообщения о ежедекадных данных, используемый на метеорологической сети Росгидромета
КН-24	код сообщения о результатах снегосъемки, используемый на метеорологической сети Росгидромета
<i>CLIMAT</i>	код сообщения о ежемесячных данных, используемый на метеорологической сети Росгидромета
ПЭВМ	персональная электронно-вычислительная машина
БЦИ	блок центральный измерительный
<i>RS232/422/485</i>	<i>Recommended Standard</i> — физический уровень для асинхронного ( <i>UART</i> ) интерфейса
<i>IBM PC/AT</i>	персональный компьютер, третье поколение <i>IBM PC</i>
<i>BUFR</i>	<i>Binary Universal Form for Representation meteorological data</i> — двоичная универсальная форма для представления метеорологических данных
ЦУ	центральное устройство
<i>HMP45D, HMP35D,</i> <i>HMP155, DS18B20</i>	датчики температуры и влажности

<i>DTS12G, NL1S011S,</i> ТСПТ 300	датчики температуры
<i>DTR 502, DTR 13</i>	радиационная защита
<i>PTB100/200/220</i>	
<i>PA21</i>	
БАР	датчики давления
<i>WAA 151/252</i>	
<i>WAV151/252</i>	
ИПВ-01	
М63М-1	
МАРК 60.1	
ДВМ	
<i>Wind Monitor 05103</i>	измерители параметров ветра
<i>СМ-11,</i> <i>СНР-6,</i> СФ-06	пиранометр, измеритель рассеянной, отраженной и суммарной солнечной радиации
<i>СНР-1</i>	
СФ-12	измеритель прямой солнечной радиации
<i>СГ-4</i>	пиргеометр, измеритель приходящей и уходящей длинноволновой радиации
СФ-08	балансомер
ВК-05	прибор для определения продолжительности солнечного сияния
<i>SOLYS-2</i>	
ПСС-1	следающая система, трекер
<i>Milos 500</i>	
<i>QLI 50</i>	
<i>WT521</i>	промежуточные преобразователи
БРС	барометр рабочий сетевой
АССII	название таблицы цифровой кодировки — <i>American standard code for information interchange</i>
<i>Mitras</i>	
<i>LT31</i>	
<i>FD12/FD12P</i>	
ФИ-3	
<i>VS20</i>	измерители метеорологической дальности видимости
<i>LTT111</i>	
<i>LTR111</i>	излучатель и приемник измерителя оптической дальности видимости <i>LT31</i>
<i>FDR12</i>	
<i>FDT12B</i>	излучатель и приемник измерителя оптической дальности видимости <i>FD12/FD12P</i>
ОБ	отражатель ближний
ОД	отражатель дальний
МОД ( <i>MOR</i> )	метеорологическая оптическая дальность <i>Meteorological Optical Range</i>
МДВ	метеорологическая дальность видимости
<i>LM11</i>	блок, определяющий яркость фона
СКНП	световой коэффициент направленного пропускания

CT25K	
ДВО	
CL31	
ИВО-1М	
ЛВВХ-1	измерители высоты облаков
БПО	базовое программное обеспечение
СПО	специальное программное обеспечение
СУБД	система управления базами данных
MySQL	система управления базами данных фирмы Sun
<i>uSonic-2 Wind</i>	
<i>Sonic-3 Scientific</i>	
<i>WindObserver65</i>	ультразвуковые анемометры
<i>WS200/300/400/500</i>	упрощенные метеостанции фирмы «LUFFT»
<i>GPS</i>	спутниковая система навигации
АМЦ	авиационный метеорологический центр
АМСГ	авиационная метеорологическая станция гражданская
КРАМС-4	комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция
АВИА	аэродромная метеорологическая станция
ПМС	передвижная метеорологическая станция
СНГ	Содружество Независимых Государств
<i>METAR</i>	регулярное сообщение о погоде для авиации (кодовая форма)
<i>SPECI</i>	выборочное специальное сообщение о погоде для авиации (кодовая форма)
<i>MET REPORT</i>	регулярная сводка фактической погоды в открытом тексте
<i>ATIS</i>	<i>Automatic Terminal Information Service</i> — служба автоматической передачи информации в районе аэродрома
<i>Модем</i>	устройство для обмена информацией и преобразования сигналов
<i>DMX55</i>	
<i>ZYXEL</i>	
<i>V3365/U336R</i>	
<i>BELL 202</i>	модемы
БК-16М	блок коммутации
ВПП	взлетно-посадочная полоса
<i>LIDAR</i>	<i>LIght Identification Detection and Ranging</i> технология получения и обработки информации об удаленных объектах с помощью активных оптических систем
<i>DD50</i>	цифровой дисплей
<i>DMC50A</i>	процессор
ПО	программное обеспечение
БИ	блок индикации
<i>RG13/RG13H</i>	
<i>BOA-1</i>	
<i>DRD11A</i>	
<i>QMR370</i>	осадкомеры
ПК	персональный компьютер
АРМН	автоматизированное рабочее место наблюдателя
АРМС	автоматизированное рабочее место синоптика

ПД	погодный дисплей
ДВ–1М	дистанционная приставка
ПП	прикладная программа
БИО	блок измерения осадков
БОАИ	блок обработки, архивации и индикации
БП	блок питания
БС	блок сопряжения
АСОУ	автоматизированная система организационного управления
АСМО	автоматизированная система метеорологического обеспечения
ДМС	дорожная метеорологическая станция
АДМС	автоматическая дорожная метеорологическая станция
ВОЛС	волоконно-оптическая линия связи
<i>DRIS21/DRIS11</i>	интерфейсная плата
<i>DRS50</i>	
<i>DRS511</i>	дорожные датчики состояния покрытия
<i>CS</i>	электрическая проводимость
<i>SS</i>	электрохимическую поляризованность
<i>IRS31-UMB</i>	пассивный дорожный датчик для определения состояния покрытия
<i>ARS31-UMB</i>	встраиваемый активный дорожный датчик
<i>DTS12G3</i>	датчик температуры почвы
<i>NIRS31-UMB</i>	датчик дистанционного определения температуры дороги и параметров состояния поверхности дороги
ЦОУП	Центр оперативного управления производством
ЦУП	Центр управления производительностью
ПГМ	противогололедные материалы
<i>PWD31</i>	идентификатор осадков
КАД	кольцевая автомобильная дорога
АЖДМС	автоматическая железнодорожная метеорологическая станция
МПС	Министерство путей сообщения
МИПС-001	модуль измерения параметров среды
ЗП	земляное полотно
<i>НН-4000</i>	датчик влажности
<i>PTU</i>	внешний модуль
<i>NDBC</i>	Национальный Центр данных по бакенам
ДВМ	датчик ветра малогабаритный
ДКГ АТ2503	дозиметр
СБМ-21	счетчик Гейгера-Мюллера
УС	устройство считывания
ПАК	программно-аппаратный комплекс

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Современные требования, предъявляемые к гидрометеорологическим данным, способам их получения и обработки стали основой концепции модернизации и технического перевооружения учреждений и организаций Росгидромета. Техническое перевооружение наблюдательной сети направлено на решение следующих задач:

- увеличение плотности государственной наблюдательной сети, учитывая научно-методическое обоснование и экономические факторы, определяющие географию размещения пунктов метеорологических наблюдений;
- проведение полной технической модернизации системы наземных метеорологических наблюдений за счет внедрения автоматизированных метеорологических станций, современных средств связи и обработки.

Для решения поставленных задач необходимо готовить высококвалифицированных специалистов и повысить квалификацию персонала гидрометеорологических станций и постов с учетом требований по эксплуатации современных приборов и оборудования.

В учебном пособии рассматриваются специфические требования к различным автоматическим метеорологическим станциям (АМС) общего и специального назначения, входящая в их состав аппаратура, особенности проведения измерений и структура получаемой информации. В число рассмотренных АМС вошли станции, используемые на метеорологической сети Роскомгидромета, и специализированные дорожные, авиационные, судовые, экологические и др.

Теоретические сведения, приводимые в данном учебном пособии, позволяют понять структуру современных АМС и познакомиться с аппаратурой, входящей в состав АМС; понять, какая информация может быть получена при использовании аппаратуры АМС, а также основополагающие принципы ее обработки.

Учебное пособие подготовлено в соответствии с программой дисциплины «Автоматические метеорологические станции общего и специального назначения», читаемой авторами в РГГМУ бакалаврам по следующим направлениям:

- Прикладная гидрометеорология. Профиль — Прикладная метеорология.
- ФГОС ВПО 05.03.05 — Прикладная гидрометеорология. Профиль — Гидрометеорологические информационно-измерительные системы.
- 280400.62. Профиль — Прикладная метеорология (Еврогруппа МА).
- 05.03.04: Гидрометеорология.

## ВВЕДЕНИЕ

Погода была и будет важна для человечества в любые времена. Без знания фактического значения, например температуры воздуха и ее прогностического значения, трудно себе представить жизнь и хозяйственную деятельность современного общества, когда метеорологический параметр или его прогноз различной заблаговременности не учитывался бы в той или иной мере. Это и коммунальные службы, и прогностические подразделения гидрометеослужбы, и строительство, и энергетика, и многие другие виды хозяйственной деятельности. По данным исследований, выполненных в США, можно определить порядок распределения ряда отраслей хозяйственной деятельности по степени их зависимости от погодных условий и важности в формировании национального дохода или в общественном производстве (табл. В1). Как следует из анализа приведенных в таблице данных, отрасли, наиболее подверженные влиянию погоды (например, рыболовный флот), занимают, как правило, последние места в перечне значимости их в национальном доходе. Исключение составляет сельское хозяйство. Однако роль метеорологического обеспечения хозяйственной деятельности не исчерпывается только финансовой оценкой зависимости этой деятельности от метеорологических факторов. Необходимо учитывать соотношение между затратами на метеорологическое обеспечение и той прибылью, которая возникает при исключении потерь за счет правильного учета неблагоприятных явлений погоды. Кроме того, трудно переоценить те моральные потери, которые несет общество в случае крушения по погодным условиям широкофюзеляжного самолета или круизного лайнера.

Метеорологическое обеспечение хозяйственной деятельности базируется на анализе и прогнозе погоды. Для анализа метеорологической ситуации используются результаты измерений, выполняемых с помощью различных измерительных систем наземного и космического базирования. В настоящее время эффективность метеорологического обеспечения во многом зависит от степени оснащения современным метеорологическим оборудованием и средствами автоматизации. На современном этапе мы переживаем взрывное нарастание объема данных, получаемых от метеорологических информационно-измерительных систем различного назначения и базирования: автоматических метеорологических станций общего и специального назначения, систем дистанционного зондирования наземного (доплеровские метеорологические радиолокационные станции, профайлеры и т.д.) и космического (метеорологические спутники Земли) базирования. Все эти системы в процессе своего функционирования создают временные

ряды, имеющие самую разнообразную структуру. Причем все эти системы постоянно совершенствуются и расширяются, увеличивается их число и совершенствуется качество получаемой метеорологической информации.

*Таблица В1*

**Распределение отраслей хозяйства по степени их зависимости от погодных условий и важности в формировании национального дохода**

Порядковый номер отрасли по степени влияния погодных условий	Порядковый номер отрасли по уровню формирования национального дохода	Отрасль хозяйственной деятельности
1 (сильное влияние)	12	Рыболовный флот
2	4	Сельское хозяйство
3	9	Воздушный флот
4	11	Лесная промышленность
5	3	Строительство
6	7	ЖД и автотранспорт
7	10	Водный транспорт
8	5	Производство и передача энергии
9	2	Торговля
10	6	Коммуникации
11	8	Отдых, туризм, развлечения
12 (слабое влияние)	1	Легкая промышленность

Измерительные системы наземного базирования обычно концентрируются на различного рода метеорологических станциях и постах. На метеорологических станциях и постах, не оборудованных современными автоматизированными измерительными системами, измерения проходят в стандартные сроки (с дискретностью 3 ч), однако для некоторых отраслей — это слишком большой срок. Поэтому возникла необходимость развивать и усовершенствовать как оборудование, так и сам принцип работы наземных метеорологических станций.

Показателем успешности проекта технического переоборудования сети служат уровень точности прогнозирования, улучшение передачи данных внутри сети Росгидромета и за ее пределы, увеличение доступа к архивным данным, увеличение плотности наблюдательных сетей и увеличение заблаговременности оповещений о неблагоприятных и опасных погодных явлениях с целью снижения ущерба. Разработан и внедрен инновационный метод построения распределенных систем сбора и передачи метеорологических данных. Внедрение нового метода сопровождается экспериментальной проверкой и исследовательскими работами по повышению надежности и точности измерений.

В 2014 г. учреждениями Росгидромета было выпущено и доведено до потребителей более 1980 штормовых предупреждений, оправдываемость которых составила 94 % (в 2013 г. — 92,5 %). Предупрежденность ОЯ, нанесших ущерб, также возросла и достигла 94 % (в 2013 г. — 91,6 %). В 2014 г. экономический эффект от использования гидрометеорологической информации по данным УГМС составил 29,5 млрд руб., что превысило аналогичный показатель 2013 г.

В отмеченном перечне информационно-измерительных систем особое место занимают автоматические метеорологические станции (АМС), которые удачно совмещают в своем составе аппаратуру для проведения контактных и дистанционных измерений. АМС предназначены для сбора, форматирования и передачи информации о метеорологических параметрах воздушной среды в центры сбора данных по различным каналам связи.

**Метеостанция** — учреждение, проводящее метеорологические наблюдения. Основным официальным метеостанциям мира присвоены синоптические индексы. Индексы метеорологических станций можно посмотреть, например, на сайте [http://meteomaps.ru/meteostation\\_codes.html](http://meteomaps.ru/meteostation_codes.html), а географические координаты отечественных метеорологических станций — на сайте <http://meteo.ru/data/155-meteostations>.

В зависимости от установленного объема наблюдений метеостанции разделяются на три разряда (табл. В2). Наиболее простые метеостанции III разряда (дождемерные пункты), на которых определяется главным образом количество выпадающих осадков и высота снежного покрова. На метеостанции II разряда установлена метеорологическая будка с гигрометром и психрометром. Эта станция оборудована барометром, флюгером, серией почвенных термометров. На ней ведутся наблюдения над облачностью, солнечным сиянием, испарением и др. метеорологическими элементами. Аналоговые метеостанции I разряда, кроме того, снабжены разнообразными самопишущими приборами. Практически все современные автоматические метеорологические станции общего назначения можно отнести к метеостанциям I разряда.

Важная особенность современных АМС заключается в том, что они позволяют получать метеорологическую информацию, учитывающую специфику ее дальнейшего использования. Эта особенность АМС привела к появлению для метеорологического обеспечения различных отраслей хозяйственной деятельности (наряду с АМС общего назначения, устанавливаемых на метеорологических станциях и постах) специализированных АМС: аэродромных, дорожных, лесных, экологических и др. Каждая из перечисленных специализированных АМС имеет как общие, так и собственные только этому типу измерительные системы и методики проведения наблюдений, вытекающих из решаемых с их помощью задач.

## Классификация гидрометеорологических станций

Вид станции	Разряд	Сокращенное обозначение
Метеорологические наземные метеостанции	I, II, III	М
Автоматические метеостанции	не подразделяются	АРМС
Аэрологические	I, II	АЭ
Гидрологические	I, II	Г
Морские гидрометеорологические (прибрежные)	I, II	МГ
Судовые гидрометеорологические	I, II, III	СГ
Специализированные		
Агрометеорологические	не подразделяются	А
Болотные		Б
Воднобалансовые		Вб
Дрейфующие		СП
Озерные		О
Селестоковые		Сс
Снеголавинные		Сл
Устьевые		У

**Метеорологические станции общего назначения** разделяются на аналоговые и цифровые. На классической (аналоговой) метеостанции проводятся метеорологические измерения в стандартные сроки с дискретностью 3 ч. Для сравнения комплекса измерений, проводимых на таких неавтоматизированных станциях с автоматическими метеорологическими станциями различного назначения, укажем состав аппаратуры и требования, предъявляемые к проводимым здесь измерениям метеорологических параметров. Состав аппаратуры:

- термометры для измерения температуры воздуха и почвы;
- барометр для измерения давления;
- гигрометр для измерения влажности воздуха;
- анеморумбометр (или флюгер) для измерения скорости и направления ветра;
- осадкомер для измерения осадков;
- плювиограф для непрерывной регистрации осадков на период жидких осадков;
- термограф для непрерывной регистрации температуры воздуха;
- гигрограф для непрерывной регистрации влажности воздуха;
- психрометр для измерения температуры и влажности воздуха;
- гололедный станок для измерения гололедно-изморосевых отложений;
- ледоскоп для определения измороси и инея;
- барограф для определения барометрической тенденции давления.

Требования: результаты наблюдений на классических (аналоговых) метеорологических станциях и постах в целях их сравнимости должны обладать достаточной степенью точности и однородностью. Это достигается путем использования однотипных, проверенных, одинаково на всех пунктах установленных приборов, проведением наблюдений по единой методике, в строго определенные сроки и в определенной последовательности. Координацию работы метеослужб разных стран осуществляет Всемирная метеорологическая организация (ВМО).

Метеорологические наблюдения на классических (аналоговых) метеорологических станциях и постах общего назначения проводятся в определенные сроки. Согласно «Наставлениям» наблюдения производятся синхронно в 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 ч (синоптические сроки) по московскому декретному времени. В эти сроки определяются: температура воздуха, атмосферное давление, характеристики ветра, влажность воздуха, характеристики облачности, дальность видимости. Количество выпавших осадков и наблюдение за состоянием почвы проводят в 8 и 20 ч по декретному времени. В 8 ч декретного времени ведутся наблюдения за снежным покровом.

Весь указанный выше перечень метеорологических наблюдений реализуется с использованием аппаратуры, осуществляющей в автоматическом режиме как проведение метеорологических измерений, так и их кодировку, передачу потребителю и представление данных в удобном для дальнейшего использования виде. Дискретность круглосуточных измерений в этом случае может достигать 5–10 с.

**Аэродромные метеорологические станции** предназначены для автоматических измерений метеорологических параметров: температуры воздуха, относительной влажности воздуха, скорости и направления ветра, атмосферного давления, высоты облаков, метеорологической оптической дальности, а также для их обработки, отображения на дисплее, формирования метеорологических сообщений, их регистрации и архивации, для обеспечения метеорологической информацией службы управления воздушным движением с целью обеспечения безопасности взлета и посадки воздушных судов на аэродроме.

**Дорожные метеорологические станции** осуществляют комплекс метеорологических наблюдений в целях обеспечения безопасности движения на автострадах и железнодорожных магистралях, где в настоящее время наблюдается значительный рост объема транспортных перевозок. Суровые условия погоды, включая недостаточную видимость, вызванную густым туманом, низкую и высокую температуру поверхности дороги, сильный дождь и сильный снег, песчаные и пыльные бури, сильный ветер и обледенение на поверхности дорог, — все это является основными причинами дорожно-транспортных

происшествий. Осуществление метеорологического обслуживания дорожного движения — относительно новая проблема, связанная с созданием специализированных метеорологических систем, основу которых составляют автоматизированные автодорожные и железнодорожные метеорологические станции. При этом прогнозирование и предупреждение об опасных явлениях погоды на основных путях сообщения зависит от продукции мониторинга и численного прогнозирования.

Автоматизированные автодорожные метеорологические станции помимо стандартного набора датчиков используют датчик температуры поверхности дороги и датчик температуры почвы под дорожным покрытием на глубине 30 см, а также контроллер и *GPRS* модуль для передачи данных в информационные центры. Для информирования дорожных служб и водителей о погодной обстановке используют различные информационные табло, в том числе с указанием текущей температуры поверхности дороги и воздуха. Также на табло могут появляться предупреждения «гололед», «мокрая дорога», «боковой ветер» и т.п.

*Лесные метеорологические станции* служат прежде всего для предупреждения возможности лесных пожаров. Такие станции чаще всего работают в автоматическом режиме от аккумуляторов. Станции собирают климатические данные, такие как влажность дерева, почвы и температура на различных уровнях высотности лесов. Данные обрабатываются и на их основе моделируется карта пожарной активности, что помогает легче справиться пожарным с возможным воспламенением либо предотвратить распространение пожара.

*Гидрологические метеорологические станции* ведут метеорологические и гидрологические наблюдения за состоянием погоды в районах океанов, морей, рек, озер и болот. Такие метеостанции располагаются на материках, на морских плавающих станциях. Существуют также речные, озерные и болотные станции наблюдения.

Связь автоматической метеостанции с центрами сбора и обработки данных может осуществляться через спутниковые каналы различных систем связи, сотовый канал связи, телефонный или телеграфный каналы связи, а также по радиоканалу.

*Датчики* современных АМС довольно надежны и долговечны, в случае выхода из строя они легко заменяются. Современные АМС могут измерять метеорологические величины с высокой временной частотой, вплоть до нескольких секунд, и без участия наблюдателя. Это открывает возможности для всестороннего анализа временной структуры метеорологических временных рядов, в том числе и для оценок влияния мегаполисов или различных видов хозяйственной деятельности

на природную среду. Местные природные особенности (суточная, сезонная, годовая изменчивость метеорологических характеристик), а также энергоемкость являются ограничениями при установке АМС. Необходимо также учитывать доступность и посещаемость территории. Но главным условием использования АМС является ее поверка, т.е. сопоставление результатов автоматических измерений с данными, полученными с помощью эталонных приборов, которые используются, согласно ГОСТу, на сети Росгидромета.

**Фирмы-производители АМС.** В настоящее время существуют множество фирм-производителей АМС, в том числе и в России. Примерами служат такие компании, как *Vaisala*, *Campbell Scientific*, *Aanderraa Data Instruments*, *DAVIS Data Instruments*, НОВО, «ИРАМ». Задачи, выполняемые с помощью данных, полученных от АМС, очень обширны, поэтому и требования к точности полученных данных могут сильно отличаться. Точность измерений может варьировать в достаточно широких пределах в зависимости от целей мониторинга. В табл. В3 и на рис. В1 приведены характеристики АМС нескольких фирм и внешний вид метеостанций разного класса.

Таблица В3

**Сравнительная характеристика  
нескольких широко используемых метеостанций  
с датчиками разного уровня точности**

Базовая станция		AWS-2700	BWS200	WXT520	Vantage Pro
Название фирмы		<i>Aanderraa Data Instruments</i>	<i>Campbell Scientific</i>	<i>VAISALA</i>	<i>DAVIS Data Instruments</i>
Страна		Норвегия	Великобритания	Финляндия	США
Диапазон и точность измерения	Атмосферное давление, гПа	720–1080, ±0,2	600–1100, ±0,3	600–1100, ±0,3	600–1100, ±1,0
	Температура воздуха, °С	–43...+48, ±0,1	–40...+55, ±0,2	–52...+60, ±0,2	–40...+65, ±0,5
	Относительная влажность, %	0–100, ±2	0–100, ±4	0–100, ±4	0–100, ±5
	Скорость ветра, м/с	0–80, ±2 %	0–70, ±3 %	0–60, ±2 %	0–40, ±5 %
	Направление ветра, град	0–360, ±2	0–360, ±5	0–360, ±2	0–360, ±10
	Часовая сумма осадков, мм	0–200, ±0,2	0–200, ±0,4	0–200, ±0,2	0–200, ±0,5
	Погрешность измерения потока радиации, Вт/м <sup>2</sup>	±5	±10	±5	–
Временная дискретность, мин		0,5–180	0,5–180	0,5–180	0,5–180
Память, Мб		2–4	2–4	2–4	0,2–0,4
Цена, \$ США		300 000–40 000	150 000–25 000	5000–10 000	1000–4000

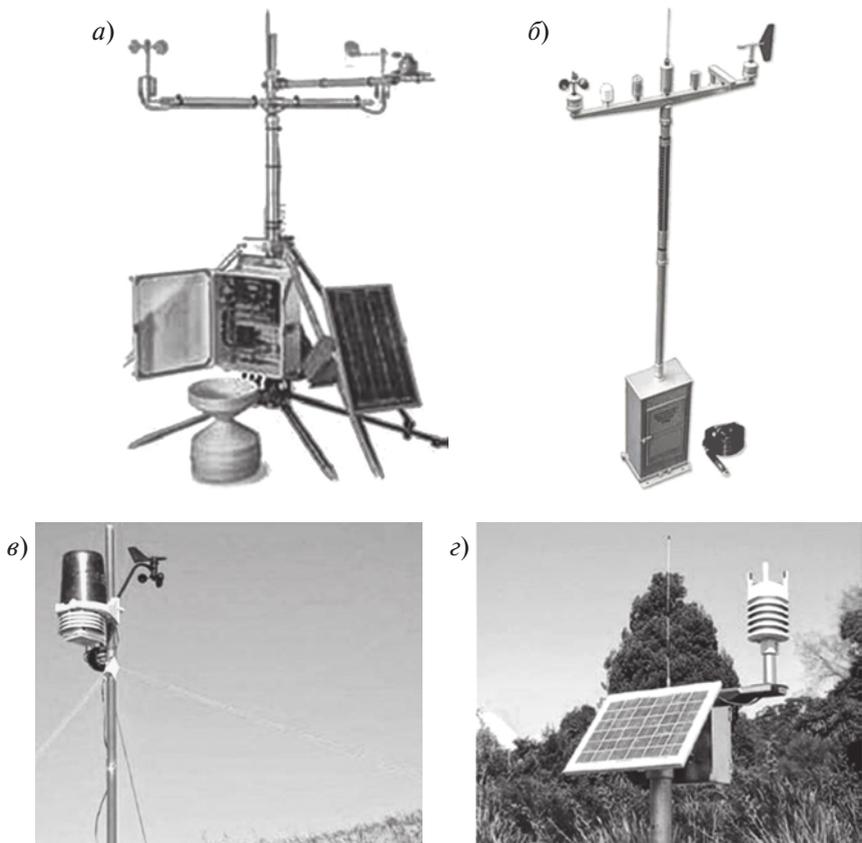


Рис. В.1. Примеры АМС различных фирм-производителей:  
*а* — система *BWS200* фирмы *CAMPBELL Scientific*; *б* — система *AWS-2700* фирмы *AANDERRAA Data Instruments*; *в* — система *Vantage Pro* фирмы *DAVIS Instruments*;  
*г* — система *WXT520* фирмы *Vaisala*

Получаемая от автоматических метеорологических станций общего и специального назначения метеорологическая информация обычно представляет собой совокупность синхронизированных временных рядов метеорологических величин. Поэтому параллельно с развитием систем измерения совершенствовался и математический аппарат, используемый для анализа временных рядов, получаемых от АМС. Анализ временных рядов — это совокупность математико-статистических методов анализа, предназначенных для выявления структуры временных рядов и для их прогнозирования. В зависимости от типа АМС эти временные ряды могут иметь свою специфику. Это, прежде всего, различная временная дискретность (начиная от несколько секунд) и различное

пространственное разрешение. Последнее может варьировать в весьма широких пределах: от нескольких десятков метров — для аэродромных АМС, сотен метров — для станций экологического контроля качества атмосферного воздуха в пределах мегаполиса до десятков километров — для наземных метеорологических станций в системе Росгидромета.

К настоящему времени накоплены очень большие объемы данных, позволяющих проводить их всесторонний статистический анализ. Выполнение статистических расчетов, особенно для больших выборок, в настоящее время немыслимо без использования различных пакетов прикладных статистических программ. Особое место среди статистических пакетов занимают пакет «*Statistica*» и табличный процессор «*Microsoft Excel*». Библиотека последнего, содержащая 78 статистических функций, вполне достаточна для выполнения большинства стандартных методов статистической обработки различных данных.

## 1. АВТОМАТИЧЕСКИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Высокий темп роста требований к получению метеорологической информации стимулирует развитие метеорологических станций общего назначения (рис. 1.1). Использование автоматических метеорологических станций (АМС) общего назначения увеличивает надежность информации о метеорологических величинах благодаря применению новых технологий и объективности результатов наблюдений и обработки, значительно сокращающих ошибки персонала. Кроме того, это позволяет получать метеорологические данные в труднодоступных и малообжитых районах.

Рассмотрим основные характеристики АМС общего назначения на примере автоматической информационно-измерительной системы (АИИС) «Погода» и автоматизированного метеорологического комплекса/автоматической метеорологической станции (АМК/АМС).



Рис. 1.1. Наземная метеорологическая станция общего назначения

## 1.1. АМС общего назначения — автоматическая информационно-измерительная система «Погода»

**Общая характеристика автоматической информационно-измерительной системы «Погода».** Автоматическая информационно-измерительная система (АИИС) «Погода» предназначена для автоматизации процесса проведения наблюдений и обработки результатов на метеорологических станциях наземной наблюдательной сети. Система предназначена для непрерывной круглосуточной работы в автоматическом режиме. Первая установка АИИС «Погода» (рис. 1.2) была проведена в 1996 г. По состоянию на 1 июля 2012 г. установлена 121 система АИИС «Погода» на сети гидрометеорологических служб России, бывших республик Советского Союза, а также на различных ведомственных сетях.



Рис. 1.2. Размещение датчиков АИИС «Погода» на метеорологической площадке

АИИС «Погода» позволяет измерять температуру и влажность воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра, количество выпавших осадков. Электропитание аппаратуры станции производится от однофазной сети переменного тока при напряжении 220 В ( $\pm 10\%$ ) и частоте 50 ( $\pm 1$ ) Гц. Максимальная потребляемая мощность — не более 1000 Вт. Масса аппаратуры центрального устройства системы — не более 80 кг. Масса датчиков указана в эксплуатационной документации на соответствующие изделия. Средний срок службы АИИС «Погода» — 10 лет при условии замены отработавших свой ресурс элементов и изделий, среднее время наработки на отказ всей системы — 1000 ч, центрального устройства — 5000 ч, среднее время восстановления — 3 ч. Центральное устройство работоспособно при температуре от 5 до 40 °С, относительной влажности до 80 % (ГОСТ 12997-84).

С помощью АИИС «Погода» можно решить следующие задачи:

- прием, отображение и архивация результатов измерительных сигналов от датчиков, первичных и промежуточных измерительных преобразователей;
- прием значений метеорологических величин, не измеряемых автоматически по результатам ручного ввода данных (высота снежного покрова, толщина ледяной корки, результаты измерений весовым снегомером);

- ручной ввод результатов визуальных наблюдений (атмосферные явления, количество и форма облаков, состояние подстилающей поверхности);
- ручной ввод в случае отказа автоматических датчиков;
- контроль введенной информации;
- автоматическое кодирование состояния погоды в срок и погоды между сроками наблюдений;
- формирование сообщений в кодах КН-01, КН-21, КН-19, КН-24, *CLIMAT*;
- автоматическое получение обобщенных значений метеорологических величин за сутки, декаду, месяц и формирование таблицы месячных выводов.

Для надежной работы АИИС «Погода» используется высокопроизводительная ПЭВМ с базовым и специальным программным обеспечением для проведения дистанционных автоматических измерений метеорологических величин измерительными преобразователями и датчиками, устанавливаемыми на метеорологической площадке, а также ручного ввода результатов визуальных наблюдений.

АИИС «Погода» состоит из измерительного, вычислительного и связующего компонентов.

**Измерительный компонент** комплектуется сертифицированными госстандартом измерительными преобразователями и датчиками, разрешенными к применению на метеорологической сети Росгидромета. Станция имеет модульное строение, поэтому существует возможность расширять число датчиков в зависимости от поставленных задач.

Датчики и измерительные преобразователи устанавливаются на метеорологической площадке в соответствии с требованиями «Наставления гидрометеорологическим станциям и постам», вып. 3, ч. 1, в составе:

- датчик параметров ветра;
- датчик температуры и влажности воздуха;
- датчик атмосферного давления;
- датчик температуры поверхности почвы;
- датчик температуры почвы;
- датчик осадков;
- датчик метеорологической оптической дальности;
- датчик высоты нижней границы облаков;
- промежуточные измерительные преобразователи.

Измерение метеорологических величин выполняется в дистанционном режиме с передачей данных по кабельной линии связи в центральное устройство. Диапазоны и пределы допускаемых погрешностей измерения метеорологических величин указаны в табл. 1.1. Существует возможность расширить диапазоны измерения метеорологических

величин и уменьшить пределы допускаемых погрешностей, подключая более совершенные датчики.

Таблица 1.1

**Диапазоны и пределы допускаемых погрешностей измерения метеорологических величин в системе АИИС «Погода» при использовании датчиков фирмы *Vaisala Oy* (Финляндия)**

Измеряемая величина	Диапазоны измерения	Предел допускаемой погрешности	Примечание
Атмосферное давление, гПа	600–1050	± 0,3	При температуре 5–55 °С
		± 0,5	При температуре –40 до 55 °С
Температура воздуха, °С	–50...50	± 0,3	
Относительная влажность, %	20–100	± 4	При влажности 20–90 %
		± 5	При влажности 90–100 %
Высота нижней границы облаков, м	15–7500	± 10 м	В диапазоне 15–150 м
		± 10 %	В диапазоне 150–7500 м
Метеорологическая оптическая дальность, м	для базы 10 и 150 м: 7–6000 для базы 10 и 75 м: 7–3000	± 15 %	В диапазоне до 250 м
		± 10 %	В диапазоне 250–400 м
		± 7 %	В диапазоне 400–1500 м
		± 10 %	В диапазоне 1500–3000 м
		± 20 %	В диапазоне 3000–6000 м
Мгновенная скорость ветра $V$ , м/с	0,6–75	±(0,4 + 0,035 $V$ )	
Направление ветра, град	0–360	± 3	
Температура поверхности и почвы, °С	–80...80	± 0,08	
Количество осадков, мм/ч	0–999	± 30 %	В диапазоне от 0,5–200 мм/ч

На рис. 1.3 представлена АИИС «Погода», укомплектованная датчиками фирмы *Vaisala Oy* (Финляндия).

По результатам автоматического измерения датчиками метеорологических величин система может выдавать информацию о значениях следующих дополнительных характеристик: атмосферное давление, приведенное к уровню моря; значение барометрической тенденции; характеристика барометрической тенденции; средняя скорость ветра за 10 мин; направление ветра среднее за 10 мин; максимальная скорость ветра за 10 мин; максимальная скорость ветра за 3 ч; парциальное давление водяного пара; дефицит насыщения; относительная влажность; температура точки росы; температура воздуха; относительная влажность воздуха; температура поверхности почвы; температура почвы и грунта на глубинах; количество осадков; высота нижней границы облаков; метеорологическая дальность; продолжительность солнечного сияния; характеристики снежного покрова; состояние погоды и наличие атмосферных явлений погоды (при наличии датчиков).

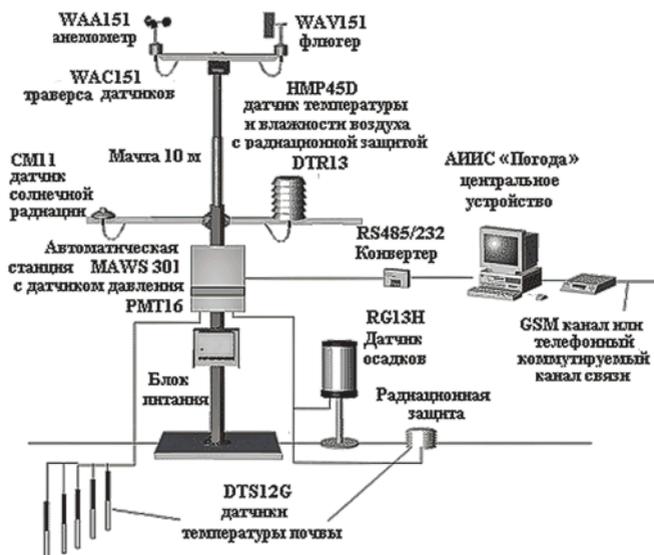


Рис. 1.3. АИИС «Погода», укомплектованная датчиками фирмы *Vaisala Oy* (Финляндия)

**Связующий компонент** включает средства передачи и преобразования измерительных сигналов: модем, платы 4RS-232, линии связи, адаптер RS-232/485.

**Вычислительный компонент** является центральным устройством, которое устанавливается в рабочем помещении метеорологической станции и состоит из ПЭВМ типа *IBM PC/AT* с базовым и специальным программным обеспечением, работающим в операционной системе *Windows*, которая вместе с наблюдателем выполняет следующие работы:

- подает команды на включение датчиков и проведение измерений метеорологических величин, а также ручной ввод значений метеорологических величин, не измеряемых автоматически;
- принимает и обрабатывает измерительные сигналы, полученные от измерительных преобразователей и датчиков, введенных вручную;
- формирует и выдает информацию в линии связи и для отображения на дисплее ПЭВМ (рис. 1.4, а);
- формирует информацию в кодовой форме *BUFR*;
- обрабатывает результаты наблюдений и выдает таблицы метеорологических величин за месяц;
- выполняет архивацию с возможностью последующей распечатки результатов измерений и ручного ввода метеорологических величин, а также другой отображаемой на дисплее метеорологической информации (рис. 1.4, а, б, в);

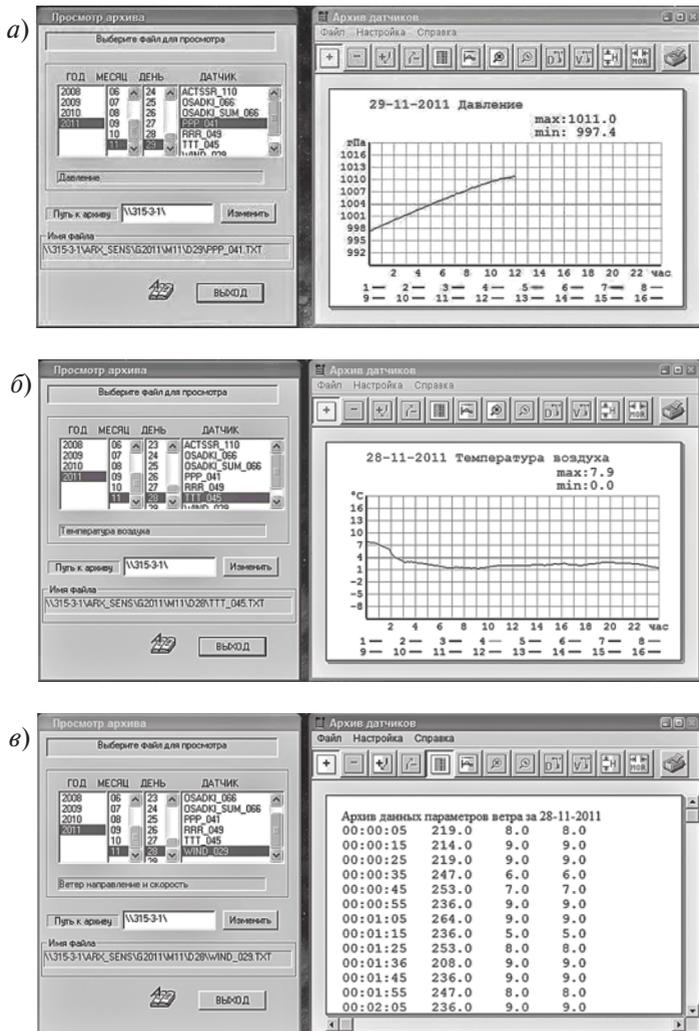


Рис. 1.4. Вывод на дисплей ПЭВМ обработанных данных в графической форме: а — текущей информации об атмосферном давлении; б — архивной информации о температуре воздуха; в — архивной информации о скорости и направлении ветра в табличной форме

— сигнализирует в случаях отказа датчиков, измерительных преобразователей и при обрывах в линиях связи.

**Датчики, используемые при комплектации АИИС «Погода».** Автоматическая информационно-измерительная система «Погода» укомплектована датчиками фирмы *Vaisala*.

**Датчик температуры и относительной влажности воздуха HMP45D** (рис. 1.5) предназначен для непрерывного измерения влажности и температуры воздуха неагрессивных газовых сред и передачи данных в ЦУ. Для связи с компьютером используется интерфейс RS-485.



Рис. 1.5. Датчик температуры и относительной влажности воздуха *HMP45D*

Измерение температуры основано на зависимости электрического сопротивления чувствительного элемента датчика (платинового термопреобразователя *Pt 100*) от температуры. Для измерения влажности используется чувствительный элемент емкостного типа (0–1 В). Измеритель температуры и относительной влажности воздуха *HMP45D* представляет собой зонд (рис. 1.5), в котором чувствительные элементы расположены под сеточным фильтром. Кроме того, в зонд встроен микроконтроллер, содержащий градуировочные характеристики зонда. Технические характеристики *HMP45D* и диапазоны измерений приведены в табл. 1.2.

**Измеритель температуры почвы DTS 12G** представляет собой термометр сопротивления, чувствительный элемент которого выполнен в виде спирали из платиновой проволоки, помещенной в защитный корпус из нержавеющей стали. *DTS 12G* специально сконструирован для измерения температуры на различных уровнях под землей.

Технические характеристики термометра сопротивления *DTS 12G* и диапазоны измерений приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.2

**Технические характеристики и диапазон измерения *HMP45D***

Характеристика	Параметры
Диапазон измерения температуры воздуха, °С	от –40 до +60 ( $\pm 0,2$ )
Диапазон измерения относительной влажности воздуха, %	от 0,8 до 100 ( $\pm 2$ от 0,8 до 90 %) ( $\pm 3$ от 90 до 100 %)
Дополнительная абсолютная погрешность измерения относительной влажности воздуха, вызванная изменением температуры окружающего воздуха на каждые 1 °С, %	$\pm 0,5$

Таблица 1.3

**Технические характеристики и диапазон измерения *HMP45D***

Характеристика	Параметры
Диапазон измерения температуры, °С	от –40 до +60
Время термической реакции, с	не более 50

**Измеритель атмосферного давления *PTB 100*** (рис. 1.6) предназначен для преобразования атмосферного давления в электрический сигнал. *PTB 100* состоит из датчика давления, встроенного температурного датчика и электронной схемы преобразования сигналов от датчиков в выходной сигнал.



Рис. 1.6. Измеритель атмосферного давления *PTB 100*

Чувствительный элемент (датчик давления *BAROCAP*), разработанный фирмой *Vaisala*, комбинирует упругость кремния с емкостным принципом измерения. Принцип действия *PTB 100* основан на преобразовании атмосферного давления в пропорциональное изменение емкости конденсатора. Затем изменение емкости преобразуется в напряжение постоянного тока.

Технические характеристики барометра *PTB 100* и диапазоны измерений приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

**Технические характеристики и диапазон измерения *PTB 100***

Характеристика	Параметры
Диапазон измерений атмосферного давления, гПа (в зависимости от модификации)	от 600 до 1100
Пределы допускаемой погрешности (при 20 °С), гПа	$\pm 0,3$
Пределы допускаемой погрешности, гПа, в диапазоне температур: – от –20 до 45 °С – от –40 до 60 °С	$\pm 1,0$ $\pm 1,5$
Нелинейность, гПа	$\pm 0,25$
Гистерезис, гПа	$\pm 0,03$
Напряжение питания постоянного тока, В	от 10 до 30

**Измеритель скорости и направления ветра** (рис. 1.7, а, б). Приемником ветрового потока служит чашечная вертушка с тремя коническими чашечками, которая устанавливается на метеорологической мачте (см. рис. 1.7, в). Измерение скорости ветра основано на преобразовании скорости вращения вертушки с помощью оптоэлектронной

пары в частоту электрических импульсов, а затем в скорость воздушного потока по алгоритму фирмы *Vaisala*. В измерителе скорости ветра *WAA151/252* (рис. 1.7, *а*) обеспечивается линейность измерений по всему диапазону. В преобразователях *WAA151* обогревается ось вала (автоматически включается при температуре менее 4 °С), в преобразователях *WAA252* обогревается ось вала и чашки вертушки. Технические характеристики измерителя скорости ветра *WAA151/252* и диапазоны измерений приведены в табл. 1.5.

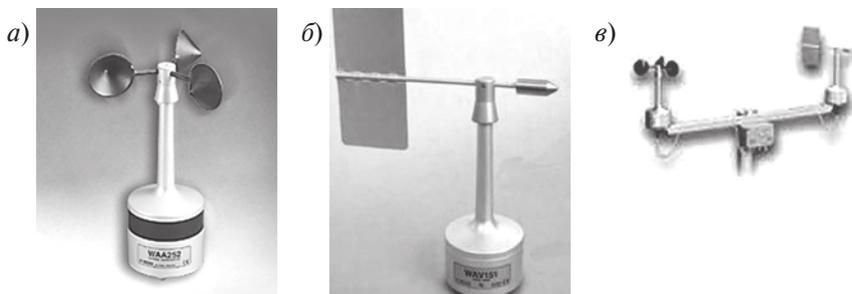


Рис. 1.7. Измеритель скорости и направления ветра:  
*а* — измеритель скорости ветра *WAA151/252*; *б* — измеритель направления ветра *WAV151/252*; *в* — расположение *WAA151/252* и *WAV151/252* на метеорологической мачте

*Таблица 1.5*

**Технические характеристики и диапазон измерения *WAA151/252***

Характеристика	Параметры
Диапазон измерения скорости воздушного потока ( <i>V</i> ), м/с	от 0,5 до 60
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений скорости воздушного потока, м/с	$\pm(0,4 + 0,035 \cdot V)$ ,
Пределы допускаемой абсолютной погрешности преобразования частоты вращения вала в значение скорости воздушного потока, м/с	$\pm 0,05$
Пороговая скорость, м/с	не более 0,4
Электрическое питание от источника постоянного тока:	
– напряжение, В	$24 \pm 2,4$
– ток, мА	не более 3,2

Измеритель направления ветра *WAV151/252* (см. рис. 1.7, *б*) предназначен для измерения направления воздушного потока. Чувствительным элементом *WAV151/252* является малоинерционная флюгарка, которая устанавливается на метеорологической мачте (см. рис. 1.7, *в*).

В основу работы датчика положен принцип преобразования электрических импульсов, поступающих с оптического кодового диска определителя углового положения вала в направление воздушного потока. Инфракрасные светодиоды и фототранзисторы смонтированы на шести

орбитах с каждой стороны 6-битового диска (код Грея). При обороте флюгера диск меняет код, принимаемый фототранзисторами. В преобразователях *WAV151* обогревается ось вала (автоматически включается при температуре менее 4 °С), в преобразователях *WAV252* обогревается ось вала и флюгарка. Технические характеристики измерителя скорости ветра *WAV151/252* и диапазоны измерений приведены в табл. 1.6.

*Таблица 1.6*

**Технические характеристики и диапазон измерения *WAV151/252***

Характеристика	Параметры
Диапазон измерения направления воздушного потока, градус	от 0 до 360
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений направления воздушного потока, градус	$\pm 3$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности преобразования частоты вращения вала в значение скорости воздушного потока, м/с	$\pm 0,05$
Пороговая скорость, м/с	0,4
Разрешающая способность, градус	5.6
Электрическое питание от источника постоянного тока	
– напряжение, В	$24 \pm 2,4$
– ток, мА	не более 2,1

**Пиранометр *CM-11 (KIPP & ZONEN BV)*** предназначен для измерения суммарной солнечной радиации (рис. 1.8). Чувствительным элементом *CM-11* является термобатарея, состоящая из 100-термопар. Часть спаев термобатареи расположена под зачерненной приемной поверхностью (приемник радиации), остальные спаи находятся в тепловом контакте с корпусом. Разность температур между спаями на выходе термобатареи преобразуется в ЭДС, пропорциональной величине измеряемой радиации. Приемник радиации закрыт двумя стеклянными колпаками, пропускающими солнечную радиацию, для исключения ветровой погрешности и защиты от атмосферных осадков и пыли. Белый экран предохраняет корпус пиранометра от перегрева. Технические характеристики пиранометра *CM-11* и диапазоны измерений приведены в табл. 1.7.



Рис. 1.8. Пиранометр *CM-11*

Технические характеристики и диапазон измерения пиранометра СМ-11

Характеристика	Параметры
Диапазон измеряемого потока, Вт/м <sup>2</sup>	от 0 до 2000
Точность измерения, %	± 3
Чувствительность, мкВ/Вт/м <sup>2</sup>	от 4 до 6
Внутреннее сопротивление, Ом	от 700 до 1500
Время ответа (95 %), с	15

**Измерительные каналы АИИС «Погода».** АИИС «Погода» в базовой комплектации имеет восемь измерительных каналов, подключенных через связующий компонент к центральному устройству.

**Измерительный канал параметров ветра.** Сигналы этого канала поступают с заранее установленным временным интервалом, через промежуточный преобразователь (*Milos 500*, *QLI 50* или *WT521*) в виде цифровых сигналов.

Измерительный канал параметров ветра по своему алгоритму производит:

- скользящее осреднение мгновенных значений скорости и направления ветра с шагом не более 15 с, вычисленные по формулам:

$$\bar{V}_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{мгн,i}}{n}, \quad (1.1)$$

$$\bar{D}_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n d_{мгн,i}}{n}, \quad (1.2)$$

где  $\bar{V}_{cp}$  — среднее значение скорости ветра (м/с) за истекший период осреднения (10 мин);  $n$  — число измерений мгновенной скорости ветра за осредняемый период (10 мин);  $V_{мгн,i}$  — значения мгновенной скорости ветра, м/с;  $d_{мгн,i}$  — значения мгновенного направления ветра, градусы. В АИИС «Погода» производится векторное преобразование мгновенных значений направления ветра в среднее;

- скользящий выбор максимальных значений мгновенной скорости ветра за истекшие 10 мин. Выбор производится из мгновенных значений, поступивших за этот период, методом выбора самой большой величины мгновенной скорости ветра;
- выбор максимальной скорости ветра между единичными сроками через 3 ч.

На выходе измерительного канала параметров ветра выдаются следующие значения: средняя скорость (м/с) и направление (градусы) ветра за истекшие 10 мин; максимальная скорость ветра (порыв) за истекшие 10 мин; максимальная скорость ветра (м/с) между сроками за 3 ч.

**Измерительный канал температуры и влажности воздуха.** Сигналы этого канала поступают в виде значений температуры воздуха (°C) и значений относительной влажности (%) — через первичные измерительные преобразователи фирмы *Vaisala*. Значения температуры и влажности воздуха выдаются скользяще осредненные за 10 мин.

В вычислительном компоненте производится обработка полученных измерительных сигналов температуры и влажности воздуха и вычисление следующих характеристик: температуры точки росы (°C); парциального давления водяного пара (гПа); дефицита насыщения водяного пара (гПа).

Вычисление перечисленных характеристик влажности производится в соответствии с «ГОСТ 8.524-85. Таблицы психрометрические. Построение, содержание, расчетные соотношения» по формуле

$$e = E_c(t') - kAP(t - t')(1 + at'), \quad (1.3)$$

где  $e$  — парциальное давление водяного пара, гПа;  $E_c(t')$  — давление насыщенного водяного пара в многокомпонентной системе, находящейся в термодинамическом равновесии с конденсированной фазой воды при плоской поверхности раздела фаз, имеющей температуру  $t'$ , гПа;  $P$  — общее давление парогазовой смеси, гПа;  $t$  — температура «сухого» термометра, °C;  $t'$  — температура «смоченного» термометра, °C;  $A$  — психрометрический коэффициент для парогазовой смеси с известным стандартом ее сухой части (например, воздуха стандартного состава) в предположении, что вода на резервуаре «смоченного» термометра в жидком состоянии, °C;  $a$  — коэффициент, учитывающий зависимость от температуры удельной теплоты фазового превращения конденсированной фазы воды в пар и других величин, входящих в выражение для психрометрического коэффициента, °C<sup>-1</sup>;  $k$  — коэффициент, учитывающий агрегатное состояние конденсированной фазы воды на резервуаре смоченного термометра; вода в жидком состоянии —  $k_w = 1$ ; вода в твердом состоянии (лед) —  $k_i$  равен отношению удельной теплоты фазового превращения жидкой воды в пар при 0 °C к удельной теплоте фазового превращения льда в пар при той же температуре.

Рабочими формулами, вытекающими из психрометрической формулы (1.3) в измерительном канале температуры и влажности воздуха, приняты:

1. Формула (1.4) — для парциального давления водяного пара по измеренным значениям «сухого» —  $t$  и «смоченного» —  $t'$  термометров:

$$e = E' - A(t - t')P, \quad (1.4)$$

где  $E'$  — максимальное парциальное давление водяного пара при данной температуре испаряющей поверхности или температуре смоченного термометра;  $A$  — психрометрический коэффициент, зависящий

от конструкции психрометра и вентиляции чувствительных элементов термометров (резервуаров); для психрометров, в которых чувствительные элементы термометров вентилируются со скоростью 2 м/с,  $A = 628 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $P$  — атмосферное давление, гПа.

2. Формула (1.5) — для парциального давления водяного пара по измеренным значениям температуры воздуха и относительной влажности воздуха:

$$e = rE \cdot 10^x, \quad (1.5)$$

где  $r$  — относительная влажность воздуха, %;  $E$  — максимальное парциальное давление водяного пара при данной температуре  $t$  °С, вычисляемое по формуле

$$E = E_0 \exp\left[\frac{at}{b+t}\right], \quad (1.6)$$

где  $E_0 = 6,1121$  гПа;  $a = 17,5043$  °С;  $b = 241,2$  °С;  $x = \left[\frac{at}{b+t}\right]$ , где  $t$  — температура воздуха (температура «сухого» термометра), °С.

3. Формула (1.7) — для температуры точки росы:

$$t_r = \frac{b(\lg z + x)}{a - \lg z - x}, \text{ }^\circ\text{C}, \quad (1.7)$$

значения  $a$ ,  $b$ ,  $x$  и  $r$  указаны выше.

4. Формула (1.8) — для относительной влажности воздуха:

$$r = \frac{e}{E} 100\%, \quad (1.8)$$

где  $e$  — парциальное давление водяного пара, гПа, рассчитанное в данных условиях (при температуре  $t$  °С);  $E$  — максимальное парциальное давление водяного пара, гПа, возможное при данной температуре  $t$  °С.

5. Формула (1.9) — для дефицита насыщения водяного пара:

$$d = E - e, \text{ гПа.} \quad (1.9)$$

На выходе измерительного канала температуры и влажности воздуха выдаются следующие характеристики:

- температура воздуха, °С, осредненная за истекшую минуту;
- температура точки росы, °С;
- относительная влажность воздуха, %;
- парциальное давление водяного пара, гПа;
- дефицит насыщения водяного пара, гПа.

**Измерительный канал атмосферного давления.** На вход этого канала поступают измерительные сигналы от первичных измерительных

преобразователей атмосферного давления серии *PTB100* или цифрового барометра серии *PTB220* фирмы *Vaisala*.

Измерительные сигналы, поступающие от ДД, преобразуются в цифровой код посредством измерительного преобразователя *QLI50, Milos 500* или непосредственно датчика атмосферного давления *PA21* фирмы *Vaisala*. Измерительные сигналы от цифровых барометров серии *PTB220* и БРС поступают непосредственно в цифровом коде ASCII и преобразованию не подлежат. Периодичность поступления измерительных сигналов атмосферного давления 15 с.

По измеренным значениям атмосферного давления станции вычисляется значение давления на уровне моря и определяется барическая тенденция. Приведение атмосферного давления к уровню моря производится по формуле (1.10), вытекающей из основного уравнения статики (формулы Лапласа – Рюльмана) и рекомендованного «Методическими указаниями по приведению атмосферного давления к уровню моря и вычислению высот изобарических поверхностей на метеорологических станциях» (Л.: Гидрометеиздат, 1979):

$$P_{\text{ум}} = P_z \left( \frac{T_{vz} + \gamma z}{T_{vz}} \right)^{\frac{g}{R_{\text{св}}}} = P_z \left( 1 + \frac{\gamma z}{T + \Delta T_v} \right)^{\frac{g}{R_{\text{св}}}}, \quad (1.10)$$

где  $P_{\text{ум}}$  — атмосферное давление на уровне моря, гПа;  $P_z$  — атмосферное давление, измеренное на высоте установки датчика, гПа;  $T_{vz}$  — виртуальная температура воздуха на высоте станции, К;  $\Delta T_v$  — виртуальная добавка [ $\Delta T_v = 0,378(Te/p)$ , где  $T$  — температура влажного воздуха, К;  $e$  — парциальное давление водяного пара, гПа;  $P$  — давление влажного воздуха, гПа;  $z$  — высота установки датчика давления над уровнем моря, м;  $\gamma$  — вертикальный градиент виртуальной температуры воздуха, принимаемый равным  $\pm 0,0065 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{м}^{-1}$ ;  $R_{\text{св}}$  — газовая постоянная сухого воздуха, равная  $287,05 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$ ;  $g$  — ускорение свободного падения на станции,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ .

*Примечание.* По формуле (1.10) производится приведение атмосферного давления на метеорологических станциях, имеющих высоту над уровнем моря до 1000 м. На станциях, имеющих высоту над уровнем моря от 1000 до 2300 м, вычисляется высота изобарической поверхности 850 гПа. При высоте станции от 2300 до 3700 м над уровнем моря вычисляется высота изобарической поверхности 700 гПа, выше 3700 м — высота изобарической поверхности 500 гПа; высота изобарической поверхности над уровнем моря вычисляется суммированием высоты изобарической поверхности относительно станции с высотой барометра над уровнем моря.

Величина барической тенденции рассчитывается по измеренным значениям атмосферного давления датчиком по формуле (1.11):

$$\Delta P_3 = P_0 - P_3, \quad (1.11)$$

где  $\Delta P_3$  — величина барической тенденции за истекшие 3 ч, гПа;  $P_0$  — атмосферное давление, измеренное в срок определения величины барической тенденции, гПа;  $P_3$  — атмосферное давление, измеренное в предшествующие 3 ч, гПа.

Характеристика барической тенденции определяется по значениям изменения атмосферного давления в течение 3 ч, по которым вычислена ее величина. Характеристика барической тенденции оценивается по таблице 0200 кода КН-01 и кодируется соответствующими цифрами (от 0 до 8).

- На выходе измерительного канала атмосферного давления выдаются:
- атмосферное давление, приведенное к уровню моря, гПа (с точностью до десятых долей);
  - величина барической тенденции, гПа (с точностью до десятых долей);
  - характеристика барической тенденции в цифрах кода КН-01.

**Измерительный канал температуры поверхности.** На вход этого измерительного канала поступают с заданной дискретностью, зависящей от первичного измерительного преобразователя, измерительные сигналы, преобразованные промежуточным измерительным преобразователем в цифровой код. Измерительный канал температуры поверхности преобразует эти сигналы в физические величины температуры поверхности почвы (снега), записывает эти значения в архив с заданной дискретностью (не более 30 с) и производит выборку экстремальных (минимальное и максимальное) значений за 3 ч. На выходе измерительного канала температуры поверхности выдаются: значения температуры поверхности; минимальные и максимальные значения температуры поверхности за истекшие 3 ч.

**Измерительный канал температуры почвы.** На вход этого измерительного канала поступают аналоговые сигналы от первичных измерительных преобразователей температуры, установленных на стандартных глубинах (5, 10, 15, 20, 40, 80, 120, 240, 320 см от поверхности земли), преобразованные промежуточным измерительным преобразователем в цифровой код ASCII.

В измерительном канале температуры почвы производится перевод измеренных значений температуры в °С и запись этих значений в архив с заданной дискретностью (обычно 30 с).

На выход измерительного канала температуры почвы выдаются значения: температуры (°С) на глубинах (5, 10, 15, 20, 40, 80, 120, 240 и 320 см от поверхности); средние за сутки значения температуры почвы на глубинах (5, 10, 15, 20, 40 см и т.д.).

**Измерительный канал количества осадков.** На вход этого канала поступают сигналы от первичного измерительного преобразователя осадков

(RG13), преобразованные промежуточным измерительным преобразователем (*Milos 500* или *QLI 50* и др.) в цифровой код ASCII. В измерительном канале количества осадков производится обработка сигналов и расчет количества осадков за истекшие 12 ч, соответствующих светлому и темному времени суток, и запись в архив. Суммирование количества осадков производится по формуле:

$$R_{12} = \sum_{i=1}^n r_i, \quad (1.12)$$

где  $R_{12}$  — количество осадков за 12 ч, мм;  $r_i$  — количество осадков (мм) за  $i$  (число измерений в истекшие 12 ч).

На выходе измерительного канала количества осадков выдается количество осадков в миллиметрах за прошедшие 12 ч, соответствующих ночной или дневной половине суток.

**Измерительный канал видимости.** На вход этого измерительного канала поступают цифровые сигналы от датчика метеорологической оптической дальности (*Mitras* или *FD 12* или фотометра импульсного и др.), содержащих значения измеренной метеорологической оптической дальности в метрах, скользяще округленных (сглаженных) за истекшие 60 с. В вычислительном компоненте АИИС «Погода» производится запись поступивших сигналов о значениях метеорологической оптической дальности в архив и включение в кодовую форму КН-01 значений дальности видимости. На выходе измерительного канала видимости выдается информация в кодовой форме КН-01 о метеорологической дальности видимости.

**Измерительный канал облачности.** На вход этого измерительного канала от датчика высоты нижней границы облаков типа *CT25K* поступают цифровые измерительные сигналы, содержащие текущие сигналы о высоте нижней границы облаков (м). При использовании ДВО (датчика высоты облаков) цифровые сигналы, содержащие второй минимум из 15 ежесекундных измерений высоты нижней границы облаков, поступают на вход измерительного канала облачности. Одновременно в каждый срок производится ручной ввод наблюдаемых значений количества и формы облаков.

**Программное обеспечение АИИС «Погода».** Измерительные каналы центрального устройства (вычислительного компонента) работают на базовом и специальном программном обеспечении. Базовое программное обеспечение (БПО) включает в себя операционную систему и утилиты для тестирования функциональных блоков ПЭВМ. Все программные средства БПО являются стандартными, серийно выпускаемыми изделиями и, как правило, входят в состав поставки ПЭВМ.

Специальное программное обеспечение (СПО) АИИС «Погода» обеспечивает:

- обработку измерительных сигналов, поступающих от датчиков, первичных и промежуточных измерительных преобразователей;
- формирование оперативных и режимных сообщений;
- автоматическую передачу сообщений в линию связи;
- регистрацию всей измеряемой, вводимой и передаваемой метеорологической информации.

В описании архивов приняты следующие сокращения:

*index* — координатный номер станции;

*i* — идентификатор месяца (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, a, b, c);

*gg* — год (две последние цифры);

*ddmmgg* — дата (день, месяц, две последние цифры года);

*PARAM* — тип данных;

*TTT* — температура воздуха;

*TGH* — температура почвы на глубинах;

*RRR* — относительная влажность воздуха;

*PPP* — давление;

*OSADKI* — осадки.

*TGRUND* — температура поверхности почвы;

*WIND* — ветер;

*MOR* — видимость;

*HHH* — высота нижней границы облаков.

**Формирование архива данных.** В процессе своей работы ежедневно АИИС «Погода» формирует 7 файлов: *ACTSSR.txt*, *OSADKI.txt*, *Ppp.txt*, *Rrr.txt*, *Tit.txt*, *Wind.txt*, содержащих с дискретностью 10 с суточный архив данных соответственно:

- суммарной солнечной радиации;
- количества осадков;
- атмосферного давления;
- относительной влажности воздуха;
- температуры воздуха;
- параметров ветра.

Структуру этих файлов иллюстрируют табл. 1.8, 1.9.

Таблица 1.8

Начальный фрагмент *Rrr.txt*: суточный архив относительной влажности воздуха

02–06–2010; Канал <i>MAWS</i> ; Датчик 049; Архив относительной влажности воздуха	
00:00:05	87.0 НОРМА 71d
00:00:15	87.0 НОРМА 71e
00:00:25	87.0 НОРМА 71f
00:00:35	87.0 НОРМА 720
00:00:45	87.0 НОРМА 721
00:00:55	87.0 НОРМА 722

Начальный фрагмент *Tit.txt*: суточный архив температуры воздуха

02–06–2010; Канал <i>MAWS</i> ; Датчик 045; Архив температуры воздуха	
00:00:05	12.4 НОРМА 715
00:00:15	12.4 НОРМА 716
00:00:25	12.4 НОРМА 717
00:00:35	12.4 НОРМА 718
00:00:45	12.4 НОРМА 719
00:00:55	12.4 НОРМА 71a
00:01:05	12.4 НОРМА 716
00:01:15	12.4 НОРМА 717
00:01:25	12.4 НОРМА 718

При записи значений метеорологических параметров в базу данных с помощью разработанных программных средств производится их преобразование в следующие параметры: температура воздуха, °С; парциальное давление водяного пара, гПа; атмосферное давление, гПа; скорость ветра, м/с; направление ветра, градусы.

Для хранения и доступа к информации используется система управления базами данных (СУБД) *MySQL*, разработанная фирмой *Sun*. Данная СУБД является реляционной, что предусматривает представление хранимых данных в виде таблиц. База данных размещена на сервере *meteolab.rshu.ru* и для доступа к данным используется *web*-интерфейс, реализованный на языке программирования *Java*.

## 1.2. Ультразвуковые анемометры

Стандартные датчики — анеморумбометры имеют большую инертность, дискретность измеряемой скорости ветра 1 м/с, а также не обладают точностью, необходимой для исследовательских целей. В связи с этим в конце прошлого века были разработаны и получили достаточно широкое применение ультразвуковые анемометры. Такие анемометры имеют в своем составе измерительный тракт, состоящий из нескольких пар ориентированных навстречу друг другу ультразвуковых излучателей и приемников и соединенного с ними устройства измерения временных интервалов распространения ультразвука между ними. Это стало возможным в связи с появлением микропроцессорных технологий, когда реализация идеи стала не только возможной, но и экономически выгодной.

Различают двумерные и трехмерные ультразвуковые анемометры, термоанемометры. *Двумерный* анемометр способен измерять скорость и направление горизонтального ветра (рис. 1.9). *Трехмерный* анемометр проводит измерения в двух перпендикулярных плоскостях, а затем пересчитывает их в три компоненты направления ветра. На рис. 1.10

представлен внешний вид трехмерного анемометра «*Sonic-3 Scientific*» компании ООО «Научно-производственное объединение “Гидротехпроект”» (<http://gidrotehproekt.ru/about>). Данный анемометр предназначен для измерения 3-х компонент ветра, акустической температуры и характеристик атмосферной турбулентности. Имеет надежную конструкцию из нержавеющей стали, обладает высокой точностью измерения характеристик ветра за счет калибровки в 3D аэродинамической трубе, внутреннее запоминающее устройство для хранения данных, подогрев сенсорных головок, а также дополнительное программное обеспечение для расчета параметров турбулентности.



Рис. 1.9. Двумерный анемометр «*Sonic-2 Wind*», компания НПО «Гидротехпроект» для измерения 2-х комп. ветра и акуст. температуры



Рис. 1.10. Трехмерный анемометр «*Sonic-3 Scientific*» компании ООО НПО «Гидротехпроект»

Основной принцип действия ультразвуковых анемометров состоит в изменении скорости звука в зависимости от скорости и направления ветра. Для регистрации такого изменения наиболее широкое применение получил импульсный метод, когда ультразвуковые преобразователи попеременно излучают и принимают короткие импульсы с несущей частотой 20... 200 кГц на малом пути  $L$  (10...25 см) между преобразователями (рис. 1.11).

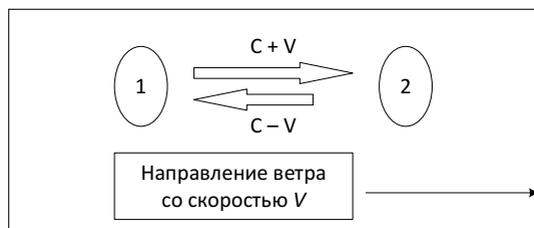


Рис. 1.11. Схема расположения ультразвуковых приемопередатчиков и направления распространения ультразвуковых волн

Процедура измерения горизонтальных компонент ветра обычно реализуется на двух ортогональных путях  $L_1$  и  $L_2$  по четырем направлениям распространения ультразвуковых импульсов: на каждой паре измерительных путей  $L_1$  или  $L_2$  ультразвуковые преобразователи последовательно работают в режиме «излучение — прием». При этом определяются две ортогональные компоненты скорости ветра  $V_L$  и  $V_N$ :

$$V_L = \frac{L_1}{2} \left( \frac{1}{t_{f_1}} - \frac{1}{t_{r_1}} \right), \quad (1.13)$$

и

$$V_N = \frac{L_2}{2} \left( \frac{1}{t_{f_2}} - \frac{1}{t_{r_2}} \right), \quad (1.14)$$

где  $t_{f_1}$  и  $t_{r_1}$  — время распространения импульса в прямом и обратном направлении на трассе  $L_1$ ;  $t_{f_2}$  и  $t_{r_2}$  — время распространения импульса в прямом и обратном направлениях на трассе  $L_2$ .

Ультразвуковой термоанемометр помимо измерения продольной  $V_L$  и поперечной  $V_N$  компонент скорости ветра способен ультразвуковым методом измерять еще и температуру воздуха. Этот метод основан на зависимости времени прохождения трассы  $L$  туда и обратно от скорости звука и компонент скорости ветра с одной стороны, и зависимости скорости звука  $c$  от таких метеорологических параметров как температура воздуха  $T$ ,  $K$ , парциального давления водяного пара  $e$  и атмосферного давления  $P$ :

$$c = 20,067 \sqrt{T \left( 1 + 0,3192 \frac{e}{P} \right)} \quad [\text{м} \cdot \text{с}^{-1}]. \quad (1.15)$$

Последнее соотношение можно переписать в следующей форме:

$$c = 20,067 \sqrt{T_s}, \quad (1.16)$$

где  $T_s$  — акустическая виртуальная («звуковая») температуры, определяемая следующим соотношением:

$$T_s = T \left( 1 + 0,3192 \frac{e}{P} \right). \quad (1.17)$$

В зависимости от состава получаемых с помощью ультразвуковой системы данных ультразвуковой термоанемометр может измерить или «звуковую» температуру  $T_s$ , или температуру воздуха  $T$ . И в том, и в другом случаях сначала определяются времена распространения звука в обе стороны на трассе  $L$ :  $t_f$  и  $t_r$ . Их значения связаны со скоростью звука и измеренными ультразвуковым анемометром составляющими скорости ветра следующими соотношениями:

$$t_f = \frac{L}{\sqrt{c^2 - V_N^2} + V_L}, \quad (1.18)$$

$$t_r = \frac{L}{\sqrt{c^2 - V_N^2} - V_L}. \quad (1.19)$$

Определив по известным значениям времени распространения ультразвукового импульса и составляющим скорости ветра из этих соотношений скорость звука  $c$ , можно рассчитать звуковую температуру воздуха:

$$T_s = \left( \frac{c}{20,067} \right)^2. \quad (1.20)$$

В том случае, когда ультразвуковая система проводит комплексные измерения и измерены значения парциального давления водяного пара  $e$  и атмосферного давления  $P$ , представляется возможность перехода от звуковой температуры к температуре воздуха:

$$T = \frac{T_s}{1 + 0,3192 \frac{e}{P}}. \quad (1.21)$$

***Компактная система метеорологических датчиков в едином корпусе.***

С появлением ультразвуковых анемометров появилась технологическая возможность объединения нескольких метеорологических датчиков в небольшом едином корпусе, по существу, представляющем собой полноценную автоматическую метеорологическую станцию. В качестве примера многочисленного семейства такого рода современных высокотехнологичных систем рассмотрим профессиональную метеостанцию фирмы «LUFFT» WS600-UMB, внешний вид которой представлен на рис. 1.12. Данная система имеет следующие характеристики: размеры — 150 мм на 345 мм (высота), вес — 1,5 кг. Имеющиеся здесь датчики позволяют производить измерения температуры воздуха, относительной влажности, интенсивности осадков, типа осадков, количества осадков, атмосферного давления, направления и скорости ветра. Относительная влажность измеряется



Рис. 1.12. АМС в Москве, укомплектованная WS600-UMB

с помощью элемента емкостного датчика. Измерение осадков осуществляется посредством 24 ГГц доплеровского радара, который измеряет скорость выпадения отдельной капли дождя или снега. Количество и интенсивность осадков рассчитываются исходя из корреляции между размером капли и скоростью ее падения. Разница в скорости капли определяет тип осадков (дождь или снег). Скорость и направление ветра определяется с помощью ультразвукового анемометра. Предусмотрена возможность подключения одного внешнего датчика.

Имеется целое семейство упрощенных систем данного типа: *WS200* (только направление и скорость ветра), *WS300* (только температура воздуха, относительная влажность и атмосферное давление), *WS400* (только температура воздуха, относительная влажность, атмосферное давление, тип и интенсивность осадков), *WS500* (температура воздуха, относительная влажность, атмосферное давление, скорость и направление ветра). Внешний вид этих устройств представлен на рис. 1.13.

Отметим основные достоинства ультразвуковых анемометров:

- широкий диапазон измеряемых значений скорости ветрового потока;
- практическое отсутствие начальной зоны нечувствительности;
- безынерционность измерителя;
- отсутствие механических движущихся частей;
- возможность длительной эксплуатации без обслуживания.

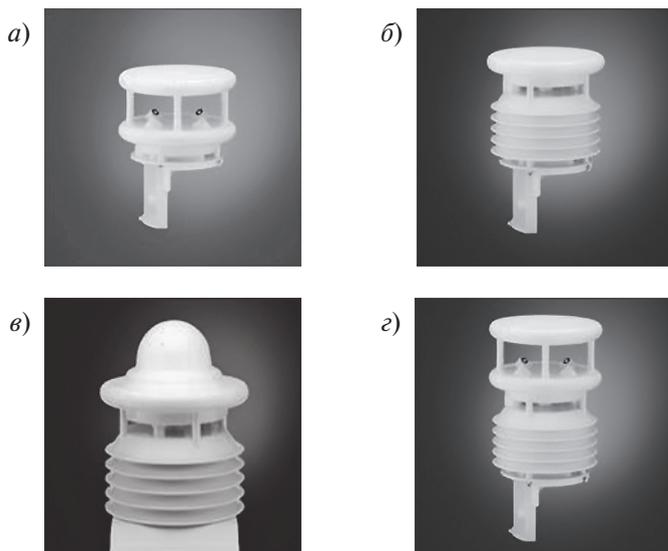


Рис. 1.13. Семейство упрощенных систем фирмы «LUFFT»:  
а — *WS200*; б — *WS300*; в — *WS400*; з — *WS500*

### 1.3. Автоматические метеорологические станции для полевых (экспедиционных) исследований

Для проведения комплекса метеорологических измерений в полевых условиях при проведении различного рода экспедиций необходимы компактные профессиональные автоматические станции. Отличительной особенностью таких измерительных комплексов должны быть малый вес, простота монтажа и обслуживания, автономность, а также возможность перенастройки режима работы в зависимости от задач экспедиции. В качестве примера такого измерительного комплекса рассмотрим экспедиционный вариант ультразвуковой метеостанции «Эксметео-01» для сопровождения полевых исследований (рис. 1.14). Комплекс измеряет мгновенные значения скорости ветра и температуры воздуха с частотой 40 Гц, что необходимо для определения турбулентных характеристик атмосферы. Кроме того, комплекс дополнительно регистрирует сигналы от 8 аналоговых датчиков измерения основных метеорологических величин. Также комплекс оснащен навигатором *GPS*, обеспечивающим автоматическую пространственную и временную фиксацию результатов измерений. Вся поступающая от датчиков информация фиксируется на *flash*-карты. Аккумуляторы обеспечивают непрерывную работу в течение 5 суток. Вес комплекса в переносном ранце с разборной метеомачтой (4 м высотой) и аккумуляторами не превышает 19 кг. Для последующей обработки результатов измерений используется специальное программное обеспечение.



Рис. 1.14. Экспедиционный вариант ультразвуковой метеостанции «Эксметео-01» для сопровождения полевых исследований

#### **1.4. Автоматизированный метеорологический комплекс. Автоматическая метеорологическая станция (АМК/АМС)**

Поставка АМК/АМС производится с целью реализации проекта технического перевооружения наземной метеорологической наблюдательной сети Росгидромета. АМК/АМС устанавливаются: на места ранее работавших, но к настоящему времени по различным причинам не производящих наблюдения, станций; в районах, где наблюдения важны для обнаружения и прогнозирования ОЯ и НГЯ (неблагоприятных гидрометеорологических явлений); в пунктах, где наблюдения за погодой крайне необходимы потребителям.

В течение 2014 г. на наблюдательной сети Росгидромета были установлены 1627 АМК, что позволило уменьшить пропуски метеонаблюдений, повысить надежность передачи данных в центры сбора информации. 310 АМС установлены в районах, где наблюдения за погодой крайне важны для обнаружения и прогнозирования ОЯ. Из них 103 станции оснащены датчиками контроля радиационной обстановки (гамма-излучение) и 1622 станции укомплектованы датчиками жидких осадков для обеспечения повышения точности прогноза быстроразвивающихся паводков и калибровки МРЛ.

##### *Общая характеристика АМК/АМС*

В состав АМК/АМС входят: а) средства измерения; б) средства управления автоматизированным комплексом; в) устройства, обеспечивающие сбор, первичную обработку, накопление и передачу результатов измерений; г) отдельные средства измерения; д) оборудование инженерного обеспечения.

Технические решения АМК/АМС максимально используют стандартные, зарекомендовавшие себя в работе, варианты комплектации измерительных приборов и оборудования. Все датчики, питание и кабели связи имеют водонепроницаемые разъемы или заводятся через герметичные кабельные вводы. Разъемы и крепления доступны и позволяют простую замену и удаление блоков на месте. Все заменяемые блоки, установленные в боксе, легкодоступны и заменяемы без каких-либо специальных приспособлений. Технические решения АМК и АМС имеют средства, обеспечивающие удаленное управление комплексом/станцией. Проводной канал связи между АМК и ПК наблюдателя (рабочее место оператора метеорологического комплекса) обеспечивает надежную работу при удалении на расстояние до 1900 м. Для обеспечения полного дистанционного контроля система имеет режим серийного прохода, который обеспечивает прямую связь через порт обслуживания RS-232 с любым датчиком, подключенным

к АМК через серийный интерфейс. Система сконструирована таким образом, чтобы необходимость настройки, калибровки и профилактического обслуживания оборудования были сведены к минимуму.

АМК — это аппаратно-программный комплекс, предназначенный для автоматического измерения ряда метеорологических величин (в зависимости от комплектации), в котором предусмотрена визуализация результатов измерений и возможность ручного ввода дополнительных характеристик с последующим формированием и передачей информационных сообщений в заданных форматах.

Принцип действия АМК основан на дистанционном измерении первичными измерительными преобразователями метеорологических величин, значения которых преобразовываются в цифровой код вторичными преобразователями (контроллерами) и передаются по каналам связи на персональный компьютер (ПК).

АМК в стандартной комплектации состоит из датчиков, измеряющих значения атмосферного давления, скорости и направления ветра, температуры и относительной влажности воздуха, температуры подстилающей поверхности, количества жидких атмосферных осадков.

Для непрерывности метеорологических наблюдений вследствие отказа датчиков АМК метеостанции обеспечиваются резервными приборами:

- прибором для измерения атмосферного давления;
- прибором для измерения скорости и направления ветра;
- стационарным психрометром;
- гигрометром волосным метеорологическим;
- срочным термометром для измерения температуры подстилающей поверхности.

Набор резервных средств измерения может быть дополнен другими приборами в зависимости от задач, выполняемых конкретной метеостанцией.

При производстве измерений с помощью АМК ведение книжки КМ-1 является обязательным. На полях книжки КМ-1 вычисляется разность значений метеорологических характеристик, измеренных по АМК и резервным СИ, по формуле

$$\Delta X = X_{\text{АМК}} - X_{\text{рез}}, \quad (1.22)$$

где  $\Delta X$  — разность значений метеорологических характеристик;  $X_{\text{АМК}}$  — значение метеорологической характеристики, измеренное по АМК;  $X_{\text{рез}}$  — значение метеорологической характеристики, измеренное по резервному прибору с введенными по наставлению поправками.

При превышении разности  $\Delta X$  предельно допустимых значений, приведенных в табл. 1.10, необходимо в следующий метеорологический срок произвести повторный контроль работоспособности датчиков АМК.

**Предельно допустимая разность значений метеорологических характеристик**

Наименование метеорологической характеристики	Предельно допустимая разность значений метеорологических характеристик, $\Delta X$	
Атмосферное давление на уровне станции, гПа	$\pm 0,5$	
Средняя скорость ветра, м/с	$\pm 2$	
Среднее направление ветра, угловой градус	$\pm 10$	
Температура воздуха, °С	выше $-35,0$ °С	$\pm 1,5$
	ниже $-35,0$ °С	$\pm 2$
Относительная влажность воздуха, %	$\pm 10$	
Температура подстилающей поверхности, °С	$\pm 3$	

**Контроллер (логгер) QML 201** (рис. 1.15) является ЦУ комплекса и представляет собой единый блок, который функционально обеспечивает выполнение задач сбора и хранения данных наблюдений, управления и мониторинга оборудования и телекоммуникаций на АМК/АМС (кроме станций, оснащенных радиооборудованием). В АМК/АМС обеспечена возможность работы датчиков, находящихся на удалении не более 25 м от контроллера.

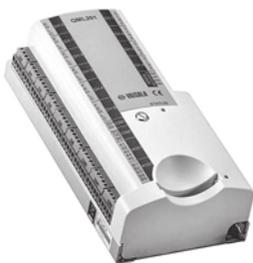


Рис. 1.15. Контроллер (логгер) QML 201

Основными задачами контроллера являются:

- преобразование измеренных данных в технические единицы;
- контроль измеренных величин;
- функция оповещения по заданным критериям: ОЯ, НГЯ;
- формирование сообщений;
- управление передачей метеорологических сводок;
- временное хранение данных во внешнем *flash*-накопителе (за 6 месяцев для АМК и 15 месяцев для АМС);
- своевременная передача оперативных телеграмм;
- работа с телеграммами, содержащими информацию по радиационному фону и агрометеорологической информации: формирование

- телеграмм, их хранение в отдельной базе данных (каждый вид информации в отдельной базе данных), ежесуточная передача в сроки, аналогичные оперативным метеорологическим;
- формирование телеграмм в установленных форматах и кодах;
  - возможность выбора основного датчика в случае ведения параллельных наблюдений или одновременного подключения двух разных датчиков ветра;
  - корректировка показаний датчиков и порядка передачи информации.

На основной плате контроллера размещен процессор для обработки данных и 10 дифференциальных аналоговых входов датчиков (могут использоваться в качестве цифровых входов). Кроме того, имеется два частотных интерфейса датчиков, АЦП, защищенная *flash*-память для регистрации данных, источник питания для возбуждения датчиков и зарядное устройство для внутреннего резервного аккумулятора. Плата снабжена защитным покрытием для обеспечения надежной работы в условиях высокой влажности. Каждый вход датчика имеет защиту от скачков напряжения. Базовая система имеет порты *RS-232* и *RS-485* для интерфейсного сопряжения почти с любыми типами телеметрических устройств, терминалов, дисплеев и интеллектуальных датчиков. Структура логгера позволяет легко наращивать его возможности за счет дополнительных датчиков, расчетов, выходных форматов в соответствии с требованиями пользователя. Измерения, проводимые контроллером, указаны в табл. 1.11.

Таблица 1.11

**Измерения, проводимые контроллером QML201**

Характеристика	Параметры
Атмосферное давление	<ul style="list-style-type: none"> <li>– замеры проводятся 1 раз в мин;</li> <li>– вычисляется среднее значение за 1 и 3 ч;</li> <li>– рассчитывается барометрическая тенденция.</li> </ul>
Скорость/направление ветра	<ul style="list-style-type: none"> <li>– замеры проводятся непрерывно;</li> <li>– вычисляется среднее значение за 2 и 10 мин</li> </ul>
Порывы ветра	<ul style="list-style-type: none"> <li>– усредняются за 3 с;</li> <li>– измеряются по наивысшему значению за 10 мин</li> </ul>
Температура, влажность воздуха Температура почвы Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения	<ul style="list-style-type: none"> <li>– замеры проводятся 1 раз в мин;</li> <li>– вычисляется среднее значение за 10 мин</li> </ul>
Осадки	<ul style="list-style-type: none"> <li>– замеры проводятся 1 раз в мин;</li> <li>– вычисляется среднее значение и интенсивность осадков за 10 мин</li> </ul>

**Мультиплексор QMU** (рис. 1.16) может быть использован для увеличения числа подключаемого к контроллеру *QML* оборудования. Мультиплексор представляет собой устройство (аналогичное контроллеру), подключаемое к контроллеру через интерфейс *RS-485* и устанавливаемое внутри корпуса метеостанции. Мультиплексор реализует только аналоговые измерения.



Рис. 1.16. Мультиплексор *QMU*

**Датчики, используемые при комплектации АМК (АМС).** Датчики и измерительные преобразователи устанавливаются на метеорологической площадке в соответствии с требованиями «Наставления гидрометеорологическим станциям и постам», выпуск 3, часть 1.

В качестве совмещенного датчика температуры и влажности воздуха в составе АМК/АМС используется **датчик HMP 45D** фирмы *Vaisala* с радиационной защитой *Vaisala DTR502* или *DTR13* (рис. 1.17). Описание датчика было рассмотрено в составе АИИС «Погода» (подраздел 1.1.2).

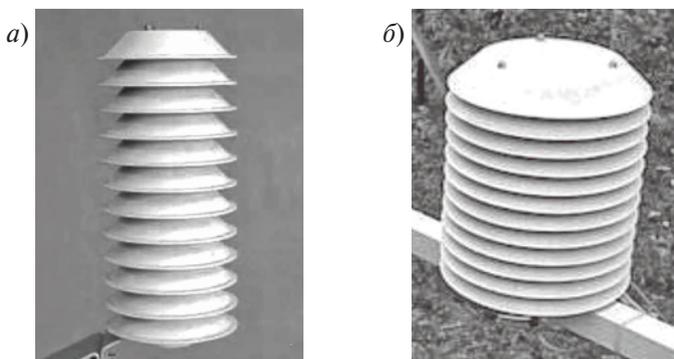


Рис. 1.17. Радиационная защита: *а* — *DTR502*; *б* — *DTR13*

Как известно, радиационная защита необходима для предохранения датчика температуры и влажности воздуха от прямой солнечной радиации и защиты от различных видов осадков, влияющих на процесс

измерения температуры и относительной влажности воздуха. Радиационная защита *DTR502* используется для защиты датчика в регионах с умеренными ветрами и осадками, а в прибрежных морских районах устанавливается радиационная защита *DTR13*, обладающая большей защищенностью от боковых осадков.

**Датчик атмосферного давления *PTB220*** фирмы *Vaisala* (рис. 1.18) представляет собой цифровой барометр. *PTB220* — датчик давления емкостного типа с термокомпенсацией. Датчик сконструирован для применения в составе АМК и характеризуется высокой прочностью, устойчивостью к механическим и температурным воздействиям. Датчик может быть установлен в служебном помещении метеорологической станции на капитальной стене или непосредственно в боксе контроллера. *PTB220* не требует периодического обслуживания со стороны персонала станции. В настоящее время *PTB220* снят с производства. Технические характеристики барометра *PTB220* и диапазоны измерений приведены в табл. 1.12.



Рис. 1.18. Датчик атмосферного давления *PTB220*

Таблица 1.12

Технические характеристики и диапазон измерения *PTB220*

Характеристика	Параметры
Диапазон измерений атмосферного давления, гПа	от 500 до 1100
Пределы допускаемой погрешности, гПа	$\pm 0,15$

**Термометр «ПК» Тесей» типа ТСПТ 300** (рис. 1.19, а) является термометром сопротивления (терморезистором) и используется для измерения температуры подстилающей поверхности. Измерение температуры подстилающей поверхности производится платиновым резистивным термочувствительным элементом, расположенным внутри корпуса датчика. При правильной установке корпус датчика должен быть наполовину погружен в плотно прилегающую почву (снег), но не присыпан сверху

(рис. 1.19, б). Учитывая небольшие размеры датчика и зависимость его показаний от правильности установки, автоматическое измерение температуры подстилающей поверхности без участия персонала станции невозможно.

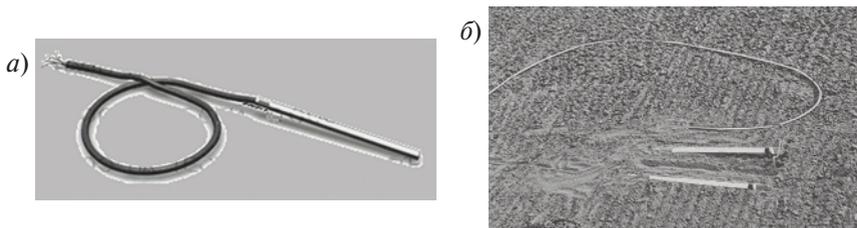


Рис. 1.19. Датчик температуры подстилающей поверхности:  
а — внешний вид; б — установка датчика температуры подстилающей поверхности

Для автоматического измерения скорости и направления ветра в составе АМК используется датчик **RM Young Wind Monitor 05103** (рис. 1.20) фирмы *R.M. YOUNG COMPANY* (США). Датчик скорости ветра представляет собой четырехлопастной винт, при вращении которого возникает переменный ток. Частота синусоидального сигнала напряжения прямо пропорциональна скорости ветра. Датчик направления ветра — прочный, но легкий флюгер, угол поворота которого воспринимается потенциометром. При известном напряжении возбуждения, приложенного к потенциометру, выходное напряжение прямо пропорционально углу поворота флюгарки. Технические характеристики *RM Young Wind Monitor 05103* и диапазоны измерений приведены в табл. 1.13. Для проведения технического обслуживания и ремонта, в конструкции установки предусмотрено ориентировочное кольцо, позволяющее снимать датчик, а затем устанавливать его на место без потери калибровки направления ветра.



Рис. 1.20. Датчик скорости и направления ветра *Wind Monitor 05103* фирмы *R.M. YOUNG COMPANY* (США)

Технические характеристики и диапазон измерения *RM Young Wind Monitor 05103*

Характеристика	Параметры
Диапазон измерений скорости ветра, м/с	0–60
Порывы	до 100
Пределы допускаемой погрешности, м/с	$\pm 0,3$
Диапазон измерения направления ветра, град	0–360
Пределы допускаемой погрешности, град	$\pm 3$

Существует возможность подключения к АМК эксплуатируемого в настоящее время *анеморумбометра М63*.

Датчик жидких осадков *QMR370* фирмы *Vaisala* (рис. 1.21, *а*) используется для измерения суммарного количества и интенсивности жидких осадков в теплое время года без обслуживания оператора. Осадки накапливаются внутри корпуса осадкомера в приемном ковше (рис. 1.21, *б*). Когда в ковше накапливается количество воды, эквивалентное 0,25 мм осадков, механизм опрокидывается и закрепленный на ковше магнит проходит над герконом, вызывая его замыкание. Импульсы, формируемые с помощью геркона, передаются в контроллер. Обработка данных измерения количества осадков заключается в суммировании количества осадков за различные временные периоды, а вычисление интенсивности осадков осуществляется путем подсчета суммарного количества осадков за одну минуту. Результаты измерений количества осадков, полученные с помощью *QMR370*, могут по указанию УГМС использоваться только для оперативной информации, так как осадкомер не позволяет измерять слабые осадки (менее 0,25 мм). Технические характеристики *QMR370* и диапазоны измерений приведены в табл. 1.14. В холодное время года при средней суточной температуре воздуха ниже 0 °С, *QMR370* необходимо законсервировать и перейти на наблюдения за количеством осадков по осадкомеру О-1.

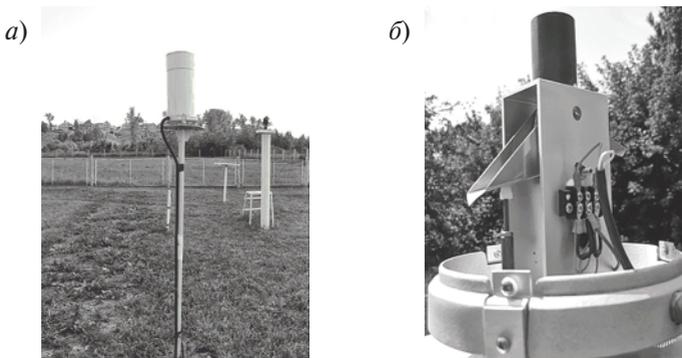


Рис. 1.21. Датчик жидких осадков *QMR370* фирмы *Vaisala*:  
*а* — расположение на метеорологической площадке; *б* — внутренняя конструкция

Таблица 1.14

Технические характеристики и диапазон измерения *QMR370*

Характеристика	Параметры
Диапазон измерений интенсивности осадков, мм/ч	0–12
Пределы допускаемой погрешности, %	$\pm 0,5$
Начальная чувствительность датчика, мм	0,25

В ходе эксплуатации АМК/АМС были выявлены следующие недостатки.

1. Датчик температуры и относительной влажности обладает длительной инерцией после высокой относительной влажности.
2. Датчик скорости и направления ветра теряет чувствительность из-за налипания мокрого снега на ветроприемник либо перестает работать из-за обледенения элементов конструкции.
3. Невозможно автоматическое измерение осадков в холодное время года, что является источником дополнительной погрешности при определении сезонных и годовых сумм осадков.
4. Начальная чувствительность датчика жидких осадков *QMR370* составляет 0,25 мм, что не позволяет автоматически фиксировать слабые осадки.
5. Контроллер *QML201* имеет нестабильность в работе из-за ввода дополнительных функций управления связью и формирования телеграмм, а также из-за нарушения связи.
6. Грозозащита не обеспечивает надежной защиты от молниевых разрядов.

**Программное обеспечение АМК.** АМК оснащены ПО АРМ метеоролога, с помощью которого значения измеренных метеорологических величин обрабатываются в соответствии с требованиями к метеорологическим характеристикам и далее передаются по каналам связи.

Функциональное назначение ПО АРМ метеоролога (рис. 1.22):

- взаимодействие с контроллером *QML201* по согласованному протоколу обмена;
- отображение данных *on-line* наблюдений;
- синхронизация по времени со станцией;
- получение настроек станции;
- обеспечение средств ввода параметров, измеряемых вручную;
- отображение телеграмм, сформированных станцией;
- архивирование отправленных сообщений;
- ведение архива ежеминутных наблюдений;
- визуализация зарегистрированных данных.

ПО АМК позволяет получать расчетным путем стандартные характеристики:

- давление на уровне станции;

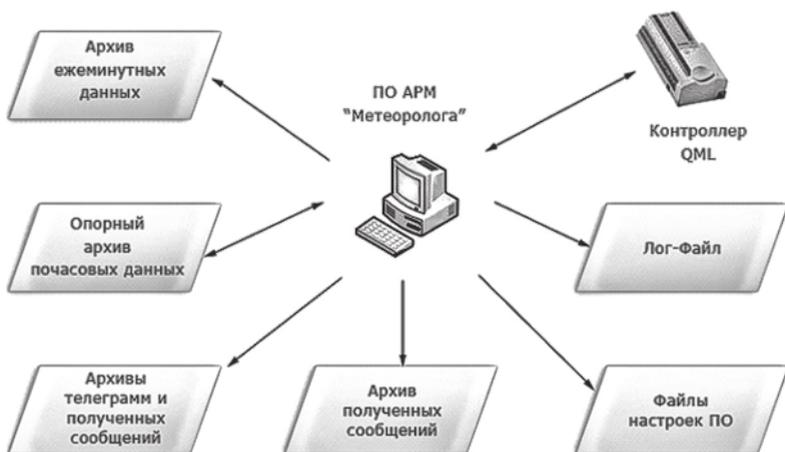


Рис. 1.22. Функциональное назначение ПО АРМ метеоролога

- давление, приведенное к уровню моря;
- высоту изобарической поверхности (в пунктах, расположенных на высоте более 1000 м);
- значение и характеристику барической тенденции;
- среднюю скорость и направление ветра (за 10 мин);
- максимальную скорость ветра в срок (скорость ветра при порывах);
- максимальную скорость ветра между сроками наблюдений;
- температуру и относительную влажность воздуха в срок наблюдения;
- температуру точки росы;
- парциальное давление водяного пара;
- дефицит насыщения;
- минимальную и максимальную температуры воздуха за промежуток времени между сроками наблюдений;
- температуру подстилающей поверхности в срок наблюдения;
- минимальную и максимальную температуру подстилающей поверхности за промежуток времени между последовательными сроками наблюдений;
- минимальную и максимальную температуры подстилающей поверхности за 12 ч.

В главном окне АРМ метеоролога (рис. 1.23) отображаются данные об атмосферном давлении, средней скорости и направления ветра, порывах ветра, максимальной скорости ветра (за последние 3 ч), текущие и осредненные (за последние 10 мин) данные о температуре и относительной влажности воздуха, значения минимальной и максимальной температуры (за последние 3 и 12 ч), среднесуточная температура, текущие и осредненные (за последние 10 мин) данные о температуре

подстилающей поверхности, а также значения минимальной и максимальной температуры подстилающей поверхности (за последние 3 и 12 ч). Обновление информации происходит ежеминутно. Данные об осадках, полученные по осадкомеру QMR 370 (обновление данных ежечасное), также можно наблюдать в главном окне программы. ПО позволяет получать расчетным путем суммы осадков (за 1, 3, 6, 12, 24 ч) и интенсивность жидких осадков, усредненную за 10 мин.

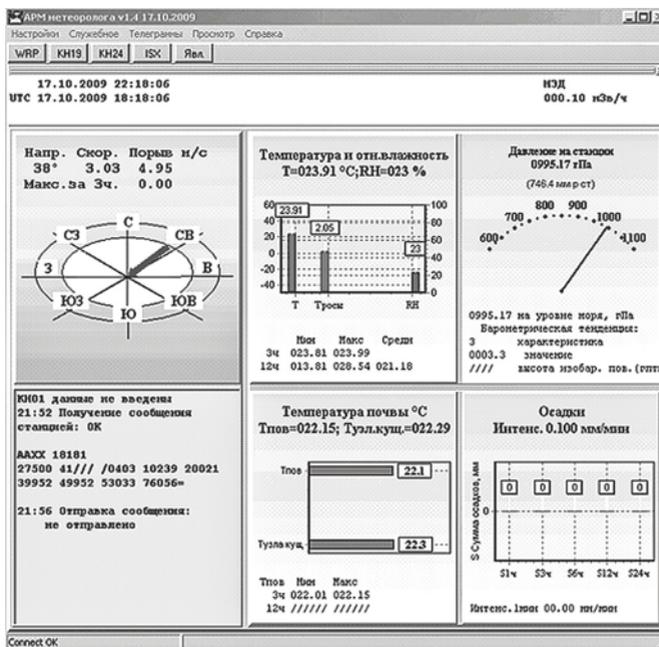


Рис. 1.23. Главное окно АРМ метеоролога АМК

Существует возможность просмотра графика суточного хода атмосферного давления, температуры и относительной влажности воздуха, температуры подстилающей поверхности.

Выработка предупреждений (пиктограмм) об ОЯ (рис. 1.24) происходит автоматически при превышении пороговых значений (предварительно должны быть заданы критерии ОЯ).

В состав АРМ входит программный модуль, предназначенный для занесения недостающих данных, необходимых для формирования телеграммы в коде КН-01 (рис. 1.25). Программный модуль предоставляет необходимый интерфейс и обеспечивает процедуру подготовки данных. Подготовленные данные возвращаются в контроллер, где и формируется телеграмма. Формирование телеграммы КН-01 инициируется

контроллером станции за 10 мин до наступления срока отправки. Контроллер вырабатывает специализированное сообщение, после которого на экране ПК отображается окно блока ввода метеопараметров. В течение 10 мин (период редактирования) оператор должен ввести данные неавтоматизированных наблюдений.

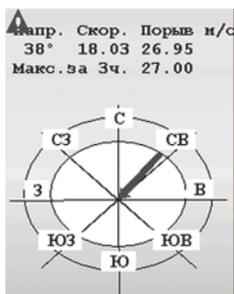


Рис. 1.24. Предупреждающая пиктограмма об ОЯ в главном окне АРМ метеоролога АМК

Рис. 1.25. Модуль ввода явлений

## 1.5. Актинометрические автоматизированные станции

Актинометрические наблюдения проводятся на достаточно ограниченном количестве метеорологических станций. По состоянию на январь 2014 г. актинометрические наблюдения выполнялись в 184 пунктах (рис. 1.26). Существующая актинометрическая сеть крайне редка и неравномерна, что не позволяет с достаточной точностью фиксировать

происходящие изменения радиационного режима в отдельных регионах, особенно в азиатской части России. Несмотря на то что актинометрические наблюдения ведутся далеко не на каждой гидрометеорологической станции, модернизация сети гидрометеорологических станций общего назначения повлекла за собой и создание современных автоматических актинометрических комплексов, с возможностью удаленного управления и минимальным техническим обслуживанием. В 2012 г. в рамках реализации проекта модернизации и технического перевооружения учреждений и организаций Росгидромета на сеть были поставлены зарубежные автоматизированные актинометрические комплексы (ААК). Российско-белорусские автоматизированные измерительные комплексы (АИК) начали внедрять только в 2014 г. (Астрахань, Смоленск, Курск, Мурманск и др.). Новое оборудование позволяет сократить ручной труд и время работы техника-метеоролога на актинометрической площадке, что особенно необходимо в сложных погодных условиях.



Рис. 1.26. Станции, проводящие полные и сокращенные актинометрические наблюдения

Актинометрические автоматизированные станции будут рассмотрены на примере автоматизированного актинометрического комплекса фирмы *Kipp&Zonen* и автоматизированного измерительного комплекса совместного российско-белорусского производства.

**Автоматизированный актинометрический комплекс (ААК).** ААК обеспечивает наблюдения по стандартной программе на 12 станциях Росгидромета. Наблюдения по расширенной программе производятся на 6 станциях.

В состав автоматизированного актинометрического комплекса (ААК), обеспечивающего выполнение актинометрических наблюдений по программе непрерывной регистрации составляющих радиационного баланса, входят контроллер фирмы *Vaisala*, актинометрические приборы и вспомогательное оборудование для размещения датчиков фирмы *Kipp&Zonen* (Голландия):

- пиргелиометр *CHP-1* для измерения прямой солнечной радиации;
- три пиранометра *CHP-6* для измерения рассеянной, отраженной и суммарной радиации;
- два пиргеометра *CG-4* для измерения проходящей и уходящей длинноволновой радиации;
- следящая система (трекер), обеспечивающая автоматическое нацеливание пиргелиометра на Солнце и затенение пиранометров и пиргеометров.

Комплект дополняется стойками для размещения рабочих и контрольных приборов, поверочной трубой для контроля пиранометра и специализированным ПО для дополнительной обработки результатов измерений, представления их в требуемых форматах и формирования базы данных.

**Следящая система фирмы *Kipp&Zonen*, трекер *SOLYS-2*** (рис. 1.27) обеспечивает

автоматическое наведение пиргелиометра на солнце и автоматическое непрерывное затенение пиранометра и пиргеометра в течение светового дня от прямых солнечных лучей для измерения рассеянной радиации и проходящей длинноволновой радиации. Угол затенения соответствует углу зрения пиргелиометра и равен  $5^\circ$ .

Как правило, на трекере устанавливают пиргелиометр или актинометр (измерение прямой солнечной радиации) и два пиранометра (для измерения суммарной и рассеянной радиации). Специальный корпус из литого алюминия оборудован специальным штативом с регулируемой по высоте опорой для нивелирования. Шаговые двигатели, контролируемые микропроцессором, и высококачественные ремённые и зубчатые передачи обеспечивают необходимый крутящий момент и точность наведения. Встроенный приемник *GPS* автоматически учитывает данные о месте положения и местном времени и направляет пиргелиометр и затеняющее устройство точно на Солнце. Коммуникационный порт *Ethernet* дает возможность обновления программного обеспечения и диагностирования неполадок.



Рис. 1.27. Следящая система фирмы *Kipp&Zonen*, трекер *SOLYS-2*

**Пиргелиометр СНР-1** фирмы *Kipp&Zonen* (рис. 1.28, а) предназначен для измерения прямой солнечной радиации в диапазоне волн от 0,2 до 4 мкм. Принцип действия основан на термоэлектрическом эффекте. Угол зрения пиргелиометра равен 5°, что достигается специальной формой коллимационной трубы и конструкцией датчика. Кварцевое окно защищает датчик от внешних воздействий, а козырек — от осадков. Пиргелиометр имеет последовательный интерфейс RS-485.

**Пиранометры СМР-6** фирмы *Kipp&Zonen* (рис. 1.28, б) предназначены для измерения энергетической освещенности в диапазоне от 0,31 до 2,8 мкм. Пиранометры состоят из детектора (термобатарея), двух колпаков и солнцезащитного экрана. В корпусе пиранометра находится сушильная кассета, наполненная силикогелем для предотвращения появления конденсата на внутренней поверхности колпаков. Материал колпаков определяет спектральный диапазон измерения прибора. Для связи с контроллером используется последовательный интерфейс RS-485.

**Пиргеометр СGR-4** фирмы *Kipp&Zonen* (рис. 1.28, в) предназначен для измерения энергетической освещенности солнечным излучением в диапазоне волн от 4,5 до 42 мкм. Пиргеометр состоит из детектора с кремниевым окном, датчика температуры, сушильной кассеты, солнцезащитного экрана. Детектор представляет собой термобатарею, состоящую из большого количества термопар. Кремниевое окно, с нанесенным на него солнцечувствительным фильтром, определяет спектральный диапазон измерения.

Расширенная программа наблюдений на ААК предполагает включение в состав комплекса прибора для измерения ультрафиолетовой радиации в зонах А и В с использованием УФ-радиометра *UVS-AB-T*.

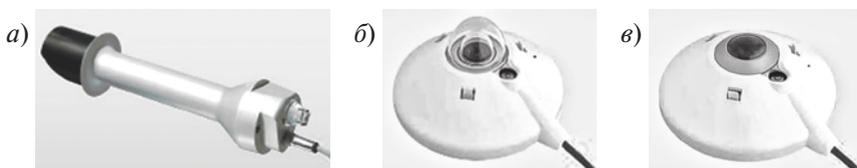


Рис. 1.28. Актинометрические приборы фирмы *Kipp&Zonen*:  
а — пиргелиометр СНР-1; б — пиранометр СМР-6; в — пиргеометр СGR-4

**УФ-радиометр UVS-AB-T** фирмы *Kipp&Zonen* (рис. 1.29) предназначен для измерения атмосферного ультрафиолетового излучения в двух различных спектральных диапазонах и имеет два отдельных выхода, один для энергетической освещенности ультрафиолетового излучения диапазона А (от 315 до 400 нм) и один для энергетической освещенности ультрафиолетового излучения диапазона В (от 280 до 315 нм). Принцип действия УФ-радиометра основан на измерении суммарного

ультрафиолетового излучения (суммы прямого солнечного излучения и излучения, рассеянного частицами или молекулами воздуха). Внутренняя фильтрующая оптика, детектор и электронный преусилитель имеют термоэлектрическое управление при температуре 25 °С и не зависят от наружной температуры, соответственно устраняются колебания спектральной чувствительности, вызванные изменением температуры окружающей среды.



Рис. 1.29. УФ-радиометр *UVS-AB-T* фирмы *Kipp & Zonen*

**Контроллер фирмы Vaisala** представляет собой единый блок, обеспечивающий электрическое подключение и сопряжение датчиков, и выполнение задач сбора и хранения данных наблюдений, управления и мониторинга оборудования и телекоммуникаций на ААК (кроме станций, оснащенных радиооборудованием). Первичные показания всех датчиков, выраженные в мкВ, поступают на контроллер, в котором измеренные значения выходного напряжения переводятся в значение радиации, выраженной в Вт/м<sup>2</sup>. Контроллер также определяет истинное солнечное время в момент измерения. Полученная информация передается из контроллера на ПК. В ААК обеспечена возможность работы датчиков, находящихся на удалении не более 25 м от контроллера. Проводной канал связи между ААК и ПК наблюдателя (рабочее место оператора метеорологического комплекса) обеспечивает надежную работу при удалении на расстояние до 1900 м. Для обеспечения полного дистанционного контроля система имеет режим серийного прохода, который позволяет осуществлять прямую связь через порт обслуживания *RS-232* с любым датчиком, подключенным к ААК через серийный интерфейс.

Программный комплекс ААК обеспечивает выполнение следующих этапов сбора и обработки актинометрической информации:

- наблюдение за результатами измерений, получаемыми с контроллера ААК и АМК с частотой обновления данных 1 раз в минуту;
- сбор актинометрической и метеорологической информации в базу данных с ААК и АМК;
- просмотр в графическом виде накопленных актинометрических данных за выбранный период;
- редактирование первичных данных в базе данных ААК;
- формирование и отправка по электронной почте архивной информации результатов измерений в формате по программе Росгидромета.

Программный комплекс (рис. 1.30) состоит из нескольких программных средств: сервисной службы, обеспечивающей сбор актинометрических и метеорологических данных с контроллеров ААК и АМК; системы

управления базой данных, обеспечивающей их хранение; веб-приложения «АРМ оператора ААК», обеспечивающего специалисту наблюдательного подразделения доступ к данным ААК; базы данных для сбора актинометрической информации с ААК и метеорологической информации с АМК.

Сервисная служба принимает данные с контроллеров станций ААК и АМК и записывает их в базу данных ААК, которая расположена в системе управления базой данных. Веб-приложение «АРМ оператора ААК» обращается к базе данных ААК для отображения данных наблюдений. Передача данных происходит по каналам связи в виде сформированных телеграмм по электронной почте. Взаимодействие программного комплекса и комплекса станции обеспечивается по каналам связи *Ethernet* с помощью сетевого оборудования.

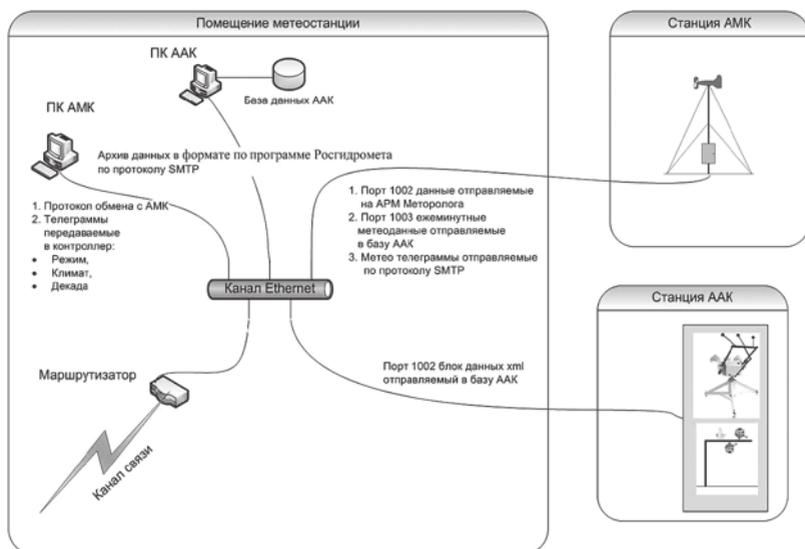


Рис. 1.30. Структура программного комплекса

Интерфейс пользователя представляет собой страницу (рис. 1.31), на которой расположены основные элементы управления программным комплексом и отображаются данные в графическом и цифровом виде. В левой части страницы располагаются окна для отображения в цифровом виде реальных данных, получаемых с датчиков информации станции АМК (дата, время, температура, влажность, давление) и ААК (дата; истинное солнечное время; суммарная, прямая, отраженная солнечная радиация; длинноволновая уходящая и приходящая радиация; ультрафиолетовая радиация).

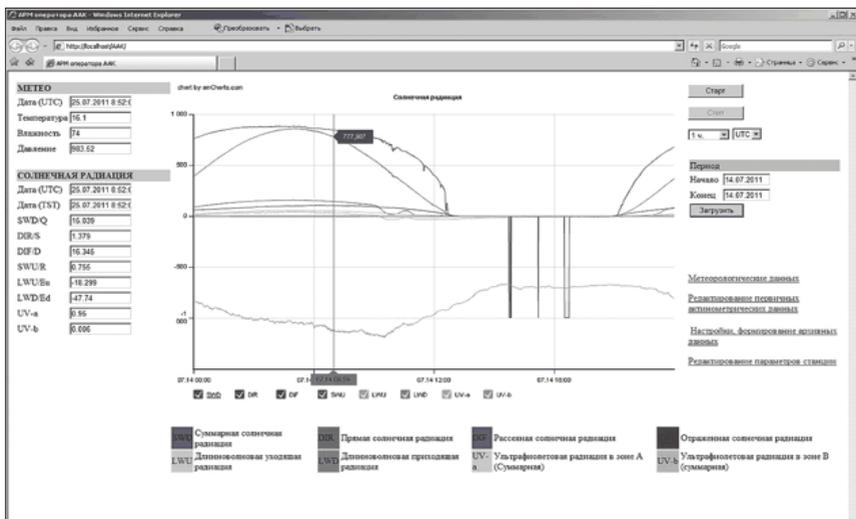


Рис. 1.31. Интерфейс пользователя

В программе есть возможность просмотра графиков в двух режимах:

1. Динамическое отображение в режиме реального времени с возможностью выбора отрезков времени (10, 30 мин и 1 ч), при этом дискретность отображаемых величин равна одной минуте (частота опроса датчиков).

2. Просмотр архивной информации из базы данных с возможностью выбора необходимого периода времени путем ввода даты начала и конца интересующего отрезка времени.

В архивных файлах содержатся следующие данные за месяц:

А) Среднечасовые актинометрические данные по истинному солнечному времени:

- суммарная солнечная радиация;
- прямая солнечная радиация;
- рассеянная солнечная радиация;
- отраженная солнечная радиация;
- длинноволновая уходящая (отраженная) радиация;
- длинноволновая приходящая (рассеянная) радиация;
- ультрафиолетовая радиация в зоне А (суммарная);
- ультрафиолетовая радиация в зоне В (суммарная).

Б) Метеорологические данные:

- продолжительность солнечного сияния;
- состояние подстилающей поверхности;
- характеристика ясности дня;
- атмосферные явления (вид, интенсивность, начало, окончание).

Для каждого актинометрического параметра формируется отдельный файл в формате *csv*. Файл представляет собой таблицу в виде 24-х столбцов (часы измерений) и 31-й строки (количество дней месяца).

**Автоматизированный измерительный комплекс (АИК).** Автоматизированный измерительный комплекс (АИК) предназначен для актинометрических наблюдений на гидрометеорологической сети с целью получения в автоматическом режиме данных о радиационном состоянии атмосферы. АИК состоит из отечественных российско-белорусских технических средств, которые помимо меньшей стоимости имеют ряд важных преимуществ перед приборами фирмы *Kipp&Zonen*:

- сохранность методик измерения и обработки данных;
- метеорологическое обеспечение с использованием имеющихся методик и эталонов;
- возможность использования имеющегося на сети вспомогательного и поверочного оборудования;
- обеспечение однородности рядов наблюдений.

В состав АИК включен специализированный контроллер, модернизированное теневое кольцо для балансомера производства ЦКБ ГМП НПО «Тайфун» (Россия), актинометрическое и дополнительное оборудование фирмы ОАО «Пеленг» (Беларусь). Оборудование фирмы ОАО «Пеленг» включает в себя:

- актинометр для измерения прямой солнечной радиации;
- три пиранометра для измерения рассеянной, отраженной и суммарной радиации;
- балансомер для измерения радиационного баланса;
- следящую систему (трекер), обеспечивающую автоматическое нацеливание актинометра на солнце и затенение пиранометров.

Комплекс производит измерение радиационных параметров земной поверхности, сбор и автоматическое определение следующих расчетных величин:

- прямой радиации на горизонтальную поверхность;
- суммарной радиации;
- радиационного баланса (полного);
- длинноволнового радиационного баланса;
- альbedo подстилающей поверхности.

АИК (рис. 1.32) структурно состоит из: а) актинометрической стойки и системы наведения на Солнце ПСС-1, оборудованных актинометрическими приборами; б) блока центрального измерительного (БЦИ); в) ПК со специальным ПО на базе операционной системы *Windows*.

На актинометрической стойке крепятся два пиранометра СФ-06 (для измерения рассеянной солнечной радиации и альbedo подстилающей поверхности) и прибор для определения продолжительности солнечного

сияния ВК-05. ПСС-1 используется для точного наведения на солнце актинометра СФ-12, пиранометра СФ-06 и балансомера СФ-08 (закрепленных на стойке) при помощи встроенного ПО.

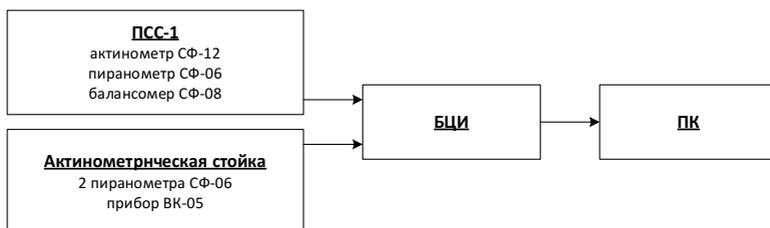


Рис. 1.32. Структурная блок-схема автоматизированного измерительного комплекса (АИК)

**Блок центральный измерительный (БЦИ)** (рис. 1.33) разработан ЦКБ ГМП НПО «Тайфун», сертифицирован и прошел испытания в ГГО им. Воейкова. Эта разработка вывела отечественную систему на уровень мировых стандартов. БЦИ имеет 8 каналов и выход на ПК. БЦИ обеспечивает представление на мониторе ПК текущих и среднечасовых показаний датчиков в графической и табличной форме, а также перевод аналоговых сигналов с датчиков (напряжения) в значение радиации. Имеет встроенный источник питания, благодаря чему не теряются данные, полученные в периоды отсутствия питания сети.



Рис. 1.33. Блок центральный измерительный (БЦИ)

**Прибор слежения за Солнцем ПСС-1** (рис. 1.34) прошел испытания в ГГО им. Воейкова в 2010 г. Его появление позволило обеспечить выпуск полных комплектов приборов и оборудования российско-белорусского производства, работающего по программе регистрации аналогичной зарубежным автоматизированным актинометрическим комплексам. Преимуществом прибора ПСС-1 перед зарубежными аналогами является наличие встроенной системы управления. Прибор пригоден для работы

в жестких климатических условиях в любую погоду (работоспособен при скорости ветра 20 м/с). Имеет высокую производительность и возможность автоматической подстройки положения осей при наличии солнца. Технические характеристики прибора слежения за солнцем ПСС-1 представлены в табл. 1.15.



Рис. 1.34. Прибор слежения за Солнцем ПСС-1 фирмы ОАО «Пеленг» (Беларусь)

Таблица 1.15

**Технические характеристики прибора слежения за солнцем ПСС-1 ОАО «Пеленг» (Беларусь)**

Характеристика	Параметры
Точность установки углов поворота по азимуту и зениту, град	не более 0,5
Воспроизводимость установки углов поворота по азимуту и зениту, град	не более 0,05
Угол поворота, град: – по азимуту – по зениту	не менее 320 не менее 90
Разрешающая способность, град	не более 0,036
Точность привязки к реальному времени в сутки, с	$\pm 2$

В основе работы *актинометра СФ-12* (рис. 1.35, а), *пиранометра СФ-06* (рис. 1.35, б) и *балансомера СФ-08* (рис. 1.35, в) лежит термоэлектрический принцип преобразования. В качестве термоэлектрического преобразователя используется манганин-константановая термобатарея. Электрические сигналы от первичных преобразователей в аналоговой форме поступают на вход БЦИ, где преобразуются в цифровую форму, обрабатываются микроконтроллером, после чего данные выводятся на дисплей ПК.



Рис. 1.35. Актинометрические приборы фирмы ОАО «Пеленг» (Беларусь):  
 а — актинометр СФ-12; б — пиранометр СФ-06; в — балансомер СФ-08

Надо отметить, что вышеперечисленные актинометрические приборы имеют много общего с их отечественными предшественниками актинометром М-3, пиранометром М-80 и балансомером М-10М (устройство термобатареи и геометрические размеры), что позволяет легко использовать их на отечественных актинометрических стойках. Однако приборы фирмы «Пеленг» имеют ряд преимуществ, позволяющих увеличить точность измерений и значительно уменьшить погрешности:

1. Пиранометр СФ-06 имеет герметизированный корпус головки, благодаря чему не происходит запотевания стеклянного колпака изнутри.
2. Термобатарея балансомера СФ-08 полностью полимеризована, что обеспечивает герметизацию внутреннего пространства датчика. Асимметрия чувствительности сторон и влияние ветра на показания снижены в 1,5–2 раза. Значительно улучшена устойчивость зачерненного покрытия поверхностей к воздействию осадков, что позволяет проводить непрерывные измерения при любой погоде.
3. Актинометр СФ-12 выпускается в двух модификациях — с открытым входным отверстием (для ручных измерений) и с защитным окном из флюорита прозрачного к спектральной области прямой солнечной радиации, что позволяет не закрывать прибор при осадках и использовать его для непрерывной регистрации прямой солнечной радиации.

Диапазон измеряемых величин АИК и пределы допускаемых погрешностей указаны в табл. 1.16.

**Прибор для определения продолжительности солнечного сияния ВК-05** (рис. 1.36) предназначен для работы в автономном режиме или в составе автоматизированных систем на сети гидрометеорологических станций. Чувствительный элемент датчика представляет собой 16 кремниевых фотодиодов, расположенных по окружности в два ряда под разным наклоном, что обеспечивает работу прибора при любом расположении солнца. Принцип действия ВК-05 основан на установлении различий освещенности в показаниях датчиков с помощью нормирования выходных сигналов на значение, эквивалентное пороговому значению  $120 \text{ Вт/м}^2$ .

Прибор предназначен для работы в большом диапазоне температур от  $-70$  до  $+70$  °С. Передача информации происходит один раз в секунду. Геометрические размеры прибора ВК-05 позволяют устанавливать прибор на штатив пиранометра М-80.

*Таблица 1.16*

**Диапазон измеряемых величин и пределы допускаемых погрешностей АИК с актинометрическими приборами фирмы ОАО «Пеленг» (Беларусь)**

Измеряемая величина	Диапазон измерений, кВт/м <sup>2</sup>	Пределы допускаемой относительной погрешности, %
Прямая солнечная радиация	0,04–1,1	± 4
Суммарная солнечная радиация	0,01–1,6	± 11
Отраженная солнечная радиация	0,01–1,6	± 11
Рассеянная солнечная радиация	0,01–1,6	± 11
Радиационный баланс без прямой солнечной радиации	-0,7... +1,1	± 15



Рис. 1.36. Прибор для определения продолжительности солнечного сияния ВК-05 фирмы ОАО «Пеленг» (Беларусь)

Данные о продолжительности солнечного сияния используются для характеристики климата местности и представляют собой большую ценность для сельского хозяйства.

## **2. АЭРОДРОМНЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ**

В век высоких технологий невозможно представить себе современный аэропорт, работающий без соответствующего надежного метеоборудования. АМС помогают обезопасить взлет и посадку воздушных судов, существенно сокращают количество задержек рейсов, связанных с плохой видимостью или неблагоприятными погодными условиями. Самые крупные подразделения по метеорологическому обеспечению авиации находятся в важнейших аэропортах (Домодедово, Шереметьево, Пулково, Екатеринбург и т.д.) и называются Авиационными метеорологическими центрами (АМЦ). Остальные гражданские авиационные метеорологические станции (АМСГ) при аэропортах делятся на четыре группы:

- в международных аэропортах при круглосуточной работе аэродрома;
- во внутрироссийских аэропортах при круглосуточной работе аэродрома;
- при некруглосуточной работе аэродрома (по регламенту);
- АМСГ без синоптической группы (получает прогнозы погоды от другой АМСГ).

Поскольку метеопараметры имеют периодические (суточные, сезонные) и непериодические (связанные с метеорологической обстановкой) колебания, необходимо не только обеспечивать безопасность воздушного движения, но и учитывать, и изучать климатические условия. Для этого необходимо создавать и обрабатывать огромное количество текущих и архивных данных. Причем сводки должны составляться в соответствии со стандартами. Определяющую роль в вопросах эффективного функционирования аэродрома играет грамотно, максимально точно подобранное метеорологическое оборудование.

Рассмотрим основные характеристики аэродромных АМС на примере комплексной радиотехнической аэродромной метеорологической станции КРАМС-4 и аэродромной станции «АВИА».

### **2.1. Комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция КРАМС-4**

Станция разработана и серийно изготавливается ЗАО «Институт радарной метеорологии» (ЗАО «ИРАМ»). Станция сертифицирована и допущена к применению на авиаметеорологической сети Росгидромета

решением ЦКПМ Росгидромета. Данная станция предназначена для метеорологического обеспечения авионавигации. По состоянию на 2012 г. станция КРАМС-4 различной комплектации установлена на 114 аэродромах, вертодромах и вертолетных площадках России, стран СНГ и бывших республик Советского Союза. КРАМС-4 предназначена для измерения и сбора метеоинформации об основных параметрах атмосферы на аэродроме, обработки этой информации, формирования метеорологических сообщений, отображения, регистрации и распространения информации по каналам связи для обеспечения взлета и посадки воздушных судов.

Станция обеспечивает:

- автоматические дистанционные измерения метеовеличин;
- обработку измерительных сигналов;
- автоматическое распространение метеоинформации внутри аэродрома, а также за пределы аэродрома в кодах *METAR/SPECI*, *MET REPORT/SPECIA*, *ATIS* и КН-01;
- архивацию всей метеоинформации с указанием времени и места проведения измерения метеовеличин.

Схема КРАМС-4 с сертифицированными датчиками метеовеличин, серийно выпускаемыми фирмой *Vaisala* (Финляндия), представлена на рис. 2.1.

Измерительная система КРАМС-4 состоит из измерительного, связующего и вычислительного компонентов, а также средств отображения, регистрации и представления метеоинформации.

*Измерительный компонент* станции состоит из датчиков, первичных и промежуточных измерительных преобразователей метеовеличин, измеряющих:

- температуру и влажность воздуха;
- атмосферное давление;
- скорость и направление ветра;
- высоту нижней границы облаков (вертикальную видимость);
- метеорологическую оптическую дальность видимости;
- интенсивность и количество осадков;
- явления погоды и грозные разряды.

*Связующий компонент* (каналы связи) — техническое средство либо часть окружающей среды, предназначенное или используемое для передачи с минимально возможными искажениями сигналов, несущих информацию об измеряемой величине от одного компонента системы к другому.

В КРАМС-4, размещаемых на аэродромах, каналами связи являются аэродромные линии связи, по которым производится передача измерительных сигналов (аналоговых или цифровых — в зависимости от используемых датчиков) от датчиков, первичных и промежуточных измерительных преобразователей в вычислительный компонент. Для увеличения

дистанционности передачи измерительных сигналов от датчиков метеовеличин в центральную систему в КРАМС-4 используются последовательные линии RS232 и модемы типа DMX55, ZYXEL, V3365/U336R и др.

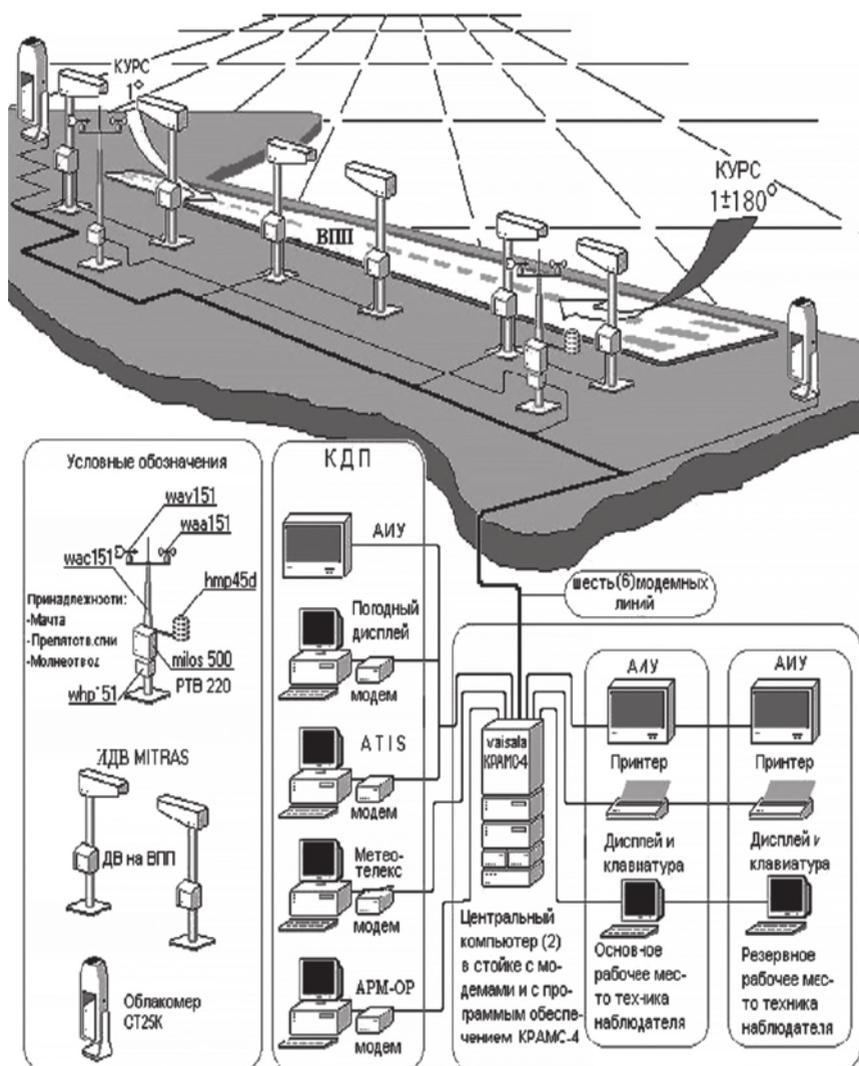


Рис. 2.1. Структурная схема системы КРАМС-4 с датчиками метеовеличин фирмы Vaisala (Финляндия): WAV151, WAA151 — датчики параметров ветра; HMP45D — датчик температуры и влажности воздуха; CT25K — датчик высоты нижней границы облаков; ИДВ Mitras — датчик метеорологической дальности видимости; ДРА21 — датчик давления; АИУ — автоматическое индикаторное устройство; КДП — командно-диспетчерский пункт

**Вычислительный компонент** КРАМС-4 представлен центральной системой, включающей в себя: две ПВЭМ, два принтера, две платы расширения каналов; блок коммутации типа БК-16М, два комплекта базового программного обеспечения, два комплекта специального программного обеспечения, модем с комплектом разъемов и источник бесперебойного питания.

Центральная система, которая выполняет следующие функции:

- а) управляет работой датчиков;
- б) производит прием и архивацию измерительных сигналов;
- в) обеспечивает ручной ввод данных, необходимых для обеспечения аэронавигации;
- г) производит обработку измерительных сигналов (осреднение, выбор экстремальных значений, фильтрация и т.д.);
- д) производит вычисление (определение и оценку) метеорологических величин, необходимых для метеорологического обеспечения аэронавигации (дальность видимости на ВПП, параметры ветра, давление, приведенное к уровню порогов ВПП и уровню моря, температура точки росы и др.);
- е) формирует сообщения, передаваемые внутри аэродрома и распространяемые за пределы аэродромов (в коде *METAR/SPECI*);
- ж) производит архивацию всей выдаваемой метеоинформации с возможностью распечатки на принтере;
- з) производит построение графиков изменения метеовеличин во времени с возможностью распечатки на принтере;
- и) обеспечивает сигнализацию об отказах датчиков, первичных и промежуточных измерительных преобразователей, входящих в измерительный компонент, а также линий связи, соединяющих датчики метеовеличин и средства отображения метеоинформации;
- к) ведет календарь и текущий счет времени.

Функции центральной системы КРАМС-4 могут быть расширены при включении в измерительный компонент новых датчиков метеовеличин, а также средств автоматизированного распознавания атмосферных явлений.

Выполнение перечисленных функций обеспечивается специальной программой, разработанной ИРАМ. На рис. 2.2 представлен пример предоставления метеоданных, получаемых с помощью КРАМС-4.

Одним из преимуществ и достоинств КРАМС-4 является возможность использования в измерительном компоненте любых сертифицированных датчиков, первичных и промежуточных измерительных преобразователей метеовеличин, подтвержденных Сертификатом типа метеооборудования аэродромов, выданным Межгосударственным авиационным комитетом.

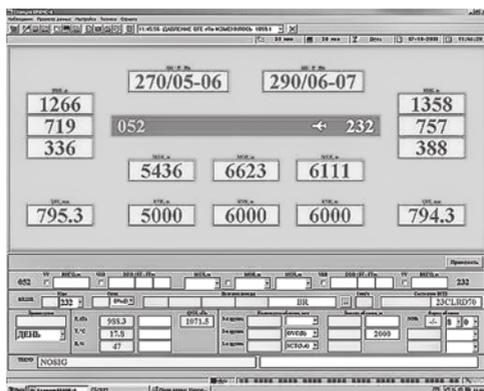


Рис. 2.2. Пример предоставления метеоданных, получаемых с помощью КРАМС-4

Как правило, станции КРАМС-4 комплектуются датчиками фирмы *Vaisala*:

- температуры и относительной влажности воздуха *HMP45D*;
- температуры почвы *DTS12G*;
- скорости (*WAA151/252*) и направления ветра *WAV151/252*.

Описание вышеуказанных датчиков приведено в подразделе 1.1. Кроме того, в состав КРАМС-4 входят следующие измерители.

#### **Измеритель параметров ветра ИПВ-01**

(рис. 2.3) предназначен для измерения скорости (текущей, средней и максимальной) и направления воздушного потока с выводом на индикатор или экран ПЭВМ. В состав измерителя параметров ветра ИПВ-01 входит датчик скорости и направления ветра, блок сопряжения (БС), блок индикации, разветвительная коробка, программа обработки данных и блок измерения.



Рис. 2.3. Измеритель параметров ветра ИПВ-01

Принцип измерения скорости и направления ветра ИПВ-01 основан на преобразовании горизонтальной составляющей скорости и направления воздушного потока в электрический сигнал цифрового вида, передаваемый по двухпроводной линии связи.

Блок сопряжения принимает сигналы от датчиков (один раз в секунду) и переводит принятые сигналы в соответствующие единицы измерения. Для передачи массива данных по линии связи используется интерфейс *RS-232*.

Программа обработки данных (для операционной системой *Windows 95* и выше) формирует текущие (5 с) и средние (2 и 10 мин) значения параметров ветра со скользящими интервалами осреднения. Также формируются: максимальные значения скорости ветра за 2 и 10 мин, значение скорости вдоль и поперек взлетно-посадочной полосы, ведется архивация данных. Данные выводятся на экран ПЭВМ в цифровом и графическом виде.

Блок индикации формирует мгновенные (1 с), текущие (5 с) и средние (2 и 10 мин) значения параметров ветра со скользящими интервалами осреднения, минимальную и максимальную (на скользящем интервале 10 мин и за текущий час) скорость ветра, ведет счет суточного времени. На индикацию выводится любая пара параметров по выбору оператора. Линия связи с блоком индикации — двухпроводная с дистанционностью до 3000 м при сечении провода 0,2 мм<sup>2</sup>.

Технические характеристики измерителя скорости и направления ветра ИПВ-01 и диапазоны измерений приведены в табл. 2.1.

*Таблица 2.1*

**Технические характеристики и диапазон измерения ИПВ-01**

Характеристика	Параметры
Диапазон измерения скорости воздушного потока ( <i>V</i> ), м/с	от 0,5 до 80
Пределы допускаемой погрешности при измерении скорости воздушного потока (при осреднении за 5 с, 2 и 10 мин): — абсолютной, м/с, в диапазоне скорости от 0,5 до 6 м/с (с применением программы обработки данных « <i>LIMB</i> ») — относительной, %, при скорости более 6 м/с	$\pm 0,5 (\pm 0,3)$ $\pm 5$
Диапазон измерения направления воздушного потока, градус	от 0 до 360
Пределы допускаемой абсолютной погрешности при измерении направления воздушного потока (при осреднении за 5 с, 2 и 10 мин), градус: — при средней скорости до 1 м/с — при средней скорости более 1 м/с	$\pm 10$ $\pm 3$
Питание от сети переменного тока: — напряжением, В — частотой, Гц	220 50±

**Измеритель атмосферного давления РТВ200** предназначен для измерения атмосферного давления в автоматическом режиме. Принцип действия цифрового барометра РТВ200 основан на измерении емкости керамического конденсатора. Изменение емкости керамического конденсатора преобразуется в электрические сигналы, далее с помощью контроллеров — в цифровую форму и передаются на средства отображения. Барометр РТВ200 может работать непрерывно или по запросу. Технические характеристики измерителя атмосферного давления РТВ200 и диапазоны измерений приведены в табл. 2.2.

Для подключения к ПЭВМ метеорологического комплекса измеритель атмосферного давления *PTB200* имеет несколько последовательных интерфейсов *RS-232*, *RS-422* *RS-485*.

Таблица 2.2

**Технические характеристики и диапазон измерения *PTB200***

Характеристика	Параметры
Диапазон измерения атмосферного давления, гПа	от 500 до 1100
Пределы допускаемой основной погрешности, гПа (в зависимости от модификации)	от $\pm 0,1$ до $\pm 0,45$
Пределы допускаемой дополнительной температурной погрешности, гПа (в зависимости от модификации)	не более $\pm 0,1-0,4$
Питание, В (в зависимости от модификации)	5–30

***Высота нижней границы облаков и ее измерение.*** Сложный характер структуры нижней границы низких облаков не позволяет однозначно определить (измерить) высоту ее нижней границы различными методами и средствами. Трудность измерения (оценки) действительного значения высоты нижней границы облаков усугубляется отсутствием определения того, что именно принимается за высоту нижней границы. Если эту задачу рассматривать с точки зрения метеорологического обеспечения аэронавигации, то необходимо определить, какой уровень принимается за высоту нижней границы облаков: уровень установления видимости естественного горизонта или уровень установления зрительного контакта с наземными ориентирами, в частности (при посадке), маркировкой или огнями ВПП. Установлено, что при выходе воздушного судна из низких слоистых облаков пилот видит естественный горизонт на 120 м ниже по сравнению с высотой установления зрительного контакта с маркировкой и огнями ВПП. Аналогичные расхождения встречаются при определении высоты нижней границы облаков с самолета и наземными средствами измерения высоты нижней границы облаков (вертикальной видимости).

Основной целью измерения высоты нижней границы облаков (вертикальной видимости) с земной поверхности при метеорологическом обеспечении аэронавигации является выдача информации о высоте, на которой пилот воздушного судна при посадке установит зрительный (визуальный) контакт с ВПП или потеряет его при взлете. В метеорологические минимумы (командира воздушного судна, воздушного судна и аэродрома или ВПП либо направления взлета и посадки) входит кроме минимальной дальности видимости на ВПП высота принятия решения. Под высотой принятия решения понимается установленная относительная высота, на которой должен быть начат маневр ухода на

второй круг в случаях, если до достижения этой высоты командиром воздушного судна не был установлен необходимый визуальный контакт с ориентирами для продолжения захода на посадку или если положение воздушного судна в пространстве относительно заданной траектории полета не обеспечивает безопасности посадки. Высота принятия решения отсчитывается от уровня порога ВПП. Порог ВПП — это начало участка ВПП, который может использоваться для посадки воздушных судов. Следовательно, высота принятия решения определяется пилотом по его оценке высоты не вертикально вниз, а под определенным углом к горизонтальной плоскости.

Принцип измерения высоты нижней границы облаков основан на концепции различия характеристик спектральной селективности внутри облака и в атмосфере, предшествующей облачности. Благодаря этому различию в нижней части облака образуется световое пятно от источника света, установленного на земной поверхности, над которой измеряется высота нижней границы облаков (вертикальная видимость). Расстояние между источником света и образованным им световым пятном в основании облака определяется в настоящее время двумя методами:

- путем измерения углового превышения (триангуляционный метод);
- посредством отсчета времени прохождения луча света от источника света (передатчика) к световому пятну в основании облака и обратно.

**Измеритель высоты облаков CL31** (рис. 2.4) представляет собой лазерный измеритель высоты нижней границы облаков и вертикальной видимости. Хорошо подходит для мобильной работы благодаря своим размерам.

В основе работы облакомера CL31 лежит лазерная импульсная дальномерная технология *LIDAR*. Короткие мощные импульсы посылаются в вертикальном направлении, отраженный луч (рассеянный сигнал от дымки, тумана, мглы и выпадающих осадков) при поступлении в приемник запоминается, обрабатывается и подается в виде цифровых сигналов на цифровой дисплей DD50 или ПЭВМ, где отображается в виде измеренных значений высоты нижней границы облаков или вертикальной видимости.

В измерительный блок датчика CL31 (см. рис. 2.4, б) входят:

- оптический блок (2), представляющий собой оптическую систему с фокусным расстоянием 300 мм;
- приемник (3), состоящий из детектора (кремниевый лавинный фотодиод);
- передатчик (б), представляющий собой лазерный диод на арсениде индия и галлия, излучающий импульсный свет с частотой 10 кГц с длиной волны  $910 \pm 10$  нм;

- процессорная плата (8), построенная на базе процессора типа *DMC50A*;
- плата управления лазером (9), имеющая два точечных фотодиода, которые принимают от передатчика лазерные импульсы и после усиления и аналого-цифрового преобразования передают их на плату процессора;
- батарея резервного питания (10);
- блок питания переменным током (11), предназначенный для преобразования сетевого питающего напряжения;
- оконный кондиционер и внутренний обогреватель (1).

На рис. 2.4, б также показаны: кольцо приемника (4), кольцо передатчика (5), выключатель электропитания и выключатель оконного кондиционера (7).

Технические характеристики облакомера *CL31* и диапазоны измерений приведены в табл. 2.3.

Дистанционность передачи измерительных сигналов (от датчика до терминала) через *RS-232* равна 300 м, через *RS-485* — 1,2 км, через модем — 16 км.

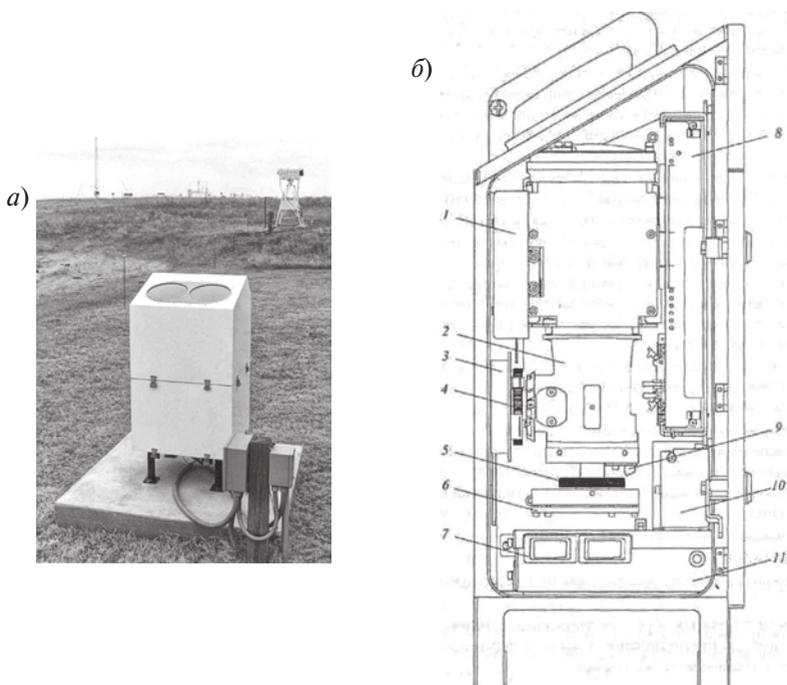


Рис. 2.4. Измеритель высоты облаков *CL31*:

*a* — измеритель высоты облаков *CL31*; *б* — основные компоненты датчика *CL31*

## Технические характеристики и диапазон измерения облакомера CL 31

Характеристика	Параметры
Диапазон измерения высоты нижней границы облаков и вертикальной видимости, м	от 0 до 7500
Интервал измерений, с	2
Дискретность индикации, м	5
Электрическое питание от источника переменного тока: – напряжение, В – частота, Гц	230 (115) ± 10 % от 45 до 65

**Измеритель высоты облаков ДВО-2** (рис. 2.5) предназначен для автоматических измерений высоты облаков с целью обеспечения безопасности взлета и посадки воздушных судов на аэродроме. ДВО-2 может работать как автономно, так и в составе автоматизированных метеорологических станций.

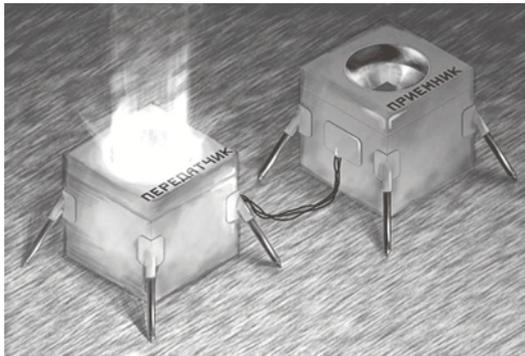


Рис. 2.5. Измеритель высоты облаков ДВО-2

Измеритель ДВО-2 — импульсный дальномер оптического диапазона, дистанционно измеряющий вертикальное расстояние от земли до нижней границы облаков. Измерение высоты облаков обеспечивается путем измерения времени прохождения светового импульса от излучателя (передатчика) до нижней границы облаков и обратно (в приемник) и преобразования полученного временного интервала в пропорциональное ему значение высоты облаков. Значения высоты облаков рассчитываются по формуле

$$H = \frac{c \cdot \tau}{2}, \quad (2.1)$$

где  $c$  — скорость света  $3 \cdot 10^8$  м/с;  $\tau$  — время прохождения сигнала от датчика до облака и обратно, с.

ДВО-2 состоит из:

- передатчика и приемника, размещенных вблизи основного пункта наблюдений и на ближних приводных радиомаяках с обоих концов взлетно-посадочной полосы;
- линий связи;
- измерительного блока для сбора и обработки информации;
- дистанционного пульта, размещенного на основном пункте наблюдений.

В передатчике в кардановом подвесе, заключенном в кожухе с открывающейся крышкой, расположены импульсная лампа (источник света) с питающими ее конденсаторами и параболическое зеркало.

В приемнике расположены параболическое зеркало (приемник отраженного сигнала), фотоприемник и фотоусилитель. Как и в передатчике, эти элементы установлены в кардановом подвесе и заключены в кожухе с открывающейся крышкой. Сигнал от приемника по линии связи передается в измерительный блок, оттуда в — дистанционный пульт или в центральную систему станции (в зависимости от комплектации) для обработки и отображения на дисплее оператора.

Измеритель ДВО-2 может работать непрерывно или по запросу. Для работы в компьютерной сети дистанционный пульт имеет последовательный интерфейс RS-232. Дистанционность передачи информации измерителей до 8 км. Технические характеристики измерителя высоты облаков ДВО-2 и диапазоны измерений приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

**Технические характеристики и диапазон измерения измерителя высоты облаков ДВО-2**

Характеристика	Параметры
Диапазон измерения высоты облаков ( $H$ ), м	от 15 до 2000
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерений высоты облаков в диапазоне: – 15–100 м – 100–2000 м	$\pm 10$ м $\pm 0,1H$ м
Периодичность измерений, с	1,3
Дискретность индикации, м	5
Электрическое питание от источника переменного тока: – напряжение, В – частота, Гц	$220 \pm 10$ –15 % $50 \pm 1$

**Измеритель метеорологической оптической дальности (МОД) видимости LT31** (рис. 2.6) предназначен для определения МОД, ее обработки, отображения на дисплее, формирования метеорологических сообщений, регистрации и архивации данных с целью обеспечения безопасности взлета и посадки воздушных судов на аэродромах и вертодромах.

*LT31* — трансмиссометр, принцип работы которого основан на измерении коэффициента направленного пропускания импульсного излучения модулированного светового потока при прохождении им слоя атмосферы фиксированной длины.

Измеритель *LT31* состоит из излучателя (*LTT111*) и приемника (*LTR111*), установленных на мачтах на определенном (базовом) расстоянии друг от друга.

В состав излучателя *LTT111* входят:

- измерительный блок, состоящий из двух светодиодов белого цвета, оптической трубы, оптического пленочного диффузора, микропроцессора и механизма юстировки;
- интерфейсный блок, включающий в себя микроконтроллер и блок питания.

В состав приемника *LTR111* входят:

- измерительный блок, состоящий из фотодиода, оптического фильтра, усилителя и микропроцессор;
- интерфейсный блок, включающий в себя главный центральный процессор и блок питания.



Рис. 2.6. Измеритель метеорологической оптической дальности видимости *LT31*

В качестве источника света в *LT31* применяется светодиод. В качестве приемника — фотодиод, перед которым установлен оптический фильтр для адаптации спектральной чувствительности приемника. Световой поток, прошедший через атмосферу принимается фотодиодом, усиливается в измерительном блоке приемника и преобразовывается в коэффициент направленного пропускания. Далее главный процессор по формуле Кошмидера и алгоритмам фирмы Vaisala производит пересчет коэффициента направленного пропускания в МОД, которая передается на ПК. Трансмиссометры *LT31* работают непрерывно, сообщения о проведенных измерениях передаются через определенные временные

интервалы или по запросу. Для обмена информацией предусмотрены последовательные интерфейсы *RS-232*, *RS-485*.

Программное обеспечение *LT31* (ПО «*LT31*») встроенное и расположено в излучателе, приемнике и интерфейсном блоке. При включении питания автоматически включается необходимый режим работы, в зависимости от подключенной аппаратуры. ПО «*LT31*» обеспечивает управление работой, самотестирование, сбор, обработку, передачу данных от трансмиссометров *LT31*. Технические характеристики трансмиссометра *LT31* и диапазоны измерений приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Технические характеристики и диапазон измерения трансмиссометра *LT31*

Характеристика	Параметры
Диапазон измерений коэффициента направленного пропускания, %	от 0 до 100
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений коэффициента направленного пропускания, %	$\pm 0,3$
Диапазон эквивалентной МОД, м	от 10 до 10000
Пределы допускаемой относительной погрешности эквивалентной МОД, %:	
– от 10 до 2000 м;	$\pm 5$
– от 2000 до 4500 м;	$\pm 10$
– от 4500 до 6500 м;	$\pm 15$
– от 6500 до 10000 м;	$\pm 20$
Электрическое питание от источника переменного тока:	
– напряжение, В	$115/220 \pm 20 \%$
– частота, Гц	$55 \pm 10 \%$

**Нефелометр *FD 12/FD 12P*** (рис. 2.7) предназначен для автоматических измерений МОД. Принцип работы этого оптического прибора основан на оценке показателя ослабления светового потока в атмосфере. Нефелометры *FD 12/FD 12P* состоят из излучателя *FDT12B*, приемника *FDR12*, контроллера, кронштейна, мачты (см. рис. 2.7, а).

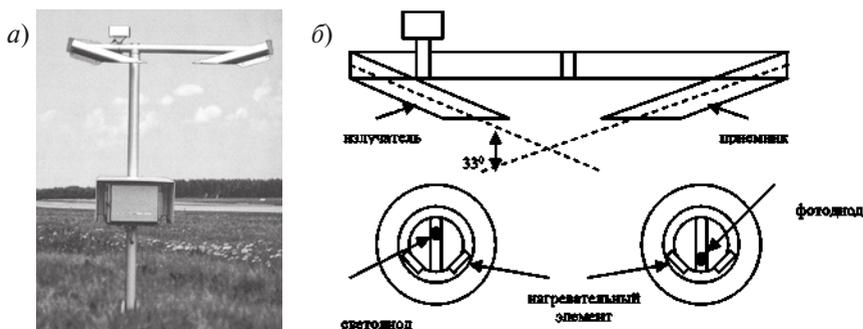


Рис. 2.7. Нефелометр *FD 12/FD 12P*:  
а — внешний вид; б — схематичное изображение

Излучатель и приемник крепятся на мачте высотой 2,5 м напротив друг друга так, чтобы их оптические оси были направлены под углом  $33^\circ$  к горизонтальной плоскости (см. рис. 2.7, б). Источником света служит инфракрасный светодиод. Приемник состоит из фотодиода, усилителя, фильтра и контроллера. И излучатель, и приемник оборудованы схемой контроля и компенсации загрязненности окна. Линзы излучателя и приемника защищены от осадков козырьками с встроенным обогревом. Дополнительно может быть установлен блок *LM11*, определяющий яркость фона и дающий информацию о режиме работы день/ночь. В модификации *FD 12P* установлен детектор дождя, который в совокупности с измерением МОД дает информацию о типе погоды в кодированном виде (00 — ясно, 04 — мгла или дым). Интенсивность принятых импульсов светового потока измеряется и преобразуется в данные МОД с помощью запатентованного алгоритма фирмы Vaisala. Технические характеристики нефелометра *FD 12/FD 12P* и диапазоны измерений приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

**Технические характеристики и диапазон измерения нефелометра *FD 12/FD 12P***

Характеристика	Параметры
Диапазон эквивалентной МОД, м	от 10 до 50000
Пределы допускаемой относительной погрешности эквивалентной МОД, % — от 10 до 10 000 м; — от 10000 до 50 000 м;	$\pm 10$ $\pm 20$
Электрическое питание от источника переменного тока: — напряжение, В — частота, Гц	115/220 $\pm 20$ % 55 $\pm 10$ %

*FD 12/FD 12P* работают непрерывно, сообщения о проведенных измерениях передаются с помощью последовательных интерфейсов *RS-232*, *RS-485* с определенной дискретностью или по запросу. При использовании модемов нефелометры *FD 12/FD 12P* могут быть удалены от обслуживающего терминала на расстояние до 10 км.

**Измеритель метеорологической оптической дальности видимости *ФИ-3*** (рис. 2.8) представляет собой трансмиссометр и предназначен для непрерывного дистанционного измерения и регистрации светового коэффициента направленного пропускания (СКНП) атмосферы в месте установки и по его значению для вычисления МОД. *ФИ-3* включает в себя излучатель, два приемника (один совмещен с излучателем световых импульсов, а другой — с отражателем). Такая конструкция обеспечивает расширенный диапазон измерения МОД.

Принцип действия ФИ-3 основан на измерении степени ослабления интенсивности световых импульсов после их прохождения через слой атмосферы. В качестве источника света используется полупроводниковый светодиод, а в качестве приемников — кремниевые фотодиоды. Зондирующие импульсы пропускаются через слой атмосферы только в направлении от излучателя к приемнику (режим «ОБ» МДВ до 400 м). При значениях МДВ свыше 400 м зондирующие импульсы пропускаются как в прямом, так и в обратном направлениях и воспринимаются другим приемником, совмещенным с излучателем (режим ОД, «Дальний»). Преобразователи преобразуют поступающие на вход приемников световые импульсы в электрические сигналы для их дальнейшего измерения, обработки, отображения, регистрации, кодирования и распространения по метеорологической сети.

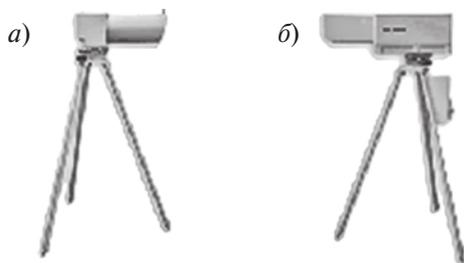


Рис. 2.8. Измеритель метеорологической оптической дальности видимости ФИ-3: *а* — излучатель; *б* — приемник

Выходные сигналы ФИ-3, соответствующие измеренным значениям СКНП, подаются на блок индикации (БИ), который может быть удален от фотометрического блока на расстояние до 8 км. ФИ-3 выпускаются с измерительными базами 50; 70; 100 м. Технические характеристики ФИ-3 и диапазоны измерений приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7 (начало)

**Технические характеристики и диапазон измерения ФИ-3**

Характеристика	Параметры
Диапазон измерений СКНП ( $\tau$ ), %	от 0,1 до 100
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений СКНП, %:	
– от 0,1 до 10,0 %	$\pm (0,4 + 0,06\tau)$ ,
– от 10 до 50 %	$\pm 1,0$
– от 50 до 100 %	$\pm 1,2$
Диапазон определения МДВ, м:	
– при измерительной базе 50 м	от 30 до 4000

Характеристика	Параметры
– при измерительной базе 70 м – при измерительной базе 100 м	от 40 до 6000 от 60 до 8000
Пределы допускаемой относительной погрешности определения МДВ, %: – в диапазоне менее 200 м – в диапазоне свыше 200 до 400 м – в диапазоне свыше 400 до 1500 м – в диапазоне свыше 1500 до 3000 м – в диапазоне свыше 3000 до 8000 м	$\pm 1,5$ $\pm 10$ $\pm 7$ $\pm 10$ $\pm 20$
Напряжение питания сети однофазного тока: – напряжение, В – частота, Гц	от 187 до 242 $50 \pm 2,5$

**Осадкомер *RG 13/RG 13H*** (рис. 2.9) предназначен для измерений количества выпавших жидких и твердых атмосферных осадков и передачи полученных данных по линиям связи на регистрирующее устройство или ПК. Осадкомер *RG 13/RG 13H* может работать как автономно, так и в составе автоматизированных метеорологических станций.

Принцип действия осадкомера *RG 13/RG 13H* основан на регистрации числа опрокидываний лоточного механизма, в который из воронки попадают осадки. При заполнении лоточный механизм опрокидывается и замыкает контакт (геркон). Образующийся при этом электрический сигнал поступает по линиям связи на регистрирующее устройство или ПК. Каждое опрокидывание фиксирует определенное количество (0,2 мм) осадков. Осадкомер *RG 13* предназначен для измерений количества выпавших жидких атмосферных осадков. Осадкомер *RG 13H* — для измерений количества выпавших жидких и твердых атмосферных осадков (снег, лед), которые растапливаются с помощью специального обогрева (включается автоматически при достижении температуры воздуха 4 °С). Осадкомер *RG 13/RG 13H* работает круглосуточно, сообщения о метеорологических параметрах передает непрерывно или по запросу, имеет последовательный интерфейс RS-232. Дистанция подключения *RG 13/RG 13H* при использовании модемов от 0,3 до 10 км. Технические характеристики осадкомера *RG 13/RG 13H* и диапазоны измерений приведены в табл. 2.8.

Рис. 2.9. Осадкомер *RG 13*

Технические характеристики и диапазон измерения осадкомера *RG 13/RG 13H*

Характеристика	Параметры
Диапазон измерения количества осадков (М), мм	от 0,2 до 9999
Пределы допускаемой относительной погрешности, %	$\pm(0,5+0,2/M)$
Площадь приемного отверстия, см <sup>2</sup>	400
Напряжение питания переменного тока, В	48

## 2.2. Автоматическая аэродромная метеорологическая станция «Авиа-1»

Комплекс АМС «Авиа-1» в зависимости от комплекта поставки и конфигурации подключения может использоваться в составе автоматизированной метеорологической аэродромной станции для оснащения аэродромов, оборудованных по I, II, III категориям. Выполняемые функции комплекса распределены между отдельными территориально рассредоточенными устройствами. Обмен информацией между функциональными частями комплекса — автоматизированными рабочими местами (АРМН, АРМС и ПД) — осуществляется информационными кодированными сообщениями по асинхронному последовательному каналу *RS-232*. Система предназначена для автоматического измерения и обработки метеорологических величин: скорости и направления ветра, метеорологической дальности видимости (МДВ), высоты нижней границы облаков, атмосферного давления, температуры и относительной влажности воздуха; отображения результатов измерения метеорологических величин и метеорологической информации; архивирования и вывода на печать метеорологической информации. По результатам измерения осуществляется формирование регулярных специальных метеосводок в кодах *METAR-SPECI, KH-01 (SYNOP)*.

В состав станции входят следующие измерители метеорологических величин:

- анеморумбометр М63М-1, МАРК 60.1;
- наземный измеритель высоты нижней границы облаков ИВО-1М с дистанционной приставкой ДВ-1М;
- лазерный измеритель высоты облаков ЛВВХ-1;
- измеритель атмосферного давления цифровой БАР;
- измеритель температуры и относительной влажности воздуха «Измеритель ТВ»;
- измеритель количества осадков ВОА-1.

Комплекс «Авиа-1» включает в себя: центральное устройство — автоматизированное рабочее место наблюдателя; автоматизированное рабочее место синоптика и погодный дисплей (до 10 шт.). Передача

метеоинформации с центрального устройства на автоматизированное место синоптика и погодный дисплей производится по модемным линиям связи автоматически, передача метеосводок на узел связи авиационной метеорологической станции выполняется по команде оператора. Срок службы станции (без учета срока службы измерителей) — не менее 10 лет.

Центральное устройство (АРМН) преобразовывает аналоговые сигналы, поступающие от первичных преобразователей метеовеличин (ФИ-1, ИВО-1М, М63М-1) в значения метеовеличин. Цифровые электрические сигналы от первичных измерительных преобразователей (ЛВВХ-1, МАРК 60.1, БАР, Измеритель ТВ) поступают в центральное устройство через модемы и расширитель портов.

В центральном устройстве производятся вычисления средних, максимальных, приведенных и т.д. значений метеовеличин и формируются регулярные и специальные метеосводки. Текущая метеоинформация отображается на видеомониторе. ЦУ формирует журнал работы станции и отправленных метеосводок, архивный файл значений метеовеличин, производит вывод метеоинформации на принтер. Передача метеоинформации с центрального устройства на АРМС и ПД производится по модемным линиям связи автоматически, передача метеосводок на узел связи авиационной метеорологической станции выполняется по команде оператора. Отображение метеоинформации на видеомониторах АРМС и ПД реализуется программными средствами этих устройств.

В качестве программного обеспечения комплекса «Авиа-1» используются программы АРМН (ПП АРМН) и «Резерв». Программа АРМН предназначена для управления средствами измерений метеорологических величин, автоматического сбора и представления результатов измерений оператору в заданном виде (метеорологические наблюдения), формирования и архивирования метеорологической информации, диагностики средств измерений. Программа «Резерв» обеспечивает резервное копирование метеоинформации на резервной ПЭВМ.

ПП АРМН обеспечивает:

- автоматический сбор значений метеорологических величин со средств измерений;
- обработку данных по результатам измерений;
- отображение значений метеовеличин на экране;
- управление измерителями и контроль их работоспособности;
- ручной ввод значений метеорологических величин визуального наблюдения (рис. 2.10) и измеряемых метеовеличин, в случае неработоспособности измерителей;
- автоматическое генерирование и ручное редактирование метеосводок в кодах *METAR*, *SPECI*, *SPECI(M)*, *SYNOP* (КН-01);
- передачу метеосводок для отображения их на экранах и на узел связи;

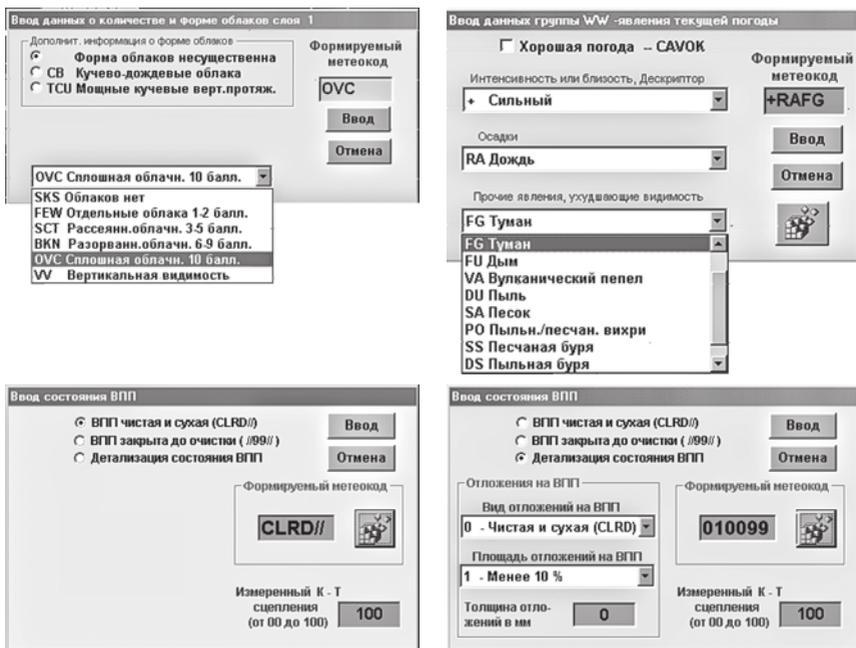


Рис. 2.10. Диалоговые окна для формирования кодов данных визуального наблюдения

- ручной ввод дополнительных сообщений и передачу их для отображения на экранах;
- архивирование метеоинформации на жестком диске ПЭВМ АРМН и вывод графиков (рис. 2.11);

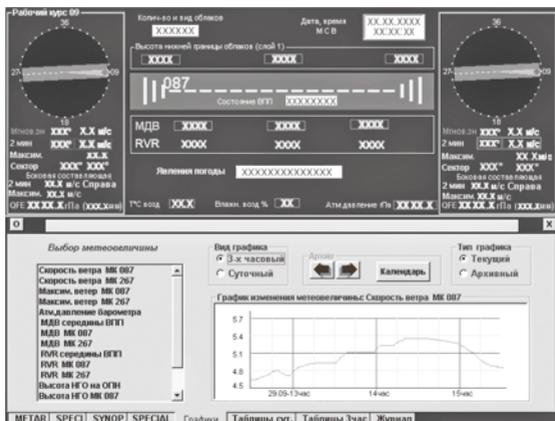


Рис. 2.11. Информационное окно АРМН, страница «Графики»

- ведение журнала работы комплекса;
- синхронизацию текущего времени рабочих мест комплекса «Авиа-1».

## Первичные преобразователи метеовеличин

**Анеморумбометр МАРК 60.1** (рис. 2.12) предназначен для измерения скорости и направления ветра в горизонтальной плоскости на высотах до 500 м над уровнем моря. Периодичность измерений скорости и направления ветра — не более 3 с. Принцип действия МАРК 60.1 основан на преобразовании скорости и направления ветра в частоту и фазу электрических сигналов и измерения их цифровым методом. Первичным преобразователем скорости ветра является чашечный анемометр (оптический диск). В качестве первичного преобразователя направления ветра используется флюгер (оптический кодовый диск). Основные технические характеристики МАРК 60.1 и диапазоны измерения указаны в табл. 2.9.



Рис. 2.12. Анеморумбометр МАРК 60.1

Таблица 2.9

Диапазон измерений и технические характеристики МАРК 60.1

Характеристика	Параметры
Диапазон измерения скорости ветра	от 1,2 до 60 м/с
Порог скорости ветра	не более 1,2 м/с
Абсолютная погрешность при измерении скорости ветра	$\pm(0,5 + 0,05v)$ м/с
Диапазон измерения направления ветра	от 1 до 360°
Абсолютная погрешность при измерении направления ветра	$\pm 3^\circ$
Разрешающая способность по направлению ветра	1°
Рабочий диапазон температур:	от -40 до +40 °С
Интерфейс подключения	модем V.21

**Измеритель высоты облачности ЛВВХ-1** предназначен для измерения в автоматическом режиме высоты нижней границы облаков и вертикальной видимости ( $h$ ). Принцип работы ЛВВХ-1 основан на определении дальности по отраженному световому сигналу. В качестве источника света используется импульсный лазерный диод типа *InGaAs*, излучающий в инфракрасном диапазоне (длина волны излучения 0,9 мкм). Использование лазерного диода обусловлено высокой эффективностью преобразования электрической энергии в оптическую, его миниатюрностью, гибкостью технологии при их производстве, экономичностью

и надежностью. Периодичность измерений задается при настройке в диапазоне от 30 до 180 с. Диапазон измерений и технические характеристики ЛВВХ-1 представлены в табл. 2.10.

*Таблица 2.10*

**Диапазон измерений и технические характеристики ЛВВХ-1**

Характеристика	Параметры
Диапазон измерения	15–7500 м
Размерность выходной информации	м
Разрешающая способность	не более 15 м
Абсолютная погрешность	$\pm(0,02H + 7,5)$ м
Рабочий диапазон температур	от $-40$ до $+50$ °С

Работа и контроль измерителя высоты облачности ЛВВХ-1 осуществляется с помощью центрального компьютера комплекса. Для связи с ПЭВМ или другими внешними устройствами используется модем 1200 (BELL 202).

**Цифровой измеритель атмосферного давления БАР** (рис. 2.13) предназначен для измерения атмосферного давления при учете расхода газа или пара с периодичностью измерений не более 1 мин. Может использоваться как автономное устройство, так и в составе автоматизированных гидрометеорологических систем сбора информации, автоматизированных систем управления транспортированием и распределением газа и т.п. Технические характеристики измерителя атмосферного давления БАР и его диапазон измерения приведены в табл. 2.11.



Рис. 2.13. Цифровой измеритель атмосферного давления БАР

Цифровой измеритель атмосферного давления БАР представляет собой микропроцессорное устройство, оснащенное 5-разрядным жидкокристаллическим индикатором. Принцип измерения атмосферного давления заключается в преобразовании выходного сигнала интегрального датчика абсолютного давления в цифровой код, его температурной

компенсации и нормировании. Для увеличения надежности в измерителе используются 2 датчика абсолютного давления. Уменьшение температурной составляющей погрешности достигается термостатированием датчиков. В измерителе предусмотрено демпфирование резких колебаний давления воздуха. Программно-аппаратные средства измерителя обеспечивают его устойчивую работу в условиях воздействия помех по питанию. Для связи с ПЭВМ или другими внешними устройствами используется интерфейс RS-232.

Таблица 2.11

**Технические характеристики измерителя атмосферного давления БАР**

Характеристика	Параметры
Диапазон измерения	650...1080 гПа
Размерность выходной информации	гПа, мм рт. ст.
Разрешающая способность	0,01 гПа (0,01 мм рт. ст.)
Абсолютная погрешность	$\pm 0,4$ гПа ( $\pm 0,3$ мм рт. ст.)
Рабочий диапазон температур	+5...+40 °С
Электропитание (напряжение переменного тока или аккумулятор)	$\sim (220 \pm 20)$ В, 12 В пост. тока
Потребляемая мощность	не более 10 В·А

*Измеритель температуры и относительной влажности воздуха «Измеритель ТВ»* представляет собой программно-технический многоканальный комплекс, предназначенный для измерения метеорологических параметров метеорологических величин в автоматическом режиме. Размещается на метеомачте и передает результаты измерения по модему в систему сбора данных.

Измерение температуры основано на зависимости электрического сопротивления чувствительного элемента датчика (платинового термомпреобразователя *Pt 100*) от температуры. Измерение относительной влажности — на зависимости значения электрической емкости чувствительного элемента датчика от относительной влажности воздуха. В качестве влапочувствительного элемента используется *Humicap*. Периодичность измерений — не более 1 мин. В состав измерителя температуры и относительной влажности воздуха «Измеритель ТВ» входят:

- датчик температуры и относительной влажности воздуха типа *HMP35D* фирмы *Vaisala* (рис. 2.14);



Рис. 2.14. Датчик температуры и относительной влажности воздуха *HMP35D*

- климзащита;
- устройство грозозащиты;
- контроллер сбора и обработки информации;
- модем.

Есть возможность подключения датчиков температуры поверхностного слоя почвы и грунта, гелиометра, количества жидких и твердых осадков. Технические характеристики измерителя температуры и относительной влажности воздуха «Измеритель ТВ» и диапазоны измерений приведены в табл. 2.12. Для связи с ПЭВМ используется протокол обмена *Bell 202*.

Таблица 2.12

**Технические характеристики измерителя температуры и относительной влажности воздуха «Измеритель ТВ»**

Характеристика	Параметры
Диапазон измерения температуры воздуха, °С	от -40 до +50 ( $\pm 0,1$ )
Диапазон измерения относительной влажности воздуха, %	от 10 до 100 ( $\pm 3,0$ )
Дополнительная абсолютная погрешность измерения относительной влажности воздуха, вызванная изменением температуры окружающего воздуха от -30 до +50 °С на каждые 10 °С, %	$\pm 0,6$
Электропитание — напряжение переменного тока, частота	220 (+10 % -15 %) В, 50 Гц

*Измеритель количества осадков ВОА-1* (рис. 2.15) предназначен для измерения количества жидких и твердых осадков, а также интенсивности жидких осадков в автоматическом режиме, что позволяет получать и по необходимости передавать на ПК информацию о количестве и интенсивности осадков.



Рис. 2.15. Измеритель количества осадков ВОА-1

В состав измерителя входят следующие блоки:

- блок измерения осадков (БИО);
- блок обработки, архивации и индикации (БОАИ);
- блок питания (БП).

Измеритель может работать как в автономном режиме, так и в составе автоматизированных гидрометеорологических станций. Технические характеристики измерителя количества осадков ВОА-1 и диапазоны измерений приведены в табл. 2.13.

*Таблица 2.13*

**Технические характеристики измерителя количества осадков ВОА-1**

Характеристика	Параметры
Диаметр приемного отверстия коллектора	159,6 ( $\pm 0,1$ ) мм
Площадь приемной поверхности коллектора	200 ( $\pm 0,3$ ) см <sup>2</sup>
Диапазон измерений интенсивности жидких осадков	от 0,01 до 30 мм/мин

Измеритель имеет возможность подключения к ПК по интерфейсу RS-232. Питание осуществляется от сети переменного тока (от 187 до 242 В) с частотой 50 ( $\pm 1$ ) Гц. Питание блока БИО, в случаях отдельной поставки, осуществляется от сети постоянного тока напряжением ( $\pm 5$ ) В. Максимальная потребляемая мощность блока БИО с подогревом — 60 Вт, без подогрева — 5 Вт.

### **3. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ДОРОЖНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ (АДМС)**

#### **3.1. Автоматические автодорожные метеорологические станции**

Автодороги являются важнейшей частью инфраструктуры, способствующей экономическому росту, решению социальных задач и обеспечению национальной безопасности. Скоростные автомагистрали составляют порядка 5,2 % от общей протяженности автодорог страны. Однако на них приходится практически половина всей транспортной нагрузки грузооборота и пассажирооборота, в том числе почти 100 % международных грузовых перевозок.

Наряду с быстрым ростом объема транспортных перевозок все более серьезной становится проблема безопасности. Опасные явления погоды являются одной из основных причин дорожно-транспортных происшествий. К числу последних относятся продолжительные снегопады и сильный мороз, гололед, снежные заносы, сход снежных лавин, сильные ливни и наводнения, селевые потоки, сильный ветер, песчаные и пыльные бури. Серьезную проблему для скоростных магистралей представляет недостаточная видимость, особенно при возникновении сильных туманов. Их появление на скоростных автострадах может явиться причиной столкновения десятков и даже сотен автомобилей.

Автомобильные дороги являются сложными инженерно-техническими сооружениями, к потребительским и эксплуатационным свойствам которых предъявляются высокие требования. Наиболее сложным для участников движения и службы содержания дорог является зимний период, когда под воздействием неблагоприятных погодных-климатических факторов изменяются дальность видимости, сцепные качества покрытий, а также состояние инженерного оборудования и обустройства.

Уровень транспортно-эксплуатационного состояния автодорог в значительной мере зависит от качества организации и проведения дорожных работ. Одной из важнейших задач дорожных служб является сохранение существующей дорожной сети и улучшение уровня ее содержания, поддержание требуемого уровня комфортности и безопасности дорожного движения. Эти обстоятельства обуславливают создание и использование автоматизированной системы оперативного управления дорожным хозяйством, использующей современные информационные технологии для эффективной организации дорожных работ по зимнему и летнему

содержанию, а также по ремонту дорог. Производственно-технологическая деятельность дорожных организаций и органов управления осложняется тем, что на объекты управления непрерывно воздействуют различные дестабилизирующие факторы, вызывая изменение их состояния. В число этих факторов, прежде всего, входят гидрометеорологические условия. Гидрометеорологические явления приводят к увеличению времени пребывания транспорта в пути следования, снижению качества дорожных работ, а в отдельных случаях создают угрозу безопасности дорожного движения. Для эффективной организации и качественного выполнения данных работ необходима информация о текущих и прогнозируемых погодных условиях на обслуживаемых и ремонтируемых участках автодорог. Предоставляемая Росгидрометом информация не в полной мере удовлетворяет требованиям дорожного хозяйства. В число таких требований прежде всего входят:

- высокая точность привязки гидрометеорологических параметров к координатам или автодорогам;
- высокая периодичность измерений, обусловленная динамикой изменения состояния участков дорог и объектов управления при воздействии гидрометеорологических факторов и транспортных потоков;
- оперативный контроль состояния поверхности дорог (обнаружение гололеда, черного льда, снега и т.п. на поверхности дороги);
- прогноз появления и характеристик скользкости на поверхности дороги.

Указанные выше другие особенности приводят к необходимости детального специализированного метеоконтроля и прогнозирования обслуживаемых участков автодорог и искусственных сооружений. Это, в свою очередь, вызывает необходимость дополнения автоматизированных систем организационного управления (АСОУ) соответствующими техническими средствами: автоматическими дорожными метеостанциями, датчиками контроля состояния дорожных объектов и технологических процессов и т.д. Следовательно, для формирования управленческих процессов и поддержания требуемого состояния сети федеральных автодорог в сложных погодных условиях необходимо внедрить автоматизированную систему метеорологического обеспечения (АСМО): многоуровневую организационно-техническую систему, обеспечивающую сбор, передачу, анализ и предоставление дорожным службам и потребителям дорог оперативных данных о состоянии окружающей природной среды и дорожных объектов, расчет, составление и предоставление гидрометеорологических прогнозов различных видов и различной заблаговременности.

Основными задачами дорожного метеорологического обеспечения являются:

- мониторинг климатических условий вдоль автодороги;
- сбор данных о метеоусловиях и состоянии дорожного полотна;
- выявление критических метеоусловий (лед, снег, сильный дождь, туман, дым, сильные порывы ветра);
- автоматическое предупреждение о метеоусловиях и состоянии дорожного полотна служб организации дорожного движения и дорожных служб;
- незамедлительное информирование водителей посредством информационных табло, знаков ограничения скорости и других предупреждающих знаков об ухудшении погодных условий, наступления опасных явлений погоды, появления гололеда и других факторов, снижающих сцепление колес с дорогой.

Для решения всех этих задач автоматические дорожные метеорологические станции оснащены измерительной аппаратурой, частично повторяющей состав автоматических метеорологических станций общего назначения и аэродромных метеорологических станций, а также специализированным программным обеспечением, учитывающим специфику использования получаемой ими метеорологической информации. Большинство современных автоматических дорожных метеорологических станций оборудованы системами видеонаблюдения, позволяющими визуально контролировать погодные условия, состояние дорожного полотна, интенсивность дорожного движения. Это может быть мозаика видеоинформации с различных участков автомобильной трассы, получаемая с нескольких камер видеонаблюдения, в том числе и тех, которые входят в состав автоматических дорожных метеорологических станций (рис. 3.1).

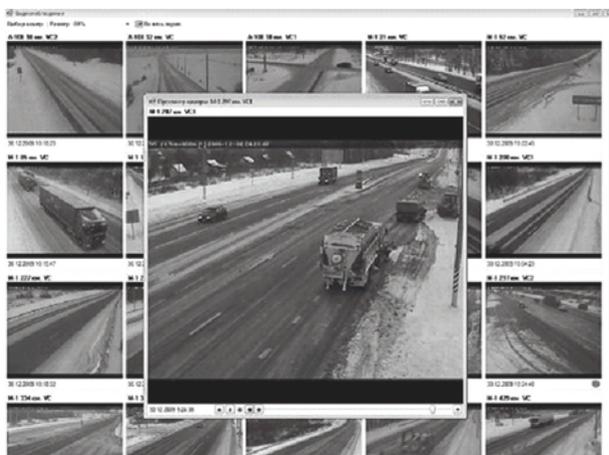


Рис. 3.1. Мозаика видеоинформации с различных участков автомобильной трассы

Системы метеообеспечения скоростных автомагистралей снабжают различных потребителей информацией о текущих и прогнозируемых метеорологических условиях на автодорогах. Она предназначена для обеспечения оперативного управления транспортно-эксплуатационным состоянием автомобильных дорог и производственно-технологической деятельностью подрядных организаций в повседневных и чрезвычайных ситуациях, а также для обеспечения безопасности дорожного движения. На автоматизированную систему оперативного управления, в том числе, возлагаются функции по автоматизации основных процессов гидрометеорологического обеспечения. На рис. 3.2 представлен пример комбинированного представления фактической информации о состоянии дорожного полотна на различных участках трассы: фактическое состояние дорожного полотна (см. рис. 3.2, а), графическая схема прогноза изменения погодных условий и состояния дорожного полотна (см. рис. 3.2, б) и схематическое представление погодных и дорожных условий (см. рис. 3.2, в).

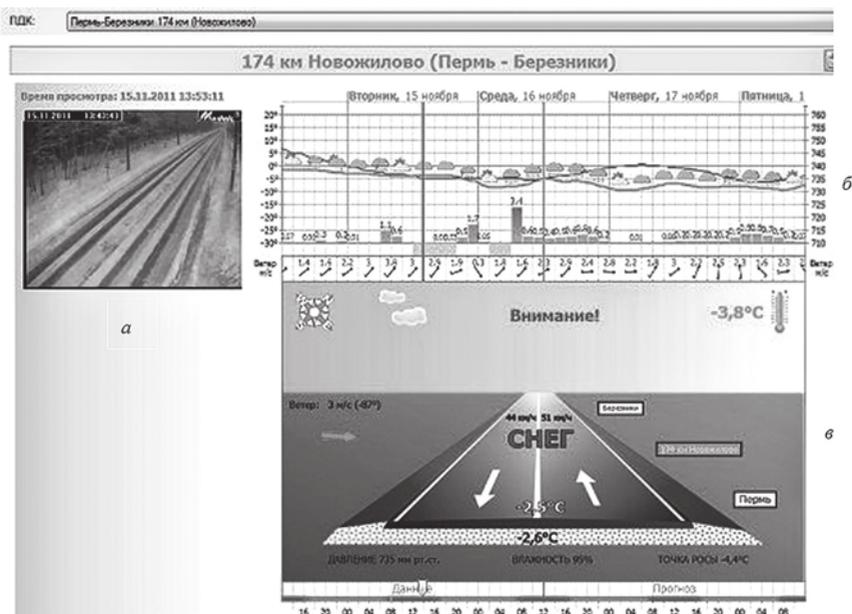


Рис. 3.2. Комплексное представление дорожной информации на автомобильной трассе Пермь – Березники:

- а — визуализация фактического состояния дорожного полотна на 174 км трассы;
- б — графическая схема прогноза изменения погодных условий и состояния дорожного полотна за период с 15.11.2011 г. по 18.11.2011 г. (температура, ветер, давление, облачность, высота снежного покрова);
- в — схематическое представление погодных и дорожных условий

Зарубежные системы метеообеспечения автомобильных дорог достаточно развиты, а разработка и производство аналогичных отечественных систем, имеющих существенно меньшую стоимость, в значительной мере до настоящего времени сдерживаются отсутствием спроса. Так, за последние десять лет в России установлено всего около 90 метео-постов, в то время как в Швеции за этот период создана система, состоящая из 700 метеостанций, в Финляндии установлено около 1000 метеостанций, а в США — свыше 1500. Практически все метеостанции комплектуются видеокамерами. Метеорологическая служба в Швейцарии также идет по пути формирования специальных подразделений, обслуживающих зимнее содержание дорог.

Автодорожные службы многих зарубежных стран (Норвегии, Канады и др.) также имеют системы метеообеспечения, использующие современные информационные технологии и оборудование. При этом информация от отдельных метеорологических дорожных систем объединена в единые диспетчерские центры, что существенно повышает эффективность использования всей имеющейся информации для управления дорожным движением в сложных метеорологических условиях.

Также заметим, что в ряде Скандинавских стран, где развито велосипедное движение, подобные метеорологические станции помогают обеспечивать и безопасность передвижения на велосипедах.

АДМС при необходимости могут быть укомплектованы датчиками для измерения экологических параметров, уровня воды, уровня загазованности воздуха, что поможет в экологическом контроле состояния окружающей среды (рис. 3.3).

В настоящее время все шире используются системы дорожного метеообеспечения нового поколения, в которых используются новейшие технологии:

- специализированные дорожные прогнозы и рекомендации;
- «виртуальные» метеопосты;
- термокартирование;
- интеграция различных видов метеоинформации;
- интеллектуальные видеокамеры;
- бесконтактный контроль состояния дорожного полотна.



Рис. 3.3. Внешний вид АДМС

### 3.2. Автоматическая автодорожная метеорологическая станция «Vaisala ROSA»

Дорожная метеорологическая станция на базе АДМС «Vaisala ROSA» (рис. 3.4) является комплексным решением для дистанционного мониторинга погодных условий и состояния поверхности на дорогах. Она собирает данные в реальном времени и является незаменимым инструментом по обеспечению безопасности дорожного движения на автодорогах, а также планированию и исполнению работ по их содержанию в нормативном эксплуатационном состоянии. АДМС осуществляет измерение метеорологических параметров, указанных в табл. 3.1–3.3.



Рис. 3.4. Дорожная метеостанция ROSA

При необходимости АДМС, при условии установки дополнительных датчиков, позволяет проводить мониторинг по параметрам состояния дорожной поверхности и дорожной обстановки, указанным в табл. 3.3.

Таблица 3.1

Атмосферные параметры измеряемой и передаваемой АДМС информации

№ п/п	Измеряемый параметр	Диапазон измерений	Точность измерений
1	Температура окружающей среды	-40...+60 °С	+0,2 °С (-20...+50 °С), +0,5 °С в остальном диапазоне
2	Относительная влажность	0,8...100 %	+2 %
3	Интенсивность дождя	0...200 мм/ч (чем больше диапазон, тем меньше точность)	0,1 мм/ч
	Интенсивность снега		0,05 мм/ч или меньше, в течение 10 мин
4	Вид осадков	Дождь, смешанный дождь/снег, снег, интенсивность и количество	
5	Атмосферное давление	500...1200 гПа	+0,3 гПа
6	Направление ветра	0...359,9°	+3°
7	Скорость ветра	0...60 м/с	+0,3 м/с или +3 % (0...35 м/с) ± 5 % (в диапазоне 35...60 м/с)

Таблица 3.2

## Измеряемые и передаваемые АДМС параметры состояния поверхности дороги

№ п/п	Измеряемый параметр	Диапазон измерений	Точность измерений
1	Состояние дорожного покрытия	сухая, влажная, влажная с хим. веществами, мокрая, мокрая с хим. веществами, лед, иней, снег	
2	Температура на поверхности дорожного покрытия и на глубине 5 и 30 см	-40...+60 °С	+0,2 °С (-10...+10 °С), +0,5 °С в остальном диапазоне
3	Толщина водной пленки на поверхности дорожного покрытия	0...8 мм	+0,1 мм +20 % от измеряемой величины
4	Температура замерзания для различных противогололедных реагентов	-20...0 °С	+1 °С для $t > -10$ °С
	Рекомендации по концентрации противогололедных реагентов	Суммарный расход (г/м <sup>2</sup> ), концентрация (г/л)	
	Черный лед	да/нет	
	Предупреждения: – тревога по льду – предупреждение по льду – предупреждение по инею – предупреждение по дождю	да/нет	

Таблица 3.3

## Измеряемые и передаваемые АДМС дополнительные параметры состояния поверхности дороги

№ п/п	Измеряемый параметр	Диапазон измерений	Точность измерений
1	Степень сцепления	0,01...1,1 ед.	0,01 ед.
2	Толщина снега	0...10 мм	0,01 мм
3	Толщина льда	0...2 мм	0,01 мм
4	Дальность видимости	10...2000 м	± 20 %

Автоматическая дорожная метеорологическая станция может работать как часть «Системы предупреждения и прогнозирования»: «*Vaisala IceCast*». «*IceCast*» предоставляет краткосрочные прогнозы погоды и прогнозы на 24 ч по льду и снегу.

Коммуникационные возможности автоматической дорожной метеорологической станции включают различного рода модемы, выделенные линии, *ВОЛС*, *GSM*, *GPRS*. Используются интерфейсы *RS-232*, *RS-485*. Потребляя мало энергии, АДМС *ROSA* может работать от сети или от солнечной энергии. Комплектуется аккумулятором резервного

электропитания. Ниже приведено описание элементов, входящих в состав дорожной метеорологической станции.

*Метеомачта* (опора) представляет собой металлическую конструкцию, жестко закрепленную на основании, служащую для размещения и ориентации в пространстве метеодатчиков. На ней размещается аппаратный шкаф и система электроснабжения.

*Аппаратурный шкаф* (рис. 3.5) представляет собой металлическую коробчатую конструкцию в защищенном уличном исполнении, служит для размещения программируемых контроллеров съема информации с метеодатчиков, преобразователей и защиты питания, интерфейсной платы, оборудования коммутации и связи, системы термостатирования.

*Интерфейсная плата DRI521/DRI511* содержит все пакеты прикладных программ, необходимые для измерения, реализации алгоритмов и других процедур, осуществляющих полный анализ состояния поверхности дорожного покрытия. Обеспечивает подключение метеорологических датчиков, позволяющих обслуживающему персоналу получать информацию о метеорологических условиях окружающей среды и состоянии дорожной поверхности (рис. 3.6).



Рис. 3.5. Аппаратурный шкаф



Рис. 3.6. Интерфейсная плата

### 3.3. Метеорологические датчики

АДМС «*Vaisala ROSA*» производит измерения следующих метеорологических параметров:

- атмосферное давление;
- относительная влажность;
- осадки;
- температура;
- скорость и направление ветра.

Ниже приведен рисунок к каждому из перечисленных датчиков.

Система измерения параметров ветра *WA 15*, цифровой барометр *РТВ 110*, датчик температуры почвы *DTS 12G3* (см. подраздел 1.1.2).

**Датчик температуры и влажности *HMP 155*** («*Vaisala HUMICAP*») (рис. 3.7), выполненный в виде зонда, обеспечивает высокий уровень надежности измерения влажности и температуры. Зонд оборудован фильтром с тефлоновым покрытием, защищающим сенсор от воды, пыли и загрязнений.



Рис. 3.7. Датчик температуры и влажности *HMP 155*

Для измерения температуры используется зависимость сопротивления платинового преобразователя *Pt 100* от температуры. Для измерения влажности используется датчик емкостного типа, оборудованный встроенным обогревом для предотвращения конденсации влаги на приборе. Технические характеристики *HMP 155* и диапазоны измерений приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4  
**Технические характеристики и диапазон измерения *HMP 155***

Диапазон измерения температуры воздуха, °С	от -69 до +60 ( $\pm 0,2$ )
Диапазон абсолютной погрешности измерений температуры воздуха, °С:	
– при температурах от -69 до 20 °С;	$\pm(0,176 - 0,0028t)$
– при температурах от 20 до 60 °С	$\pm(0,07 + 0,0025t)$
Диапазон измерения относительной влажности воздуха, %	от 0,8 до 100
Диапазон абсолютной погрешности измерений относительной влажности воздуха, %:	
– от 0,8 до 90 %;	$\pm 1$
– от 90 до 100 %	от $\pm 1,7$

Для защиты от прямого и рассеянного солнечного излучения и осадков *HMP 155* устанавливается в радиационно-защитных кожухах *DTR 503*, *DTR 13* или в метеорологической будке Стивенсона.

**Датчик осадков *DRD 11A*** фирмы *Vaisala* (рис. 3.8) производит измерения интенсивности осадков и определяет их вид (дождь/снег).

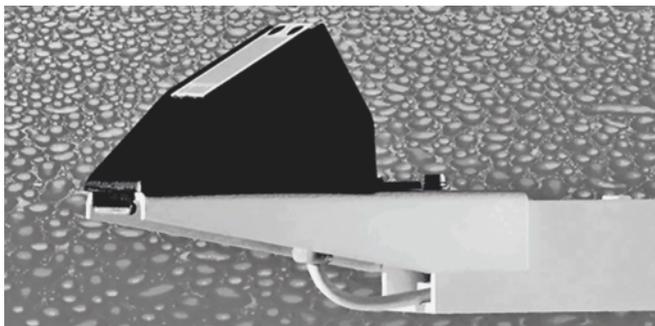


Рис. 3.8. Датчик осадков *DRD 11A*

В основу работы датчика положен емкостный принцип измерения с использованием сенсорной пластины *RainCap*. *DRD 11A* работает на основе определения капель, а не порога уровня сигнала. Датчик оборудован специальной схемой задержки, которая позволяет в двухминутном интервале между каплями судить о прекращении осадков (точно отличает прекращение дождя от небольшого дождя). Датчик дает аналоговый сигнал для оценки интенсивности осадков (слабая, умеренная, сильная). Приемная пластина *DRD 11A* расположена под углом  $30^\circ$  и оборудована внутренним нагревательным элементом, для предотвращения конденсации влаги и таяния снега (в зимний период при низких температурах) для определения наличия снежных осадков. Небольшие количества загрязнений не оказывают влияния на определение осадков. Из-за требований к энергии на обогрев, *DRD 11A* рекомендуется использовать только в системах, оборудованных питанием переменным током.

**Дорожные датчики.** На рис. 3.9 показано расположение дорожной АМС и шести датчиков, измеряющих температуру покрытия и фиксирующих ее состояние. Как правило, такой состав имеют системы раннего предупреждения и системы прогнозирования гололеда.

Работа дорожного датчика состояния дороги *DRS 50* (рис. 3.10) основана на измерении электрической проводимости, ионной поляризации, диэлектрических свойств и, кроме того, на использовании датчика температур для измерения температур на поверхности и в грунте. Датчик состояния дороги *DRS 50* включает четыре независимых чувствительных элемента, залитых эпоксидной смесью. Из них два датчика температуры измеряют температуру поверхности и грунта. Кроме этих датчиков имеются два модульных электрода из углеволокна. Один из этих электродов является компонентом для детектирования льда, а второй измеряет оба поверхностных сигнала, т.е. определяет проводимость и ионную поляризацию.

Датчик состояния дороги *DRS50* измеряет электрическую проводимость (*CS*) и электрохимическую поляризованность (*SS*) поверхности дороги или, точнее, водяного раствора, находящегося на ней. Электрохимическая поляризация является феноменом, который состоит в том, что электрический ток вызывает химические изменения в растворе, а эти изменения порождают напряжение, противодействующее исходному току. Электрическое сопротивление относится к сопротивлению, измеряемому датчиком дорожной поверхности. Эта величина близка к физическому сопротивлению, но не является в точности тем же самым. Подобным же образом величина поляризации (*SS*) не равняется в точности соответствующему физическому параметру, но специфична для датчика состояния

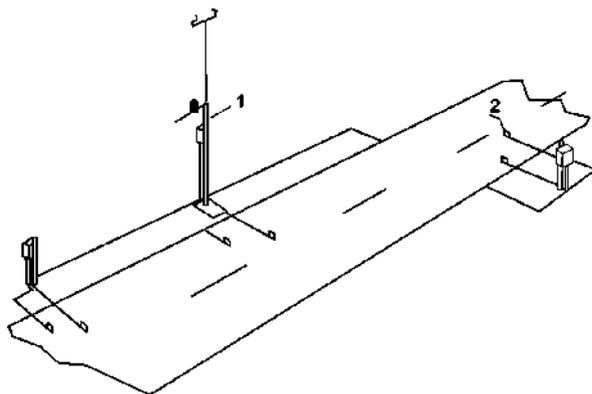


Рис. 3.9. Дорожная метеостанция с 6-ю датчиками:  
1 — автоматическая метеостанция (АМС); 2 — датчики, фиксирующие показатели состояния покрытия

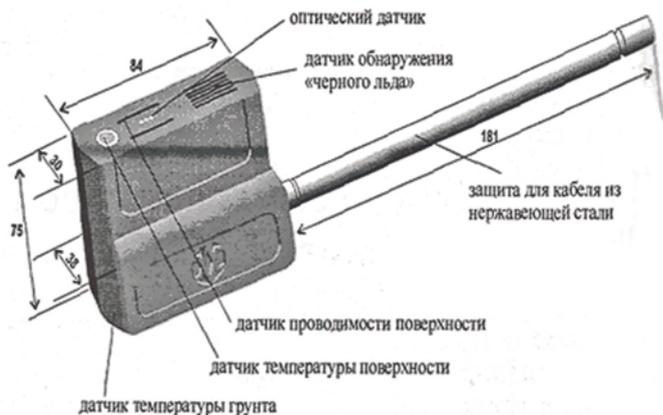


Рис. 3.10. Схема размещения сенсоров в дорожном датчике *DRS50*

поверхности дороги. Датчик *DRS50* осуществляет специальную процедуру измерения проводимости и поляризации, которая обеспечивает получение применимых значений параметров при всех условиях.

При применении таких солей, как хлористый натрий, растворенных в воде, большая их часть диссоциирует на ионы, представляющие собой атомы или группы атомов, имеющие положительный или отрицательный электрический заряд. Если все или почти все растворенные атомы диссоциируют, смесь становится сильным электролитом; если диссоциирует только относительно малая их часть, получается слабый электролит. Минеральные соли, такие как хлористый натрий и хлористый кальций, являются сильными электролитами, большинство органических солей, таких как ацетаты являются слабыми электролитами.

В водных растворах электрический ток передается ионами, которые в случае сильного электролита берутся из растворов. Когда ионы, несущие электрический заряд, прибывают к электродам, подающим в раствор или принимающим из него электрический ток, они не могут продолжать свое движение, но вместо этого отдают свой электрический заряд. Возникающие вследствие этого атомы обычно вступают в химические реакции сами с собой и с окружающими их атомами. Ионы и атомы образуют специфический слой, прилегающий к поверхности электродов, который влияет на электрический ток между электродами. Этот эффект называется электрохимической поляризацией. Это может быть сопоставлено с зарядом батареи и, по существу, это тот же самый процесс: ток используется для создания химических эффектов, которые приводят к повышению электрического напряжения.

Если свободно движущиеся носители зарядов отсутствуют, взаимодействие между веществом и электрическим полем определяется диэлектрическими свойствами вещества. Диэлектрические свойства используются для определения того, есть вода или лед на поверхности дорожного датчика *DRS50* или ее нет. Результат измерений диэлектрических свойств датчика *DRS50* выражается частотой, которая называется частотой темного льда. Диэлектрические измерения являются единственным методом, позволяющим определить возможное наличие непроводящего льда на поверхности дороги.

Дорожный датчик *DRS511* (рис. 3.11), встраиваемый в полотно дороги — это датчик для определения:

- состояния поверхности дорожного покрытия (сухое, влажное, мокрое, снег, гололед, «черный лед»);
- температуры поверхности дорожного покрытия;
- температуры почвы под дорожным покрытием;
- толщины слоя воды;
- измерения концентрации реагентов.



Рис. 3.11. Общий вид дорожного датчика *DRS511*

Состояние поверхности отображается в следующих градациях:

- сухо (поверхность сухая);
- влажно (поверхность влажная);
- мокро (поверхность мокрая);
- мокро плюс химикаты (поверхность мокрая и присутствует антиобледенительный реагент);
- иней (на поверхности присутствует иней);
- снег (снег идет или недавно выпал);
- лед (на поверхности лед);
- влажно плюс химикаты (поверхность влажная и присутствует антиобледенительный реагент).

Кроме уже перечисленных датчиков, дорожная станция может комплектоваться комбинацией дорожных датчиков (рис. 3.12): пассивный + активный. Это встраиваемый в дорожное полотно пассивный интеллектуальный дорожный датчик для определения состояния дорожного покрытия *IRS31-UMB* (см. рис. 3.12, *а*), а также встраиваемый в дорожное полотно активный интеллектуальный дорожный датчик для определения температуры замерзания реагентов *ARS31-UMB* (см. рис. 3.12, *б*).

**Датчик температуры почвы *DTS 12G3*** производит измерение температуры почвы под дорожным покрытием (рис. 3.13).

Современные системы мониторинга погодных условий и состояния поверхности дорог строятся на основе дистанционных бесконтактных датчиков, т.е. на датчиках, установка которых не связана с нарушением поверхности дорог во время их монтажа или в случае невозможности установки датчиков в дорожное полотно (например, на мостах, в туннелях и т.д.). Внешний вид датчика дистанционного определения температуры дороги и параметров состояния поверхности дороги *NIRS 31-UMB* изображен на рис. 3.14.

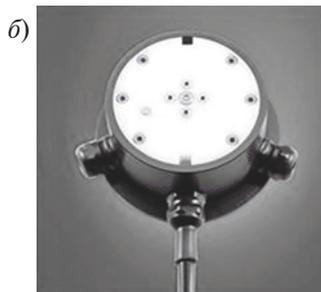
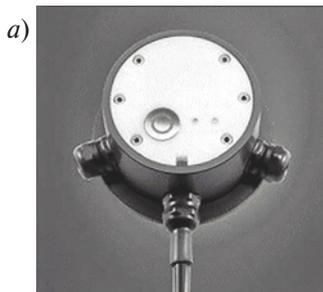


Рис. 3.12. Комбинация дорожных датчиков — пассивный + активный:  
 а — пассивный интеллектуальный дорожный датчик для определения состояния  
 дорожного покрытия *IRS 31-UMB*; б — активный интеллектуальный дорожный датчик  
 для определения температуры замерзания реагентов *ARS 31-UMB*



Рис. 3.13. Датчик температуры почвы  
*DTS12G3*



Рис. 3.14. Внешний вид датчика  
 дистанционного определения  
 температуры дороги и параметров  
 состояния поверхности дороги  
*NIRS 31-UMB*

На рис. 3.15 представлены датчик видимости *VS20* и датчик высоты  
 снежного покрова *8365.00*.

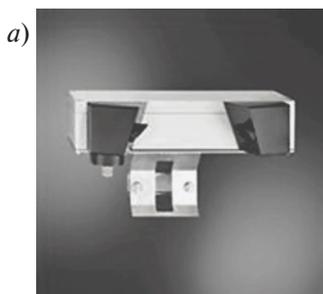


Рис. 3.15. Датчик видимости *VS20* (а)  
 и датчик высоты снежного покрова *8365.00* (б)

**Специальное программное обеспечение автоматизированной системы метеорологического обеспечения для автоматизированного рабочего места персонала дорожных служб предназначено для решения следующих задач.**

1. Автоматизированный сбор, обработка и хранение текущих метеоданных от автоматических дорожных метеорологических станций. На рис. 3.16 представлен пример представления текущих данных от сети дорожных метеорологических станций. Представлены данные об основных метеорологических величинах, а также данные о температуре и состоянии дорожного полотна и атмосферных осадках.

Название	Время	Твозд...	Влажн...	Тросы...	Тповерх...	Тазиме...	Состо...	Преду...	Химик...	Слой в...	Скоро...	Напра...	Сумм...	И...
Кировск	11:44	4.9	93	3.9							5.3	Ю3 211	0.0	
1	11:44				5.7	0.0	влаж		0	0				
2	11:44				6.1	0.0	влаж		0	0				
Разметелево	11:49	4.8	95	4.2							0.0	Ю 189	0.0	
1	11:49				4.7	0.0	вл+х		0	0				
2	11:49				4.6	0.0	влаж		0	0				
Рошино	11:03	3.0	100	3.0							1.5	Ю3 220	0.0	
1	11:03				4.3	0.0			0	0				
2	11:03				4.3	0.0			0	0				
Любань	11:47	5.1	99	5.0							2.0	Ю3 206	0.0	
1	11:47				0.0	0.0			0	0				
2	11:47				0.0	0.0			0	0				
Ульяновка	11:47	5.1	93	4.1							2.9	Ю3 218	0.0	
1	11:47				5.8	0.0	мокр		0	0				
2	11:47				5.0	0.0	влаж		0	0				
Выборг	10:08	3.5	99	3.4							0.0	С 0	7.9	
1	10:08				5.0	0.0	мокр		0	0				

Рис. 3.16. Текущие данные сети ДМС ROSA

2. Автоматизированный и ручной прием информации от региональных органов Росгидромета об опасных метеорологических явлениях (штормовые предупреждения и штормовые оповещения).

3. Автоматизированный и ручной прием, обработка и хранение текущей и прогнозной гидрометеорологической информации.

4. Автоматизированный сбор видеоданных с видеокамер (при их установке) с программно-изменяемой периодичностью опроса.

5. Прогнозирование метеорологического состояния дорожного покрытия на 4 ч в местах размещения АДМС. На рис. 3.17 представлена информация от двух датчиков, вмонтированных в дорожное полотно на 25 км автомобильной трассы (положение датчиков отмечено кружками на левой полосе движения). Система регистрирует наличие жидких

осадков интенсивностью 0,8 мм/ч и суммарное количество выпавших осадков, равное 1,9 мм. Выдается предупреждение о наличии влаги на дорожном полотне. При этом образование гололеда пока системой не прогнозируется.

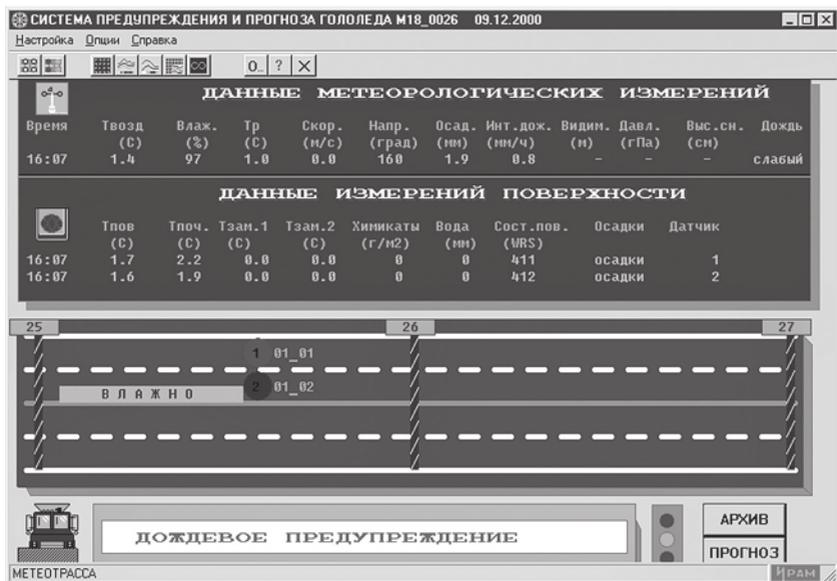


Рис. 3.17. Текущие данные о состоянии покрытия сети ДМС ROSA

6. Анализ текущих и прогнозных метеоданных, выработка предупреждений о возможности возникновения неблагоприятных для дорожных служб метеорологических явлений, образования и типах прогнозируемой зимней скользкости.

7. Оповещение персонала ЦОУП и дежурных ЦУП подрядчиков об опасных и неблагоприятных метеорологических явлениях, возможности возникновения зимней скользкости и выработка рекомендаций для персонала.

8. Автоматизированный сбор информации от подрядчиков о транспортно-эксплуатационном состоянии автодорог, ходе работ по зимнему содержанию и метеорологических условиях на автодорогах.

9. Оценка концентрации, типа и количества ПГМ для ликвидации скользкости на выбранном участке дороги.

10. Автоматизированное доведение предупреждений и оповещений, выработанных указаний и предписаний до ЦУП подрядных организаций.

11. Контроль доведения необходимой информации до ЦУП подрядчиков и исполнения предписаний, распоряжений.

### 3.4. Автоматическая информационно-измерительная система (АИИС) «Метео-Трасса»

Ранее рассматривались отдельные дорожные метеорологические станции. Однако эффективность использования информации от таких станций существенно возрастает в том случае, когда отдельные метеостанции на автостраде объединены в единую автоматизированную информационно-измерительную систему (АИИС). Для специалистов по обслуживанию автодорог метеорологическая информация является одним из важных факторов принятия различных решений, связанных с обеспечением технологического процесса по их содержанию. Именно поэтому на многих автодорогах в последнее время устанавливают АИИС. Собирая в реальном времени данные о погодных условиях и о состоянии дорожного полотна на трассе, АИИС незаменимы для обеспечения безопасности дорожного движения на автодорогах и в планировании и исполнении работ по их содержанию. В качестве примера такой автоматической информационно-измерительной системы рассмотрим АИИС «Метео-Трасса». Данная система предназначена для непрерывного обеспечения службы содержания автомобильных дорог своевременной метеорологической информацией, для ее сбора, обработки, хранения и распределения между потребителями. Предоставляемая системой информация позволяет получать достоверные сведения о погодных условиях, их изменении и заранее подготовиться к ОЯ. По состоянию на 1 июля 2012 г. АИИС «Метео-Трасса» установлена в 20 органах управления автодорог 11 субъектов Российской Федерации.

Для получения достоверных данных АИИС «Метео-Трасса» укомплектована сетью дорожных метеорологических станций (рис. 3.18), устанавливаемых на каждом термически неоднородном участке, включая искусственные сооружения, поскольку физико-температурные свойства путепроводов, мостов и других искусственных сооружений в основном имеют отличия от остальной части дороги.

Основными задачами АИИС «Метео-Трасса» являются:

- мониторинг климатических условий вдоль автодороги;
- сбор данных о метеоусловиях и состоянии дорожного полотна;
- выявление критических метеоусловий (лед, снег, сильный дождь, туман, дым, сильные порывы ветра);
- автоматическое предупреждение о метеоусловиях и состоянии дорожного полотна служб организации дорожного движения и дорожных служб;
- незамедлительное информирование водителей посредством информационных табло, знаков ограничения скорости и других предупреждающих знаков.

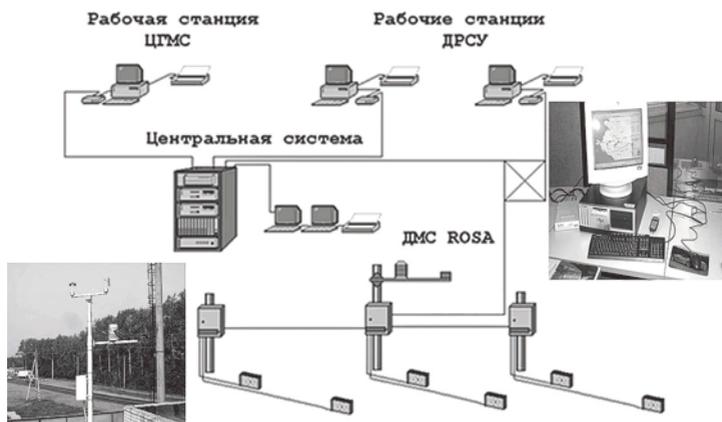


Рис. 3.18. Схема АИИС «Метео-Трасса»

АИИС «Метео-Трасса» состоит из стационарных метеорологических станций, размещенных как вдоль автомобильного дорожного полотна, центральной системы сбора и обработки информации, так и размещенной в помещении службы содержания автомобильных дорог.

АИИС «Метео-Трасса» выполняет следующие основные функции:

- измерение и выдача метеорологической информации и данных о состоянии поверхности автодороги;
- прием и передача данных с использованием различных видов каналов связи в управляемом режиме;
- контроль, обработка, архивация и отображение данных сети АДМС в удобном виде (карты, таблицы, графики);
- выдачу предупреждений об опасных метеорологических явлениях (зимней скользкости, осадках) на автодорогах;
- прогноз состояния покрытия и температуры покрытия автодорог на 4 ч вперед на основе численной модели атмосферного пограничного слоя с использованием данных сети АДМС и др.

На рис. 3.19–3.23 представлена визуализация текущих (рис. 3.19), архивных данных (рис. 3.20), прогноза гололеда (рис. 3.21), климатических справок розы ветров (рис. 3.22) и суммы осадков (рис. 3.23), отображаемых АИИС «Метео-Трасса».

Для формирования необходимого архива данных АДМС обеспечивает выдачу информации о значениях метеорологических величин и параметров поверхности дорожного полотна. Исходя из требований к объему информации, предусмотрен оптимальный комплект метеорологических датчиков, представленный в табл. 3.5. Все данные с АДМС поступают на рабочую станцию оператора центрального управления, где производится первичная обработка и хранение метеорологической информации.

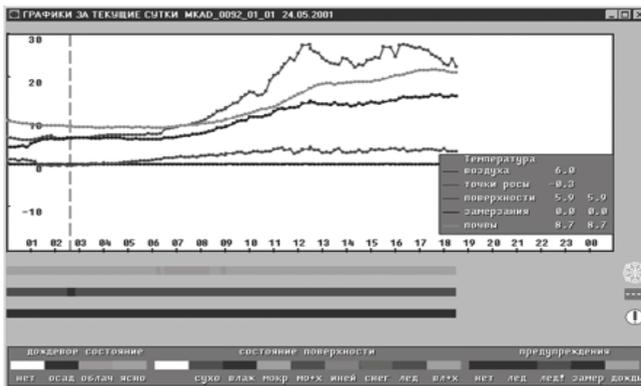


Рис. 3.19. АИИС «Метео-Трасса». Графики за текущие сутки

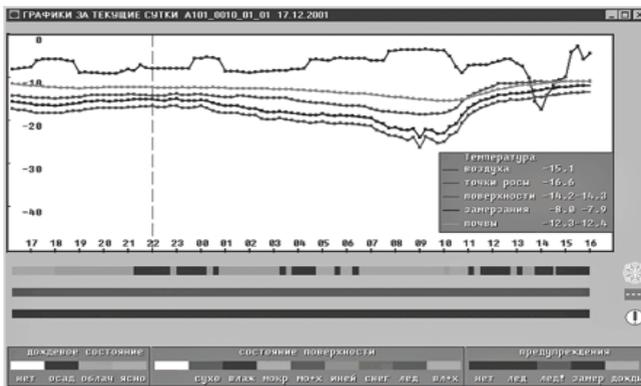


Рис. 3.20. АИИС «Метео-трасса». Графики из архива

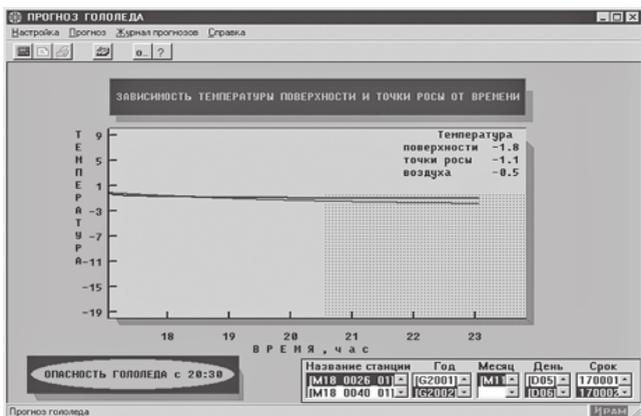


Рис. 3.21. АИИС «Метео-трасса». Прогноз гололеда на 6 ч

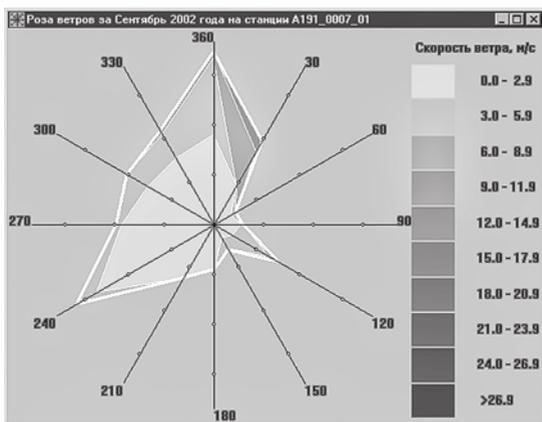


Рис. 3.22. АИИС «Метео-трасса». Климатическая справка: роза ветров

Гидрометеорологические сведения за Ноябрь 2002 года

Гидрометеорологические сведения за месяц

Год 2002  
Месяц Ноябрь  
Общее количество измерений 1286

Название станции	Сумма осадков, мм	Число измерений суммы осадков	Число переходов т-ры через 0,0°С в сторону более высоких значений	Число переходов т-ры через -2,0°С в сторону более низких значений	Число измерений т-ры
Кировск	4.4	36	0	0	36
Колпаны	98.8	23	0	0	25
Ульяновка	4.4	36	0	0	36

Рис. 3.23. АИИС «Метео-трасса». Климатическая справка: сумма осадков и число переходов через 0 и -2 °С

Таблица 3.5 (начало)

**Оптимальный комплект метеорологических датчиков  
АИИС «Метео-Трасса»**

Измеряемая величина	Вид датчика	Диапазон измерений	Возможная погрешность
Температура поверхности дороги		от -40 до 60 °С	±0,1 °С

Измеряемая величина	Вид датчика	Диапазон измерений	Возможная погрешность
Температура грунта на глубине 5–30 см		от –40 до 60 °С	±0,5 °С
Температура воздуха Относительная влажность		от –40 до 50 °С 0,8–100 %	±0,1 °С ±2 от 0,8 до 90 % ±3 от 90–100 %
Скорость Направление ветра		0,5 м/с–35 м/с 0–360°	±0,5 м/с ±3°
Датчик давления		от 600 до 1100 гПа	± 5 гПа
Состояние поверхности дороги (вода, лед, талый снег, снег или иней)		<ul style="list-style-type: none"> <li>– сухо (поверхность сухая);</li> <li>– влажно (поверхность влажная);</li> <li>– мокро (поверхность мокрая);</li> <li>– мокро+химикаты (поверхность мокрая и присутствует антиобледенительный реагент);</li> <li>– иней (на поверхности присутствует иней);</li> <li>– снег (снег идет или недавно выпал);</li> <li>– лед (на поверхности лед);</li> <li>– влажно+химикаты (поверхность влажная и присутствует химический реагент)</li> </ul>	
Видимость и текущие метеоусловия окружающей обстановки дорог		<i>PWD</i> 10: 10–2000 м; <i>PWD</i> 20: 10–20 000 м	10 %

На рис. 3.24 показано размещение у опасного участка автомобильной магистрали (закрытый для обзора крутой поворот, имеющий скальные выступы и обрыв) идентификатора осадков *PWD31*, предназначенного для дистанционного определения вида осадков — дождя, смешанного дождя/снега, снега, — а также интенсивности осадков и их количества.



Рис. 3.24. Размещение идентификатора осадков *PWD31*

### 3.5. Система автоматизированного метеорологического обеспечения КАД

Кольцевые автодороги (КАД) вокруг крупных мегаполисов являются скоростными автомагистралями с большой плотностью автомобильного движения и важнейшим элементом в общей структуре автомобильных дорог. Поэтому к ним предъявляются особые требования по организации дорожного движения, в том числе к метеорологическому обеспечению. Для обеспечения безопасности движения дорожные службы и службы организации движения (ГИБДД) должны быть заблаговременно предупреждены о предстоящих опасных метеоявлениях, знать фактическое положение дел на отдельных участках КАД и принимать соответствующие меры для предотвращения аварий. Критерием достижения эффективности метеообеспечения является создание такой системы, которая обеспечивала бы работников дорожных органов и организаций возможностью адекватно выполнять свои функции в части принятия управленческих решений при организации дорожных работ в зимний период времени, а пользователей дорог обеспечивала бы информацией для повышения безопасности и комфортности движения. Рассмотрим некоторые аспекты функционирования систем автоматизированного метеорологического обеспечения КАД на примере Санкт-Петербурга и Москвы.

Схема КАД Санкт-Петербурга представлена на рис. 3.25. Трасса проходит как по суше, так и по дамбе защитных сооружений города от наводнений в акватории Финского залива. Следовательно, при одной и той же синоптической ситуации различные участки КАД могут иметь существенно различающиеся погодные условия. Кроме того, КАД имеет 13 крупных автомобильных развязок и 7 мостов, которые требуют повышенного внимания.



Рис. 3.25. КАД Санкт-Петербурга с АДМС, положение которых отмечено звездочками и цифрами от 1 до 31

На систему автоматизированного метеорологического обеспечения КАД Санкт-Петербурга при ее создании возлагались следующие задачи:

- обеспечение установленного соответствующими нормативными актами уровня зимнего содержания автодорог;
- обеспечение установленного соответствующими нормативными актами уровня транспортно-эксплуатационного содержания автодорог;
- повышение достоверности и полноты получаемой, обрабатываемой и хранимой информации, используемой в процессе оперативного управления;
- повышение качества прогнозирования метеорологических условий на автомобильных дорогах;
- повышение оперативности сбора информации о транспортно-эксплуатационном содержании автодорог, уровне содержания и метеорологических условиях;
- обеспечение пользователей дорог информацией о метеоусловиях на автодорогах, рекомендуемых скоростных режимах и маршрутах движения;
- увеличение производительности работников управления дорожным хозяйством за счет автоматизации трудоемких функций по прогнозированию, организации и контролю работ, получению, передаче и обработке информации.

Для решения всех этих задач в автоматизированную системы было включено 20 АДМС и связанных с ними информационных табло, места расположения которых отмечены на рис. 3.26 кружками. Каждая АДМС имеет полный комплект датчиков для проведения измерений и устройства, позволяющие осуществлять подключение АДМС к информационным табло и знакам. Последнее позволяет водителям в процессе движения по КАД получать полную картину обстановки на дороге, а также регулировать скоростной режим движения на отдельных участках КАД в зависимости от фактических погодных условий и состояния дорожного полотна.

В качестве примера метеорологического обеспечения КАД Москвы рассмотрим ряд рисунков, иллюстрирующих работу автоматизированной системы.

Кроме общей информации на дисплее автоматизированного рабочего места оператора системы, может быть получена информация о текущих метеоусловиях на каждой АДМС в табличном виде, предупреждение о наличии неблагоприятных дорожных условий на определенных участках трассы и видеоизображение с видеокamer, установленных на АДМС (рис. 3.26).

Система собирает и хранит архивные данные. При обращении к ним, как это показано на рис. 3.27, можно получить в графической форме

временное распределение измеряемых АДМС параметров, причем эти данные будут сопровождаться соответствующей видеоинформацией.

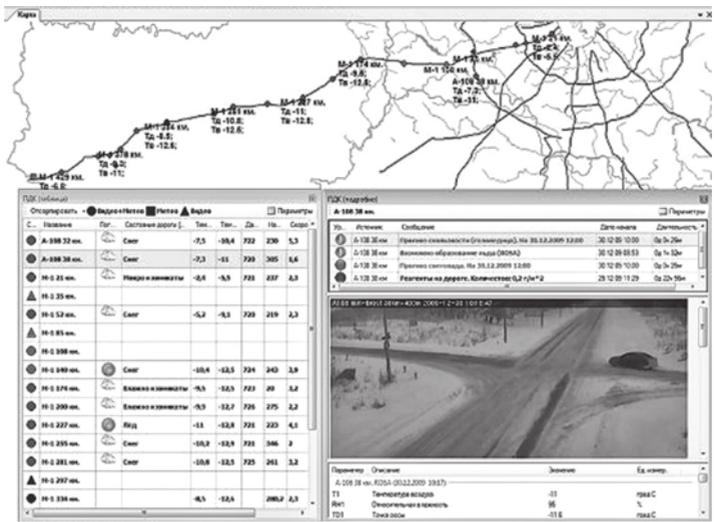


Рис. 3.26. Автоматизированное рабочее место оператора системы

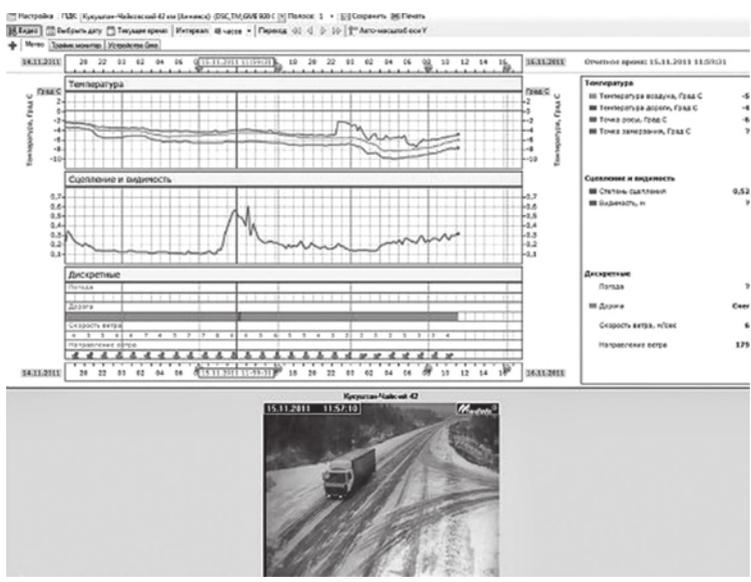


Рис. 3.27. Графическая форма временного распределения измеряемых АДМС параметров (просмотр архива данных АДМС в графической форме, синхронизированной с видеоизображением соответствующего участка дороги)

### 3.6. Термокартирование автомобильных дорог

Для своевременной и качественной подготовки профилактических работ службе содержания автомобильных дорог требуется прогноз зимней скользкости с заблаговременностью 4 ч. Эти прогнозы должны учитывать характерные особенности отдельных участков дорог. Для более детального прогнозирования метеоусловий на всей сети дорог, а не только на отдельных участках, где установлены ДМС и, соответственно, минимизации расхода химических реагентов и воздействия на окружающую среду, выполняется термокартирование.

Термокартирование — создание температурных карт поверхности проезжей части дороги. С помощью таких карт выявляются места с пониженной температурой поверхности покрытия, т.е. потенциальные места первоочередного снижения сцепных свойств дорожного покрытия в гололедоопасные периоды времени. Наличие информации о таких местах позволяет службам содержания принимать первоочередные меры по предупреждению пользователей автомобильных дорог об опасных условиях движения, а также по ликвидации этих условий. Термокартирование описывает типовую температуру покрытия проезжей части, представляющую собой графическую линию температуры вдоль дороги. На основе проводимых измерений возможно создание температурной модели покрытия дороги, которая служит дополнительной информационной базой службы содержания дорог.

Термокартирование определяет пространственные вариации температуры поверхности дороги, представленные в виде статистически обработанной базы данных. Вариации температуры поверхности автодороги в ночное время в зимний период могут составлять до 10 °С на протяжении участка длиной около ста километров. Эти изменения связаны с такими факторами, как рельеф местности, мосты, конструкция дорожного полотна, тепловые (городская застройка) и водные (водохранилище, река, море и т.д.) источники. Большинство этих факторов фиксированы в пространстве, вследствие этого приводят к повторяющемуся распределению относительно теплых и холодных участков при одинаковых погодных условиях и, соответственно, являются систематическими. Термокартирование основано на установленном факте, что распределение пространственных вариаций температуры поверхности устойчиво повторяется в течение зимнего периода при аналогичных погодных условиях. Термокартирование включает в себя выполнение следующих операций:

- ландшафтная съемка (выделение характерных ландшафтных зон и особых точек);
- сбор данных при различных погодных условиях с использованием специально оборудованной передвижной лаборатории;

- первичная обработка данных, построение температурных профилей автодороги;
- статистическая обработка данных, классификация температурных профилей;
- статистическая обработка данных, представление данных термокартирования в виде термокарт (базы данных в цифровом виде);
- использование результатов термокартирования в автоматизированной системе метеорологического обеспечения автодорог для работы в режиме «виртуальных станций».

Результаты термокартирования используются в автоматизированной системе метеорологического обеспечения автодорог для работы в режиме виртуальных станций. Для применения данных термокартирования в оперативных условиях база данных термокарт в цифровом виде подключена к функционирующей АИИС «Метео-Трасса». Используя данные о температуре поверхности в местах установки ДМС и термокарты для соответствующих погодных условий, рассчитываются значения температуры поверхности для сети виртуальных метеостанций и для всего участка автодороги. По данным прогноза для отдельных точек (мест установки дорожных метеостанций) и данным прогноза сети виртуальных метеостанций прогнозируется образование зимней скользкости на всем участке автодороги. Такая технология прогнозирования отрабатывается в ГУ КК «Краснодаравтодор».

В ЗАО «ИРАМ» создана специализированная передвижная лаборатория на базе автомобиля *Volkswagen Transporter T5* для производства работ по термокартированию. В течение последних трех лет выполняется термокартирование на различных автодорогах общей протяженностью более полутора тысяч километров. На рис. 3.28 представлены результаты термокартирования одного из участков дороги.

Полученная в результате термокартирования информация отражает распределения вдоль трассы температуры воздуха и соответствующей ей температуры дорожного полотна, измеренные в различных синоптических (погодных) условиях. Кроме того, эта информация дополняется визуальными данными, полученными с помощью видеорегистратора.

Пример результатов термокартирования представлен на рис. 3.29. На этом рисунке по горизонтальной оси отложено время (час), а по вертикальной оси — данные дистанционного измерения температуры дорожного полотна (°С). Черными линиями представлены собственно данные дистанционного измерения температуры, а серыми линиями — результаты осреднения первичных измерений по участкам дороги, равных 300 м. Анализ представленных данных показывает, что на рассмотренном дорожном участке температура дорожного полотна не однородна и может различаться более чем на 1,5 °С. Вследствие этого при одних и тех же

условиях образование гололеда будет происходить неравномерно: в этом отношении первая часть маршрута оказывается более опасной и при угрозе образования гололеда должна обрабатываться противообледенительными реагентами в первую очередь.

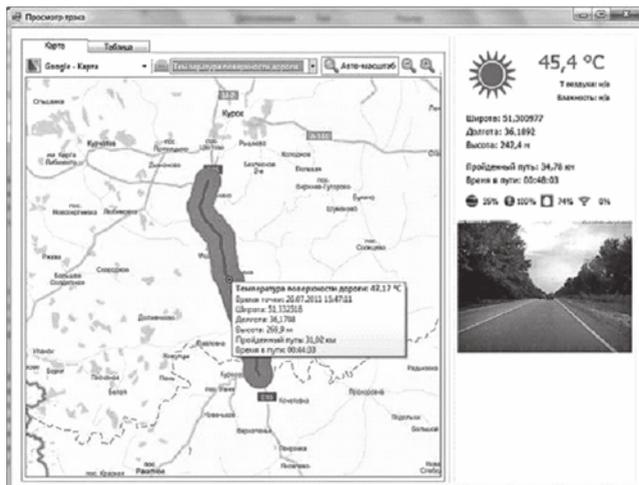


Рис. 3.28. Представление данных термокартирования одного из участков дороги в районе г. Курска

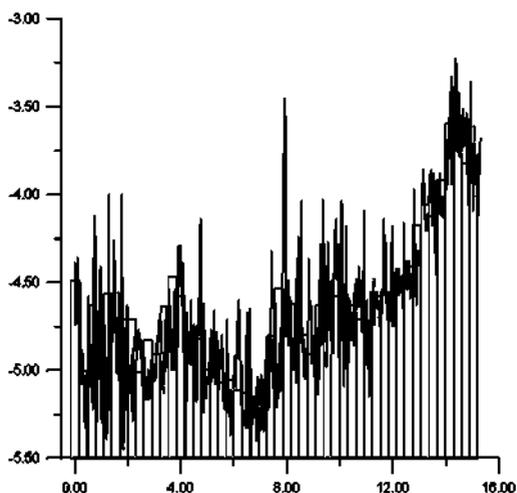


Рис. 3.29. Распределение температуры поверхности дороги Санкт-Петербург – Сортавала: острые линии — результаты термокартирования; прямоугольники — после осреднения по 300-метровым участкам

Информация, полученная в результате термокартирования, используется для решения следующих задач:

- оптимизации маршрутов движения спецтехники и своевременного выделения участков автодорог, подлежащих превентивной обработке в условиях зимнего содержания;
- для определения оптимального числа и местоположения дорожных метеостанций;
- для прогнозирования зимней скользкости на автодорогах (путем создания сети виртуальных метеостанций с использованием данных сети АДМС и прогностической модели).

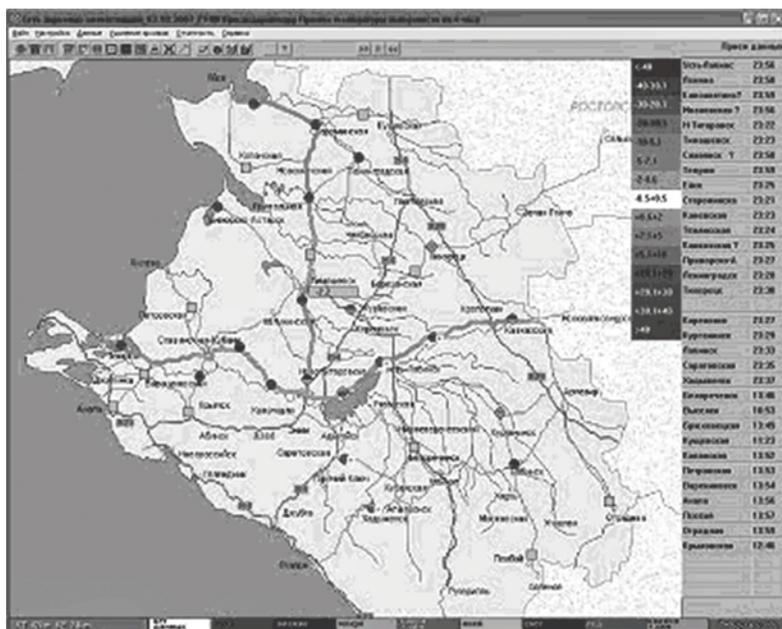
На рис. 3.30 приведен пример представления прогноза температуры дорожного полотна на основных автомобильных трассах Краснодарского края с учетом данных предварительного термокартирования этих трасс. На его основе можно выявить наиболее опасные участки с точки зрения появления гололеда и принять меры к обработке их противоледными реагентами, не дожидаясь начала наступления этого опасного для дорожного движения явления.

Качество (оправдываемость) прогноза существенно зависит от объема данных термокартирования. Для улучшения статистической значимости данных необходимо не только расширять сеть дорог, где производится термокартирование, но и увеличивать число проездов по одним и тем же маршрутам в разных погодных условиях.

### **3.7. Автоматические железнодорожные метеорологические станции**

Железнодорожный транспорт — это основной вид транспорта в России. Общая протяженность российских дорог составляет более 80 тыс. км. На долю транспорта приходится более 65 % суммарного грузооборота и около 42 % пассажирского. В настоящее время в связи со значительным сокращением воздушного движения роль железнодорожного транспорта еще более выросла, поэтому повышение эффективности и безопасности этого вида транспорта имеет важное значение. И здесь особая роль отводится метеорологическому обеспечению различных железнодорожных служб (служба движения, локомотивная служба, служба путей, служба сигнализации и связи, служба электрификации, пассажирская служба, служба вагонного хозяйства, служба контейнерных перевозок и коммерческой работы), поскольку погодные условия оказывают влияние на все виды транспорта, и железнодорожный транспорт не составляет исключения.

a)



б)

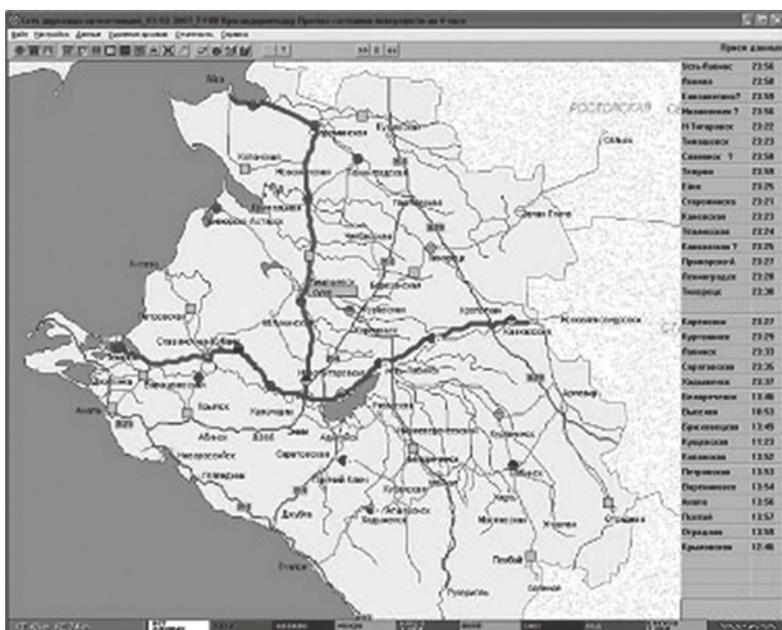


Рис. 3.30. Примеры прогноза температуры дорожной поверхности (a) и состояния поверхности (б) на 4 ч

Такие экстремальные условия погоды, как ливневые осадки, сильный снегопад, штормовой ветер и шквалы, высокие или низкие температуры, налипание снега на контактные провода или их обледенение и т.п., могут неблагоприятно воздействовать на железнодорожное сообщение. Своевременное предупреждение о перечисленных ниже опасных явлениях погоды и их мониторинг на различных участках железной дороги могут предотвратить дорогостоящие опоздания поездов и опасные ситуации.

Обледенение контактных проводов железнодорожных сетей может привести к их обрыву, поэтому необходимо своевременное предупреждение о такой угрозе для принятия специальных мер для минимизации возможных потерь.

Большое влияние на работу железнодорожного транспорта оказывает температура воздуха. При отсутствии снежного покрова ранние и длительные морозы вызывают понижение температуры земляного полотна, что может вызвать замерзание грунтовых вод и вспучивание грунта. При колебаниях температуры меняются размеры рельс и длина контактных проводов. Выделены следующие пороговые значения температуры воздуха: опасны высокие температуры, выше  $25^{\circ}\text{C}$ , и низкие, ниже  $-25^{\circ}\text{C}$ . При высоких (если это несколько дней подряд) происходит удлинение рельсов и их выброс. При низких температурах, наоборот, происходит укорачивание рельсов, увеличение зазоров, разрыв стыков и излом рельсов. Следовательно, на железнодорожном транспорте мониторинг температуры рельс можно рассматривать как некоторый аналог мониторинга температуры дорожного покрытия для автомобильного транспорта.

Снег на путях накапливается как в период снегопадов, так и при метелях. Но если при снегопаде слой снега покрывает равномерно железнодорожное полотно, то при метелях образуются сугробы и при их толщине больше 25 см они создают дополнительное сопротивление движению, при котором на затяжных подъемах состав может остановиться. Кроме того, снегопады и метели особенно затрудняют перевод стрелок.

Ливневые осадки также являются серьезной проблемой для железнодорожных сетей из-за того, что железные дороги гораздо сильнее подвержены размыванию, чем автомобильные дороги. Поэтому для обеспечения безопасности железнодорожного сообщения важной задачей является контроль размывания на удаленных участках, где сильные дожди могут не регистрироваться обычными системами наблюдений.

Хотя для груженых товарных составов сильный ветер не представляет угрозы, но ситуация меняется в случае с составами из пустых товарных вагонов. В этом случае сильный порыв ветра, возникший на ограниченном участке, может привести к сходу вагонов с рельс или крушению всего состава. Особенно это опасно на протяженных мостах и эстакадах (рис. 3.31), следовательно, на таких участках особенно важен мониторинг

подобных ситуаций. Кроме того, при сильном ветре может произойти касание проводов и их пережег.

Серьезных работ по мониторингу текущей ситуации и прогнозу наступления неблагоприятных условий требуют селеопасные и лавиноопасные участки железных дорог. Особого внимания требуют высокоскоростные магистрали, число которых неуклонно растет во всем мире, в том числе и в нашей стране.

С учетом всего вышесказанного для обеспечения безопасности движения железнодорожного транспорта и эффективной работы ремонтных и эксплуатационных служб (особенно в зимний период) возникает необходимость в создании в этой отрасли специализированных автоматизированных метеорологических систем. Такие системы во многом повторяют аналогичные автодорожные, однако могут иметь и специфические особенности как по размещению автоматической железнодорожной метеорологической станции (АЖДМС), так и по методике получения, обработки и представления метеорологической и сопутствующей информации. Основу специализированных автоматизированных метеорологических систем для железнодорожного транспорта составляют автоматические метеорологические станции. Примером такого подхода могут служить железные дороги Китая, где установлены десятки автоматических метеорологических станций.

В России метеорологическое обеспечение железнодорожного транспорта осуществляется дорожными геофизическими и метеорологическими станциями, которые относятся к региональным управлениям дорог. Для улучшения оперативного обслуживания ж/д необходимо



Рис. 3.31. Участок железных дорог, особенно чувствительный к воздействию сильных ветров

знание географического положения участков (степень залесенности, рельеф, возможность лавинообразования, оползневые районы и т.д.). Вся метеорологическая информация направляется в министерство путей и сообщений, начальнику отдела гидрометеорологии главного управления путей и сооружений и местным органам (МПС). Уровень использования специализированных железнодорожных автоматических метеорологических станций в этой системе пока еще недостаточен, но с учетом существующей мировой практики в самое ближайшее время эта ситуация будет изменена.

Метеорологический мониторинг железнодорожного движения должен включать в себя мониторинг состояния поверхности магистрали, условий погоды с недостаточной видимостью, температуры почвы (воды), состояния поверхности, по которой осуществляется движение, и ряд других факторов. Вся эта информация передается в реальном времени или в режиме, близком к нему, автоматическими дорожными станциями. Для специалистов по обслуживанию дорог такая информация является одним из важных факторов принятия различных решений, связанных с обеспечением технологического процесса по их содержанию.

Железнодорожные АМС будут рассмотрены на примере МИПС-001.

**Модуль для измерения погодно-геофизических параметров среды МИПС-001** в автоматическом режиме осуществляет измерение параметров среды, их обработку, хранение и передачу по каналам связи. Обработка данных измерений МИПС-001 выполняется микроконтроллерными схемами, что позволяет получать информацию для обработки на ПК. Передача данных проходит по стандартным интерфейсам *RS-232* или *USB 2.0*. На скоростных участках Октябрьской железной дороги (направление Москва – Хельсинки) расположено 7 модулей МИПС-001 (рис. 3.32), в реальном времени отслеживающих изменение погодных условий.

МИПС-001 (базовой комплектации) включает в себя:

1. Блок для измерения метеопараметров: температуры и влажности воздуха, атмосферного давления, скорости и направления ветра, количества и интенсивности осадков.
2. Блок измерения геофизических параметров. Предназначен для измерения температуры балластной призмы на глубинах 5 см, 20 см, 40 см и рабочей площадки земляного полета 60–80 см, а также контроля температуры стенового рельса.
3. Блок сбора, отображения и передачи данных (ПЭВМ), выполняющий функции сбора, хранения, передачи информации, а также отображения информации местного значения: температуры рельса, температуры воздуха, скорости и направления ветра.
4. *GSM* модем с внешней антенной для связи ПК по *GSM GPRS* каналу.

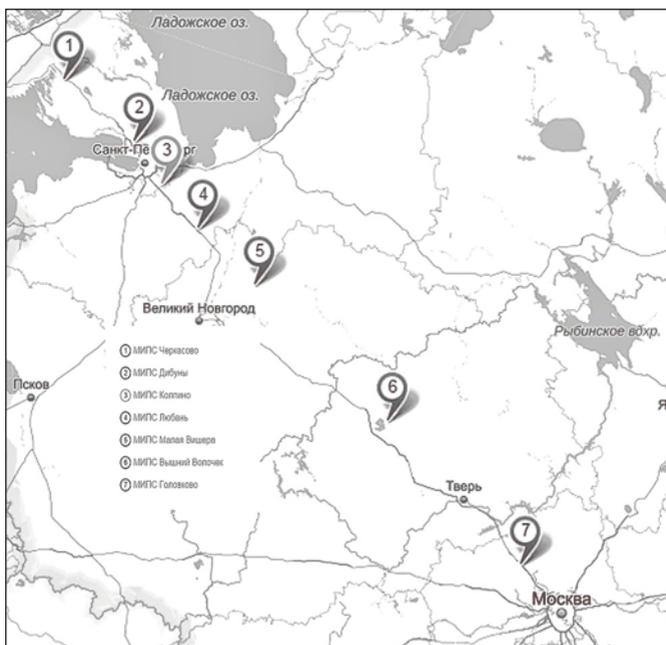


Рис. 3.32. Расположение МИПС-001 на участках скоростного движения Октябрьской железной дороги (направление Москва – Хельсинки)

МИПС-001 построен по модульному принципу, поэтому, в зависимости от особенностей места установки, может быть дополнен специальным оборудованием:

- для контроля снежно-лавинных параметров;
- для контроля сейсмической активности;
- для измерения гидрологической и гололедной среды;
- сигнализацией схода лавин и т.д.

Примерная спецификация оборудования МИПС-001 для специальных измерений параметров среды и особенности его установки представлены в табл. 3.6.

Модуль может работать как автономно, так и в автоматическом режиме. В базовой комплектации модуля МИПС-001 применяются датчики (табл. 3.7), осуществляющие прямые измерения метеорологических и геофизических параметров.

Устройство и работа датчиков скорости и направления ветра **WAA 151**, **WAV 151 (Vaisala)** и измерителя осадков **RG 13H (Vaisala)** описаны в подразделах 1.1 и 1.2 соответственно.

**Измеритель температуры DS 18B 20** фирмы **Dallas Semiconductor** (рис. 3.33) представляет собой герметичный цифровой датчик на основе

микросхемы *DS18B20*, используемый для измерений температуры воздуха окружающей среды. Датчик имеет уникальный 64-битный последовательный код, который позволяет общаться с множеством датчиков *DS18B20*, установленных на одной линии. Количество приборов для контроля температуры линии определяется температурными условиями места эксплуатации.

Таблица 3.6

**Примерная спецификация оборудования МИПС-001  
для специальных измерений параметров среды**

№ п/п	Наименование	Состав функциональных устройств модуля	Примечание
1	Оборудование для лавиноопасных участков МИПС-001	Прибор измерения высоты снега	Количество датчиков измерения высоты снега и контроля снежно-лавиновых параметров, включаемых в приборы и устройства, определяется особенностями лавиноопасного участка
		Блок контроля снежно-лавиновых параметров	
2	Оборудование для мостового перехода МИПС-001	Прибор измерения уровня воды	
		Датчик температуры воды	
3	Оборудование контроля температуры рельсов бесстыкового пути, температуры и влажности земляного полотна (ЗП) МИПС-001	Блок контроля температуры рельсов	На одну рельсовую плеть
		Блок контроля температуры грунта ЗП	На одно проблемное место железнодорожного пути
		Блок контроля влажности грунта ЗП	

Таблица 3.7

**Технические характеристики приборов контроля параметров среды МИПС-001 (базовая комплектация)**

Параметр	Интервал	Погрешность	Датчик
Температура воздуха	-50...+90 °С	0,1 °С	<i>DS18B20</i> <i>NLS011S</i>
Температура почвы			
Температура рельсов			
Атмосферное давление	15–115 кПа	1,5 %	<i>MPXAZ4145A</i>
Влажность воздуха	0–100 %	0,5 %	<i>HIH-4000</i>
Скорость ветра	0,4–75 м/с	2 %	<i>WAA151</i>
Направление ветра	0–360°	± 3°	<i>WAV151</i>
Измеритель осадков	1–100 мм ос	± 0,5 мм	<i>RG13H</i>

В постоянной памяти *DS18B20* можно сохранить граничные значения температуры, при выходе из которых сенсор будет переходить в режим тревоги. На линии из многих сенсоров микроконтроллер узнает, какие из них перешли в режим тревоги. Таким образом, можно легко определить проблемный участок в контролируемой среде. Диапазон измерения и технические характеристики *DS18B20* представлены в табл. 3.8.



Рис. 3.33. Измеритель температуры *DS18B20* фирмы *Dallas Semiconductor*

Таблица 3.8

**Технические характеристики и диапазон измерения *DS18B20* фирмы *Dallas Semiconductor***

Характеристика	Показатель
Диапазон измерения температуры, °C	от -55 до +125
Точность измерения в диапазоне температур от -10...+85, °C	±0,5
Время получения данных, мс: – при разрешении 12 бит – при разрешении 9 бит	750 94
Напряжение питания, В	от 3 до 5,5

**Поверхностный датчик температуры *NL1S011S*** (рис. 3.34, *а*) выполняется на основе цифрового сенсора температуры *DS18B20* фирмы *Dallas* и применяется для измерения температуры железнодорожных рельсов. *NL1S011* состоит из интегрального чувствительного элемента (сенсора температуры), стабилизатора напряжения, контроллера и интерфейсного приемопередатчика (*RS-485*).

Крепление датчика к подошве рельса выполняется с помощью скоб (рис. 3.34, *б*), стягиваемых двумя подпружиненными стяжными болтами. Диапазон измерения и технические характеристики *NL1S011S* представлены в табл. 3.9.

Таблица 3.9

**Технические характеристики и диапазон измерения *NL1S011S***

Характеристика	Показатель
Диапазон измерения температуры, °C	от -30 до +60
Допускаемая погрешность при измерении температуры, °C	± 1
Напряжение питания, В	от 9 до 12

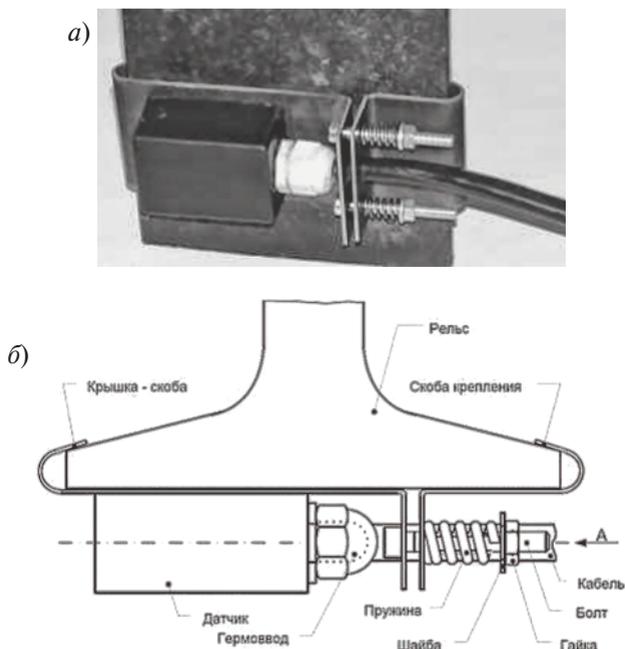


Рис. 3.34. Поверхностный датчик температуры NL1S011S:  
*a* — внешний вид; *б* — крепление датчика NL1S011S к рельсу

**Измеритель относительной влажности ННН-4000 фирмы Honeywell** (рис. 3.35) представляет собой емкостный датчик влажности, который подходит для применения в устройствах с автономным питанием. Он обеспечивает широкий диапазон измерений, высокую надежность и низкую стоимость при использовании микроэлектронной технологии. ННН-4000 может быть непосредственно подключен к микроконтроллеру для обработки выходного сигнала.

Миниатюрный чувствительный элемент выполнен из терморезистивного полимера (диэлектрик) и содержит микросхему усиления сигнала. Зависимость выходного напряжения от влажности является линейной. Многослойная структура датчика (рис. 3.36) обеспечивает устойчивость к присутствию пыли, грязи, масляных веществ и других химических реактивов. Диапазон измерения и технические характеристики ННН-4000 представлены в табл. 3.10.



Рис. 3.35. Измеритель относительной влажности ННН-4000 фирмы Honeywell

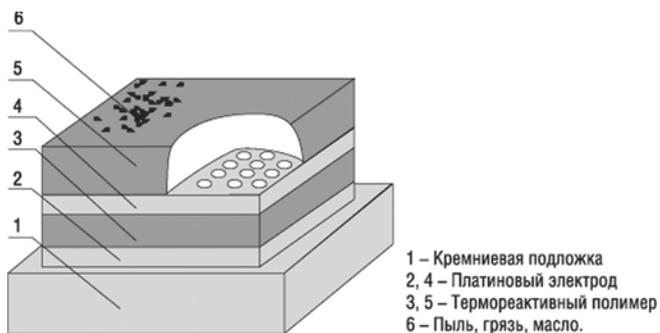


Рис. 3.36. Структура чувствительного элемента *HNH-4000* фирмы *Honeywell*

*Таблица 3.10*

**Технические характеристики и диапазон измерения  
*HNH-4000* фирмы *Honeywell***

Характеристика	Показатель
Диапазон измерения относительной влажности, %	от 0 до 100
Точность измерения, %	$\pm 1,5$
Ток потребления, мА	0,2

## 4. СУДОВЫЕ АМС

Ежедневно тысячи кораблей — огромные пассажирские лайнеры, военные корабли, грузовые суда, катера — покидают порт и уходят в плавание. Миллионы людей и грузов оказываются на реках, в озерах, в морях и океанах. Погода на морских просторах может быть восхитительной, но достаточно часто она быстро меняется: поднимается сильный шквалистый ветер, огромные волны, проливной дождь или все вокруг покрывает густой туман. Для морского климата свойственны наибольшие колебания температур и давления воздуха, большое влагосодержание и облачность. Погода испытывает непрерывные изменения, которые могут быть очень ощутимы не только от одного дня к другому, но и на протяжении даже нескольких минут.

Чтобы обезопасить тех, кто находится на воде и на берегу от разгула стихии, необходим прогноз. Успешность разрабатываемых прогнозов погоды в значительной степени зависит от качества первичной метеорологической информации. Конечно, метеостанции по всему миру следят за изменениями метеорологической обстановки, но для составления точного прогноза данных, полученных только с суши, мало (площадь Мирового океана огромна — 361 000 000 км<sup>2</sup>). Чтобы восполнить этот пробел, автоматические метеостанции устанавливают на суда. Эти судовые метеостанции, выполняющие комплекс метеорологических и гидрологических наблюдений, первичную обработку данных и передачу информации, могут использоваться на различных судах (от военных судов до небольших туристических лайнеров, судах береговой охраны и научно-исследовательских кораблях, а также и на речном транспорте). Благодаря своим функциональным особенностям судовые автоматические метеостанции позволяют получать большой объем комплексной метеорологической и гидрологической информации на просторах морей и океанов. Помимо стандартных метеорологических параметров, таких как температура воздуха, относительная влажность, атмосферное давление, скорость и направление ветра, датчики фиксируют температуру водной поверхности, содержание соли в воде, высоту волн, способны измерять степень видимости.

С учетом условий своего функционирования судовая автоматическая метеостанция должна иметь полностью герметичную конструкцию, минимум соединений и кабелей, чтобы соответствовать специфическим условиям своей эксплуатации: сильный (штормовой) ветер, дожди и туманы, солевой туман, выхлопные газы и др.

Свою специфику здесь имеет измерение параметров ветра. В то время как корабль движется, стоит, дрейфует или выполняет какой-либо эксперимент или маневр, судовая автоматическая метеорологическая станция должна определять как характеристики истинного ветра (аналог измерения характеристик ветра на наземных станциях, где направление ветра отсчитывается от направления на север), так и относительного ветра (относительно корабля). Для вычисления характеристик ветра во всех этих условиях станция должна получать информацию от приемника *GPS* и встроенного компаса без движущихся частей (*GPS* для движения и компас для дрейфа, стоянки или других случаев, когда нос корабля не направлен в сторону движения).

В каждом океане есть значительные акватории, практически не посещаемые судами или посещаемые редко и нерегулярно. Связано это прежде всего с тем, что корабли плавают по определенным морским путям, которые соединяют морские порты разных континентов (рис. 4.1). Но для прогнозирования необходимо получать информацию о погоде постоянно, и наблюдения должны вестись повсеместно, в том числе и в океане. Для исправления этой ситуации в океанах и у береговых линий, где нет других источников получения метеоинформации, устанавливают буйковые автоматические метеостанции.

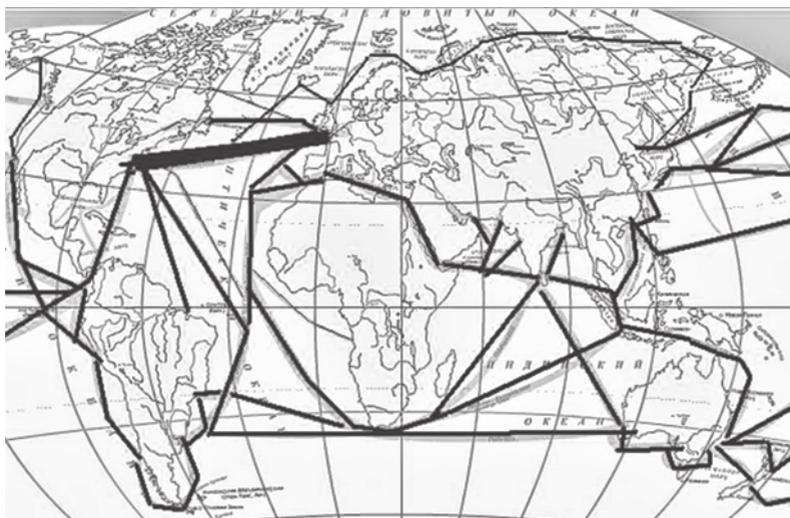


Рис. 4.1. Основные морские торговые пути

Рассмотрим основные характеристики судовых автоматических метеорологических станций (судовые АМС) на примере станции «Перископ».

## 4.1. Судовая метеорологическая станция «Перископ»

Судовая метеорологическая станция «Перископ» предназначена для определения и вывода визуальной информации о шести метеопараметрах: температуре и относительной влажности воздуха, атмосферном давлении, скорости и направлении ветра и осадках. АМС «Перископ» соответствует обязательным требованиям государственных стандартов и признана годной для эксплуатации. Поскольку метеостанция используется в качестве судовой, то данные, принимаемые метеодатчиком, необходимо дополнять информацией о скорости и курсе судна от лага и гирокомпаса (для расчета и отображения истинных данных). Измеряемые станцией «Перископ» метеопараметры и единицы измерений представлены в табл. 4.1.

Метеостанция состоит из основного блока — индикатора системы, сумматора, метеодатчика и программного обеспечения «Перископ», предустановленного в индикатор системы.

Индикатор системы представляет собой процессорный модуль, совмещенный с ЖК дисплеем, внутри которого расположен диск для хранения полученных и преобразованных метеоданных. Индикатор системы используется для обработки данных, получаемых от датчика, лага и компаса, и последующей визуализацией рассчитанных данных в удобном для пользователя виде, а также для создания отчетов, настройки отображения и размерностей метеоданных. Жесткий диск накопителя памяти индикатора (DT-310) разделен на три раздела:

- раздел № 1 с образом восстановления ОС и ПО «Перископ»;
- раздел № 2 с установленными ОС и ПО «Перископ»;
- раздел № 3 — чистый диск, предназначенный для хранения файлов пользователя.

Таблица 4.1

**Метеопараметры, измеряемые судовой АМС «Перископ»**

Метеопараметры, измеряемые системой	Единицы измерения
Атмосферное (барометрическое) давление	гПа, Па, бар, мм рт. ст., дюймы рт. ст.
Температура воздуха	°С, °F
Относительная влажность	%
Скорость ветра	м/с, км/ч, мили/ч, узлы
Направление ветра	градусы
Количество осадков: — дождь — град	мм/ч, дюймы/ч удар/см <sup>2</sup> /ч, удар/дюйм <sup>2</sup> /ч, удар/ч

Сумматор сообщений *NC-117* — предназначен для «суммирования» получаемых данных от лага и гирокомпаса и ретрансляции суммированных данных на индикатор системы (терминал данных *DT-310*). Он позволяет принимать от компаса и лага информацию о курсе и скорости по отдельным каналам связи, а выдавать по одному.

Метеодатчик устанавливается на мачту, место установки которой выбирается с учетом репрезентативных измерений параметров окружающей среды, и ориентируется по отметке севера строго на нос судна.

Для измерения метеорологических величин станция комплектуется метеорологическим комплексом *WXT520 (Vaisala)* или модификациями метеостанции *100WX/150WX/300WX (Airmar)* или ультразвуковым анеометром *WindObserver 65 (Gill Instruments Limited)*.

**Преобразователь метеоданных *WXT520* фирмы *Vaisala*** (рис. 4.2) — это небольшой легкий прибор в компактном корпусе, который выдает информацию о шести метеопараметрах: температуре и относительной влажности воздуха, атмосферном давлении, скорости и направлении ветра, осадках. Метеокомплекс *WXT520* устойчив к затоплению, заливанию, что необходимо в суровых морских условиях. Для повышения точности измерений датчики ветра и осадков снабжены подогревом и комплектом защиты от птиц (металлическое кольцо с направленными вверх шипами, которые не дают птицам сесть на преобразователи).

Датчик ветра *WINDCAP* состоит из трех измерительных преобразователей, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга. Принцип работы преобразователей основан на измерении времени, за которое ультразвуковой сигнал проходит от одного сенсора до двух других. Технические характеристики измерителя скорости и направления ветра и диапазоны измерений приведены в табл. 4.2.



Рис. 4.2. Преобразователь метеоданных *WXT520* фирмы *Vaisala*

Таблица 4.2

**Технические характеристики и диапазон измерения преобразователя скорости и направления ветра в составе WXT520 фирмы Vaisala**

Характеристика	Параметры
Диапазон измерения скорости воздушного потока ( $V$ ), м/с	от 0 до 65
Пределы допускаемой погрешности при измерении скорости воздушного потока, %	$\pm 2$
Диапазон измерения направления воздушного потока, градус	от 0 до 359
Пределы допускаемой погрешности при измерении направления воздушного потока, %	$\pm 2$
Время реагирования, с	0,25

Пьезоэлектрический датчик осадков находится в верхней части преобразователя метеоданных WXT520 (см. рис. 4.2) под стальной крышкой. Работа преобразователя основана на технологии *RAINCAP*: удар каждой капли о поверхность сенсора вызывает сигнал, который преобразуется в объем капли, что дает возможность рассчитать накопленное количество осадков с высоким разрешением. Технология *RAINCAP* позволяет измерить количество выпавших осадков, текущие осадки (за минуту до запроса с интервалом 10 с), интенсивность (пик интенсивности — максимальное из текущих значений) и продолжительность осадков.

Датчик может работать в четырех режимах:

1. Начало/конец осадков: сообщения об осадках передаются каждые 10 с с обнаружения первой капли до их окончания.
2. Опрокидывающийся сосуд: сообщение передается, когда счетчик определяет увеличение количества осадков на одну единицу (0,1 мм/0,01 дюйм).
3. Временной: сообщения передаются через определенный промежуток времени.
4. Запрос: сообщение формируется по запросу.

Датчик способен также отличать град от капель дождя. К измеряемым параметрам града относятся накопленное количество града, его интенсивность и продолжительность ливня с градом. Технические характеристики датчика осадков и диапазоны измерений приведены в табл. 4.3.

В модуле *PTU* под радиационной защитой находятся датчики атмосферного давления, температуры и влажности воздуха:

- емкостной кремниевый датчик *BAROCAP*;
- емкостной керамический датчик *THERMOCAP*;
- емкостной пленочный датчик *HUMICAP*.

Принцип работы преобразователей заключается в измерении емкости датчиков и ее сравнении с двумя эталонными конденсаторами. Температурная погрешность в модуле *PTU* исключается микропроцессором.

Технические характеристики измерителей атмосферного давления, температуры и влажности воздуха и диапазоны измерений приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.3

**Технические характеристики и диапазон измерения осадкомера в составе WXT520 фирмы Vaisala**

Дождь	накопленные осадки после последнего сброса	Площадь приемника, см <sup>2</sup>	60
		Разрешение, мм	0,01
		Точность, % (в зависимости от погоды)	5
Продолжительность дождя	увеличение количества осадков за каждые 10 с, с первой капли	Разрешение, с	10
Интенсивность дождя	скользящее среднее за 1 мин с дискретностью 10 с	Диапазон, мм/ч	от 0 до 200
		Разрешение, мм/ч	0,1
Град	сумма числа ударов о приемную поверхность	Разрешение, удар/см <sup>2</sup>	0,1
Продолжительность града	увеличение количества ударов за каждые 10 с, с момента обнаружения	Разрешение, с	10
Интенсивность града	скользящее среднее за 1 мин с дискретностью 10 с	Разрешение, удар/см <sup>2</sup> /ч	0,1

Таблица 4.4

**Технические характеристики и диапазон измерения датчиков атмосферного давления, температуры и влажности воздуха в составе WXT520 фирмы Vaisala**

<i>Канал измерения атмосферного давления</i>	
Диапазон измерения атмосферного давления, гПа	от 600 до 1100
Точность, гПа при температуре 0...30 °С	± 0,5
при температуре -52...+60 °С	± 1
Разрешение, гПа	0,1
<i>Канал измерения температуры воздуха</i>	
Диапазон измерения температуры воздуха, °С	от -52 до +60
Точность при +20 °С	± 0,3
Разрешение, °С	0,1
<i>Канал измерения относительной влажности воздуха</i>	
Диапазон измерения относительной влажности, %	от 0 до 100
Точность, %:	
– от 0 до 90 %	± 3
– от 90 до 100 %	± 5
Разрешение, %	0,1

**Метеостанция 100WX/150WX/300WX (Airmar)** представляет собой единый блок без каких-либо движущихся частей (рис. 4.3), измеряющий несколько метеопараметров: температуру воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра, количество осадков (в зависимости от модификации). Станция имеет прочный водонепроницаемый корпус, что делает ее стойкой к суровым морским условиям.



Рис. 4.3. Метеостанция 100WX фирмы *Airmar*

Направление и скорость ветра измеряются с помощью четырех ультразвуковых датчиков, оборудованных нагревателем для оттаивания льда. Встроенные датчики температуры (термистор) и атмосферного давления (пьезорезистивный датчик) помогают определять малейшие изменения погодных условий. Дополнительно устанавливаемый емкостной датчик влажности измеряет относительную влажность и точку росы. Данные о метеопараметрах передаются через настраиваемый интерфейс RS232/RS422. Технические характеристики метеостанции 100WX/150WX/300WX фирмы *Airmar* и диапазоны измерений приведены в табл. 4.5.

Модификации станции 150WX и 300WX оснащаются встроенными GPS-приемником, датчиком курса и 3-осевым твердотельным компасом, с помощью которых измеряют относительную и истинную скорость и направление ветра без необходимости подсоединения дополнительных датчиков. Совместная работа 3D акселерометра (определение бортовой и килевой качки) и гироскопа (определение скорости поворота), также входящих в комплект станции, дает возможность определять истинную скорость и направление ветра даже при крене до 30°. Модификация станции 300WX комплектуется датчиком дождя (поливинилденфторид), который обеспечивает измерение количества осадков, их интенсивность и пик интенсивности.

Таблица 4.5

**Технические характеристики и диапазон измерения метеорологических величин метеостанцией 100WX/150WX/300WX фирмы Airmar**

Характеристика	Параметры		
<i>Канал измерения температуры воздуха</i>	100WX	150WX	300WX
Диапазон измерения температуры воздуха, °С	от -25 до +55		
Точность при скорости ветра больше 2,2 м/с, °С	± 1		
<i>Канал измерения относительной влажности воздуха</i>	дополнительно		
<i>Канал измерения атмосферного давления</i>			
Диапазон измерения атмосферного давления, гПа	от 800 до 1100		
Точность, гПа	± 2		
<i>Канал измерения скорости и направления ветра</i>			
Диапазон измерения скорости воздушного потока (V), м/с	от 0 до 40	от 0 до 80	
Пределы допускаемой погрешности при измерении скорости воздушного потока, %:			
– от 0 до 5 м/с	± 10	± 10	
– от 5 до 40 м/с	± 5		
– от 5 до 80 м/с		± 5	
Шаг измерения скорости ветра, м/с	0,1		
Диапазон измерения направления воздушного потока, градус	от 0 до 359		
Пределы допускаемой погрешности при измерении направления воздушного потока, %:			
– при скорости менее 5 м/с	± 5		
– при скорости более 5 м/с	± 2		
Шаг измерения направления ветра, градус	0,1		
<i>Канал измерения осадков</i>	нет	дождь, град	

**Ультразвуковой анемометр *Wind-Observer65* фирмы *Gill Instruments Limited***

(рис. 4.4) служит для измерения направления и скорости ветра. Корпус из нержавеющей стали, дополнительная система антиобледенения и отсутствие движущихся частей делают датчик идеальным преобразователем для использования в экстремальных морских условиях (датчик работает при температуре от -55 до +70 °С и относительной влажности от 0 до 100 %). Анемометр не требует калибровки и имеет систему самодиагностики, следовательно, подходит для установки на море и на некотором расстоянии от берега: на кораблях, информационных буйках, портовых кранах.



Рис. 4.4. Ультразвуковой анемометр *WindObserver65* фирмы *Gill Instruments Limited*

Анемометр *WindObserver65* представляет собой 2-осевой датчик, не имеющий инерционной зависимости, в основе работы которого лежит измерение скорости прохождения звука в воздушной среде. Направление ветра вычисляется исходя из данных от двух перпендикулярных осей датчиков, поэтому данные и не имеют мертвых зон. Преобразователь имеет 1 цифровой и 3 дополнительных аналоговых выхода (скорость, направление, ультразвуковая температура). Данные измерений передаются в стандартном виде через интерфейс *RS422/RS485*. Технические характеристики измерителя скорости и направления ветра *WindObserver65* и диапазоны измерений приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

**Технические характеристики измерителя скорости и направления ветра *WindObserver 65***

Характеристика	Параметры
Скорость ветра	
Диапазон измерения, м/с	от 0 до 65
Пределы допускаемой погрешности, %	$\pm 2$
Разрешение, м/с	0,01
Единицы измерения: м/с, км/ч, миль/ч, узлы	
Направление ветра	
Диапазон измерения, градус	от 0 до 359
Пределы допускаемой погрешности, градус	$\pm 2$
Разрешение, градус	0,1
Ультразвуковая температура, °С	от -40 до +70

## 4.2. Визуализация метеоданных «Перископ»

В состав автоматической судовой метеорологической станции «Перископ» входит специальное программное обеспечение, предназначенное для обработки и визуализации метеоданных «Перископ». Программное обеспечение позволяет отображать метеопараметры в привычном и удобном виде.

Основное окно программы «Перископ» дает возможность выбрать один из четырех вариантов отображения метеорологических данных: цифровой, аналоговый, графический и табличный, а также получить служебные данные от метеодатчика, лага и компаса.

Аналоговый вид отображения данных (рис. 4.5) является рекомендуемым режимом и дает возможность наблюдать все измеряемые метеорологические величины одновременно.

В цифровом виде отображения данных (рис. 4.6) в нижней части окна находится восемь кнопок, что дает возможность выбора наблюдаемых

характеристик в зависимости от поставленной задачи. При нажатии соответствующей кнопки в окне программы отобразятся данные:

- все шесть метеорологических параметра одновременно;
- только о направлении ветра;
- только о скорости ветра;
- только о температуре воздуха.
- только об относительной влажности воздуха;
- только об атмосферном давлении;
- только об осадках;
- все шесть параметров поочередно, в циклическом виде.



Рис. 4.5. Аналоговый вариант отображения метеоданных программой «Перископ»



Рис. 4.6. Цифровой вариант отображения метеоданных программой «Перископ»

В окне графического отображения данных (рис. 4.7) присутствуют пять кнопок, с помощью которых можно регулировать количество выводимых графиков (от 1 до 5), каждый из которых строится на данных одного метеопараметра (скорости ветра, давления, количества выпадающих осадков, температуры или относительной влажности воздуха). В левой части окна, в поле «Позиция», выводится точное значения окончания построения графика (дата и время). В поле «Период» можно выбрать единицы времени (минуты, часы, дни, месяцы), что дает возможность для разнопланового анализа данных.

Табличный вид отображения данных (рис. 4.8) представляет собой таблицу, в которую записываются все метеоданные через определенный промежуток времени. Здесь же существует возможность сохранения данных на жесткий диск компьютера и их экспорта в файл \*.csv, с целью его последующего открытия в других программах (например, *Excel*).

Вкладка «Rx» (рис. 4.9) предназначена для отображения служебных данных поступающих от: метеодатчика (верхняя часть экрана); лага и компаса в формате *NMEA* (нижняя часть экрана).

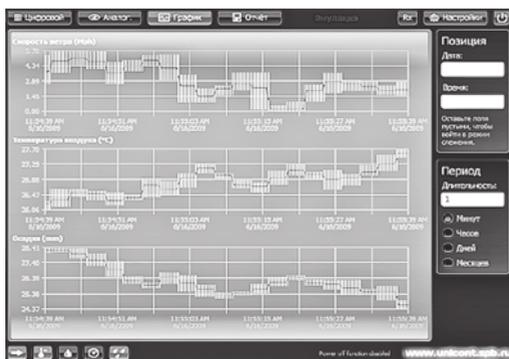


Рис. 4.7. Графический вариант отображения метеоданных программой «Перископ»

Дата изменения	Тип
22.02.2013 10:30	Плоска
14.07.2009 9:08	Плоска
14.07.2009 9:08	Плоска
14.07.2009 9:08	Плоска
21.09.2013 13:00	Плоска
12.04.2013 12:00	Плоска
22.02.2013 11:20	Плоска
11.03.2013 14:13	Плоска
21.02.2013 10:27	Плоска
21.02.2013 14:18	Плоска
22.02.2013 10:30	Плоска
22.02.2013 10:37	Плоска
21.02.2013 14:18	Плоска

Рис. 4.8. Табличный вид отображения данных и окно сохранения метеоданных программой «Перископ»

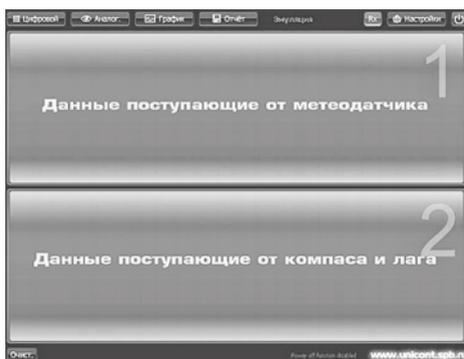


Рис. 4.9. Вкладка «Rx» для отображения служебных данных программой «Перископ»

### 4.3. Буйковые автоматические метеостанции

Буйковые станции (рис. 4.10) имеют аналогичное устройство с другими видами АМС, устанавливаемых в малонаселенных районах и труднодоступных местах (горы, пустыни, полярные области), и устанавливаются в океане, где нет других средств получения метеорологической информации. Положение такой АМС в океане обеспечивается системой якорей специальной конструкции. Станция должна быть оснащена блоком долговременного электропитания.



Рис. 4.10. Буйковая автоматическая метеорологическая станция

Буйковые АМС — один или несколько (система) буйев с автоматическими метеорологическими датчиками, размещенными непосредственно на буйе и предназначенными для измерения температуры и влажности воздуха, атмосферного давления, скорости и направления ветра, количества выпадающих осадков, наличия облаков или ясного неба, высоты волн. Состав буйковой АМС может быть дополнен океанографическими датчиками, расположенными на буйрепе (канат, на котором держится буй) и измеряющими характеристики водной среды: температура, электропроводность, давление, содержание кислорода, скорость течения, мутность, показатель рН и др.

Конечно, буйковые АМС дают неполные сведения о погоде (форма облаков, горизонтальная видимость, виды осадков не фиксируются датчиками АМС) и дают информацию о погоде только у водной поверхности. Но полученные с таких станций данные позволяют восполнить пробел в информации, получаемой с помощью остальных средств наблюдений на море.

Результаты измерений кодируются и передаются в центр по сбору метеоинформации (как в определенные сроки, так и между ними — по радиокоманде). Для удобства простого пользователя в *NDBC* (Национальный Центр данных по бакенам) создали интерактивную карту (рис. 4.11),

расположенную в интернете по адресу <http://www.ndbc.noaa.gov/>, которая показывает точное местоположение морских станций (см. рис. 4.11, *a*). Любой желающий, кликнув на маркер станции, может получить информацию с выбранной на море станции во всем мире (см. рис. 4.11, *б*), причем практически в реальном времени.

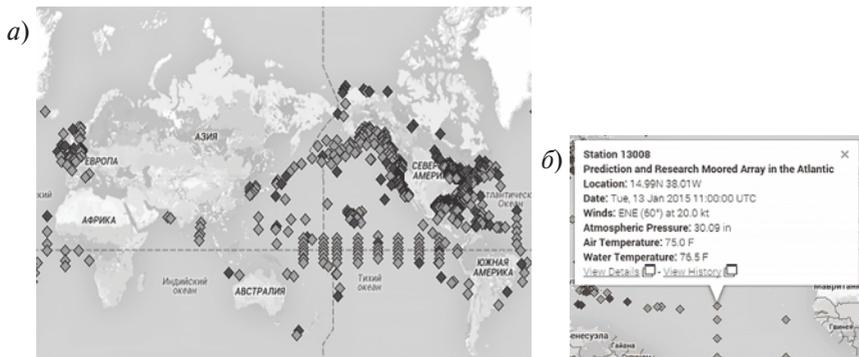


Рис. 4.11. Интерактивная карта с местоположением морских станций:

- a* — местоположение буйковых метеостанций;
- б* — представление данных по выбранной станции

Морская буйковая автоматическая гидрометеорологическая станция гидрометцентра г. Сочи измеряет температуру воздуха, относительную влажность, скорость и направление ветра, давление, видимость, а также морские гидрологические характеристики: высоту и период волн, скорость, направление течения и температуру воды на трех уровнях, уровень кислорода в воде, соленость.

## 5. ПЕРЕДВИЖНЫЕ АМС

Значение оперативной и достоверной метеорологической информации на современном этапе развития метеорологической науки многократно возросло. Применение автоматизированных систем сбора и обработки информации значительно повышает оперативность метеорологического обеспечения, позволяет обходиться без бумажных и факсимильных карт, не требует выделения специальных линий связи. Построенные на современной базе, автоматизированные рабочие места метеорологов компактны, а возможность приема метеорологической информации через геостационарный спутник делает их мобильными.

Передвижная метеорологическая станция (ПМС) благодаря своей мобильности считается одним из самых важных и полезных изобретений. ПМС (рис. 5.1) представляет собой комплекс технических средств, включающий в себя: транспортное средство с системой электроснабжения и обогрева и комплект датчиков.

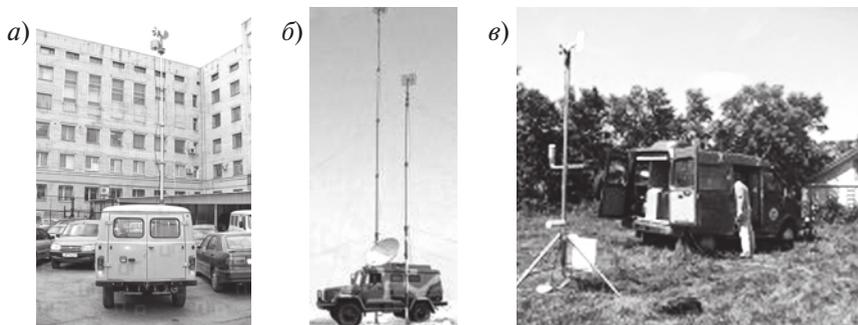


Рис. 5.1. Передвижная лаборатория на базе автомобиля:  
а — УАЗ-452; б — «Вепрь»; в — ГАЗ-2705

В основном ПМС используются подразделениями, которые осуществляют оперативные наблюдения за изменением погодных условий с целью минимизировать негативные последствия. Такие станции необходимы для замеров радиационного фона, определения погодных условий при стихийных бедствиях (землетрясение, цунами), мониторинга природных и техногенных катастроф, прогноза природных катаклизмов и т.д. А при пожаре с помощью этого метеокомплекса без труда можно определить, в какую сторону будет распространяться огонь.

ПМС выполняют следующие задачи:

- измерение метеорологических параметров (температура и относительная влажность у поверхности земли и на высотах, атмосферное давление, скорость и направление ветра, высота облаков и радиационное излучение);
- измерение коэффициента светопропускания атмосферы и вычисление МОД (метеорологической оптической дальности видимости);
- обработку, анализ и хранение информации;
- прием и передачу метеоданных.

ПМС могут быть оборудованы на базе автомобилей ГАЗ-2705 (Газель), *FORD Transit*, *Mercedes Sprinter*, *Volkswagen Transporter*, *Volkswagen Crafter*, *FIAT Ducato*, *Peugao BOXER*, УАЗ-3909, ГАЗ-33081, КАМАЗ-43114, КАМАЗ-43118, «Урал-4320» и др.

Устройство и работа ПМС будут рассмотрены на примере ПМС-70М и передвижного метеорологического комплекса компании «Русконтроль».

## 5.1. Метеорологическая станция ПМС-70М

Станция выпускается в двух вариантах: ПМС-70М-А и ПМС-70М-Б (без радиостанции). Вся аппаратура и приборы станции смонтированы в кузове-фургоне КМ-131, установленном на шасси автомобиля ЗИЛ-131 (рис. 5.2) на стеллаже и столах сварной конструкции, прикрепленной к полу и стенам кузова. Автомобили ЗИЛ обладают повышенной проходимостью, благодаря чему станция может использоваться в труднодоступных местах как в мирных, так и в военных целях. В салоне кузова оборудованы четыре стационарных рабочих места, позволяющих специалистам дежурной смены производить прием, обработку и передачу метеоинформации потребителям.



Рис. 5.2. Автомобиль ЗИЛ-131 с кузовом КМ-131

Вдоль правой стены салона размещен рабочий стол метеоролога. Он оборудован подъемной крышкой и двумя выдвижными ящиками. В средней части стола имеется стойка, на которой могут быть размещены метеорологические приборы и пульт управления дистанционной метеостанцией. У левой стены размещен стол метеонаблюдателя, оборудованный рабочими местами, в выдвижных ящиках которого закрепляются в походном положении датчики.

Электропитание станции осуществляется как от внешних, так и от автономных источников питания. Оборудование позволяет вести прием, обработку и передачу метеоинформации по проводным линиям и по радиоканалам связи.

В метеорологическое обеспечение ПМС-70М входят станция М-49, ИВО-1М, психрометр МВ-4, термометр ТМ-8, измерители М-53А, барометр МД-49, барограф М-22н.

Состав датчиков ПМС может изменяться в ногу с прогрессом. Приборы усовершенствовались, но не так уж и сильно изменились. Давление, скорость и направление ветра, количество осадков измеряют все теми же проверенными методами.

*Дистанционная метеорологическая станция М-49* является довольно старым прибором (первые образцы станции были изготовлены в 40-х гг. XX в.), но несмотря на это, до сих пор, правда с измененным дизайном, выпускается промышленностью. Простота эксплуатации, сравнительно несложная схема и достаточно малая стоимость по сравнению с другими аналогичными установками — все эти качества делают станцию конкурентноспособным прибором.

Станция М-49М «Полевой вариант» (рис. 5.3) представляет собой мобильный вариант базовой метеостанции и предназначена для оперативного развертывания в полевых условиях. Станция позволяет дистанционно измерить температуру и относительную влажность воздуха, атмосферное давление, направление и скорость ветра и вычислить температуру точки росы (рассчитывается программой на основе результатов измерений относительной влажности и температуры воздуха). Все измеряемые параметры представляются на экране дисплея в цифровой форме. Для передачи данных используется интерфейс RS-232.

В состав метеостанции входят пульт цифровой обработки и индикации результатов измерений (см. рис. 5.3, б), внешний датчик ветра, выносной блок с датчиками температуры и влажности, датчик давления, размещенный в корпусе пульта метеостанции, блок питания, программное обеспечение.

Специальное программное обеспечение «Метеоцентр-2» позволяет принимать, обрабатывать, хранить полученные данные на жестком диске, а также представлять результаты измерений в виде таблиц и графиков,

осреднять данные за периоды от 2 до 10 мин, создавать электронные отчеты (за час, сутки, месяц, год) с возможностью печати данных на принтере. Программа позволяет вводить коэффициенты для датчиков метеостанции (в случае ремонта или использования аналогичных датчиков влажности, температуры и других).

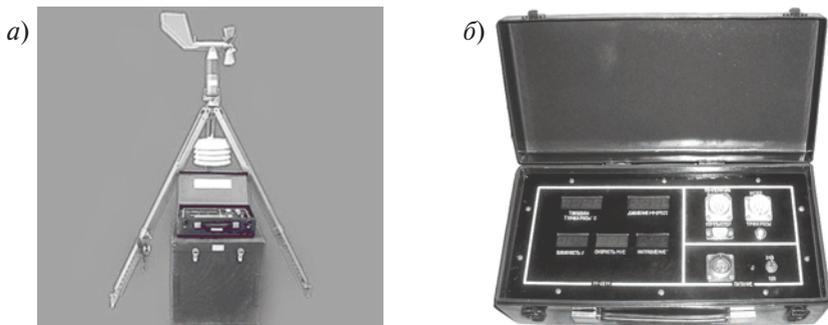


Рис. 5.3. Станция М-49М «Полевой вариант»:  
*a* — внешний вид; *б* — пульт цифровой обработки и индикации результатов измерений

Датчик ветра малогабаритный ДВМ представляет собой флюгарку с восьмилопастной вертушкой (рис. 5.4). Вертушка и флюгарка выполнены в одном корпусе, который может вращаться под действием ветра вокруг вертикальной оси. Скорость и направление ветра преобразуются двумя импульсаторами, выполненными на герконах, в электрические импульсы. Мерой скорости ветра будет частота импульсов, мерой направления — сдвиг фаз.

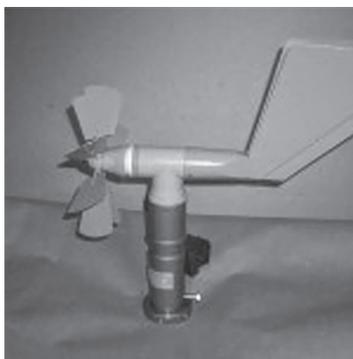


Рис. 5.4. Датчик ветра малогабаритный

Технические характеристики ДВМ и диапазон измерения скорости и направления ветра представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

**Технические характеристики и диапазон измерения ДВМ**

Характеристика	Показатель
Диапазон измерения скорости ветра ( $V$ ), м/с	от 0,6 до 60
Предел допускаемой абсолютной погрешности при измерении скорости ветра, м/с	$\pm(0,3 + 0,05V)$
Пороговая скорость, м/с	0,6
Диапазон измерения направления ветра, град	от 0 до 360
Предел допускаемой абсолютной погрешности при измерении направления ветра, град	$\pm 10$

**Датчик температуры** расположен в выносном блоке с радиационной защитой (рис. 5.5). Чувствительным элементом канала измерения температуры является кварцевый пьезоэлектрический резонатор. При изменении температуры воздуха колебания кварца преобразуются в электрический сигнал с сильной зависимостью частоты от температуры. Технические характеристики датчика температуры и диапазон измерения представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

**Технические характеристики и диапазон измерения датчиков температуры, относительной влажности воздуха и атмосферного давления станции М-49**

Характеристика	Показатель
Диапазон измерения температуры воздуха, °С	от -50 до +50
Пределы допускаемой абсолютной погрешности при измерении температуры, °С	$\pm 0,8$
Диапазон измерения относительной влажности воздуха, %	от 30 до 98
Пределы допускаемой абсолютной погрешности при измерении относительной влажности, %	$\pm 10$
Измерение точки росы при температуре воздуха, °С	от -59,5 до +49,5
Пределы допускаемой абсолютной погрешности при измерении температуры точки росы, °С	$\pm 7$
Диапазон измерения атмосферного давления воздуха, гПа	от 400 до 1060
Пределы допускаемой абсолютной погрешности при измерении атмосферного давления, гПа	$\pm 2$

**Датчик относительной влажности воздуха**, расположенный в выносном блоке (рис. 5.5), представляет кварцевый преобразователь влажности в частоту электрического сигнала. Использование кварцевого резонатора помогает избавиться от явления гистерезиса при механических, температурных и электрических воздействиях. Технические характеристики датчика относительной влажности воздуха и диапазон измерения представлены в табл. 5.2.

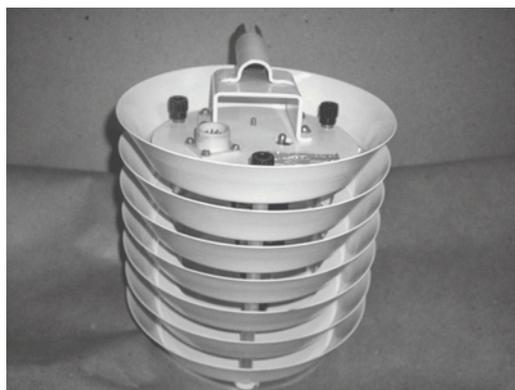


Рис. 5.5. Выносной блок датчиков температуры и влажности

**Датчик давления**, размещенный в корпусе пульта метеостанции (рис. 5.3), также представляет собой кварцевый резонатор, преобразующий величину атмосферного давления в частоту электрического сигнала. Датчики давления такого типа не подвержены гистерезису. Технические характеристики датчика атмосферного давления и диапазон измерения представлены в табл. 5.2.

## 5.2. Передвижной метеорологический комплекс компании «Русконтроль»

Комплекс выполнен на базе автомобиля *Ford Transit* с термозумоизолированным салоном для специалистов (рис. 5.6). Кузов оборудован двумя поперечными перегородками: отделяющая водительскую кабину от отсека оператора, отделяющая отсек оператора от грузового отсека.



Рис. 5.6. Кузов передвижного метеорологического комплекса компании «Русконтроль»

Выполняемые задачи метеорологического комплекса:

- измерение скорости и направления ветра, атмосферного давления, температуры и относительной влажности атмосферного воздуха;
- измерение коэффициента светопропускания атмосферы и вычисление метеорологической оптической дальности видимости (МОД);
- измерение средней скорости направленного воздушного потока и средней скорости ветра;
- измерение высоты облаков;
- документирование и хранение информации.

ПМК «Русконтроль» оборудован *GPS*-навигатором с поддержкой системы ГЛОНАСС, ноутбуком, цветным МФУ, радиостанцией.

Для получения метеорологических параметров используется метеорологический комплекс *WXT520* фирмы *Vaisala* и дозиметр ДКГ АТ2503.

Описание преобразователя метеорологических величин *WXT520* фирмы *Vaisala* дано в подразделе 4.1.

**Дозиметр ДКГ АТ2503** (рис. 5.7, *а*) предназначен для измерения индивидуальной эквивалентной дозы и мощности дозы гамма-излучения в широком диапазоне. Этот миниатюрный дозиметр (8,5×4,6×1,6 см) функционален и удобен в использовании, устойчив к вибрациям и электромагнитным воздействиям, оборудован звуковой и светодиодной сигнализацией. В качестве детектора применяется счетчик Гейгера – Мюллера СБМ-21 (рис. 5.7, *б*). Счетчик СБМ-21 представляет собой газоразрядную трубку. Анодом такого счетчика служит вольфрамовая трубочка, катодом — металлический патрон, предохраняющий трубку от механических повреждений, в который вставляется трубка.

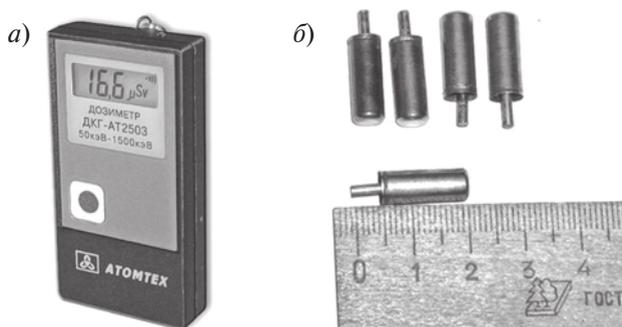


Рис. 5.7. Дозиметр ДКГ АТ2503:

*а* — внешний вид; *б* — датчик-счетчик Гейгера–Мюллера СБМ-21

Управление режимами работы ДКГ АТ2503, выполнение вычислений, вывод информации на ЖК индикатор выполняются микропроцессором.

Наличие энергонезависимой памяти позволяет запомнить и сохранить при отключенном питании накопленную дозу, историю накопления дозы.

Дозиметр ДКГ АТ2503 может использоваться автономно или в составе системы дозиметрического контроля: дозиметр — устройство считывания (УС) — ПЭВМ. Связь дозиметра с УС осуществляется по инфракрасному каналу, а УС с ПЭВМ — по стандартному интерфейсу RS 232.

Технические характеристики дозиметра ДКГ АТ2503 и диапазоны измерений приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

**Технические характеристики и диапазон измерения дозиметра ДКГ АТ2503**

Характеристика	Показатель
Диапазон измерения эквивалентной дозы	от 1 мкЗв до 10 Зв
Диапазон измерения мощности эквивалентной дозы,	0,1 мкЗв/ч — 0,5 Зв/ч
Пределы допускаемой погрешности при измерении дозы, %	$\pm 15$
Пределы допускаемой погрешности при измерении мощности дозы, %: — от 0,1 до 0,99 мкЗв/ч — свыше 1 мкЗв/ч	$\pm 25$ $\pm 15$
Время реагирования на изменение мощности дозы при мощности дозы $>10$ мкЗв/ч	5 с
Время установления рабочего режима	60 с

Самое широкое применение метеорологический комплекс нашел в областях атмосферной экологии и охраны труда, в научных исследованиях, касающихся физики атмосферы, а также в вопросах изучения движения звуковых и электромагнитных волн в атмосфере.

## 6. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Загрязнение окружающей среды различными предприятиями также наносит огромный вред не только природе, но и людям, живущим поблизости. Станции мониторинга атмосферного воздуха (рис. 6.1) стали надежным помощником в решении практических природоохранных задач и важным элементом системы обеспечения экологической безопасности людей. Во многом это связано с тем, что состав станций не остается неизменным. Он непрерывно совершенствуется, синхронно с развитием города, оперативно реагируя на изменения в градостроительной, промышленной, транспортной сферах. Ежегодно производится корректировка сети автоматических станций мониторинга, списка контролируемых загрязняющих веществ и метеорологических параметров, влияющих на загрязнение воздуха.

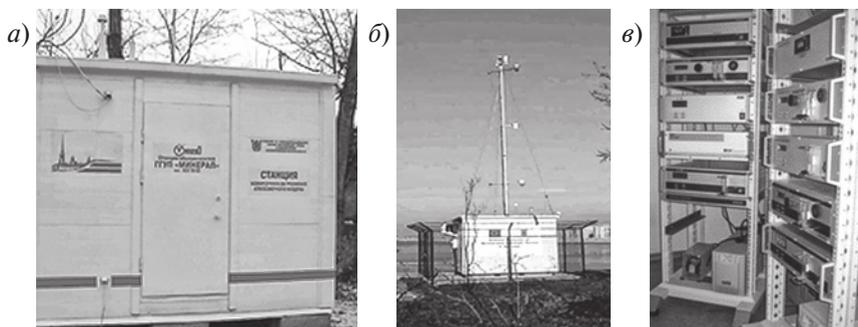


Рис. 6.1. Автоматическая станция мониторинга  
загрязнения атмосферного воздуха:

- а* — внешний вид; *б* — станция, оборудованная метеорологической мачтой;  
*в* — стойки для размещения оборудования

Станция не требует постоянного присутствия наблюдателя, оборудована источниками бесперебойного питания, пожарной сигнализацией, а также сигнализацией отключения питания. Для получения данных о метеопараметрах (в зависимости от поставленных задач) может комплектоваться метеовышкой (рис. 6.1, *б*) и стандартным набором датчиков. Внутри станции в специальных аппаратных шкафах (рис. 6.1, *в*) располагаются газоанализаторы, определяющие качественный и количественный состав смесей газов.

Информация об уровне загрязнения атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге поступает с 21 автоматической станции контроля загрязнения атмосферы (ГГУП «СФ Минерал»). Станции расположены во всех функциональных зонах города, начиная от чистых, фоновых территорий природных парков и заканчивая городскими «очагами» загрязнения — автотрассами.

Адреса расположения автоматических станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в г. Санкт-Петербург указаны в табл. 6.1. Расположение двадцати одной станции на карте представлено на рис. 6.2.

*Таблица 6.1*

**Адреса расположения автоматических станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге**

№ станции	Адрес расположения	№ станции	Адрес расположения
1	ул. Проф. Попова, д.48	12	ул. Пестеля, д.1
2	г. Колпино, Красная ул., д.1А	13	ш. Революции, д.84
3	ул. Карбышева, д.7	14	г. Зеленогорск, пляж «Золотой», д.1
4	Малоохтинский пр., д.98	15	Кронштадт, ул. Ильмянинова, д.4
5	пр. Маршала Жукова, д.30, корп.3		
6	В.О., Весельная ул, д.6	16	ул. Севастьянова, д.11
7	ул. Шпалерная, д.56	17	г. Пушкин, Тиньков пер., д.4
8	ул. Королева, д.36, корп.8	18	ул. Ольги Форш, д.6
9	Малая Балканская ул., д.54	19	пр. Маршала Жукова, д.55
10	Московский пр., д.19	20	ул. Тельмана, д.24
11	г. Сестрорецк, ул. Максима Горького, д.2	21	Петродворцовый р-н, ул. Федюнинского, д.3

На автоматических станциях контроля загрязнения круглосуточно, в непрерывном режиме измеряются средние двадцатиминутные концентрации химических веществ (СО, NO, NO<sub>2</sub>, РМ<sub>10</sub>) и метеорологические параметры, определяющие условия рассеивания примесей в атмосфере (скорость и направление ветра, температура, давление, влажность, вертикальная компонента скорости ветра). Контроль метеорологических параметров и загрязнения атмосферного воздуха в режиме реального времени особенно важен в случае чрезвычайных ситуаций, так как позволяет отследить направление перемещения загрязненных воздушных масс и оперативно принять необходимые меры. Данные о состоянии атмосферного воздуха передаются в режиме реального времени в информационно-аналитический центр, где осуществляется хранение, анализ и обработка данных мониторинга.



Рис. 6.2. Расположение автоматических станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге

Фрагмент таблицы исходных данных в формате *Excel* за 1 января 2010 г. по станции № 4, расположенной по адресу Малоохтинский пр., д. 98 (территория РГГМУ), представлен в табл. 6.2.

В первом столбце таблицы указана дата измерения в формате год (xxxx) - месяц (xx) - число (xx) и время измерения в формате час (xx) : минута (xx). Наблюдения проведены с интервалом в 20 мин. В первой строке таблицы указан номер станции, адрес станции, наименование загрязняющих веществ и метеопараметров. Названия загрязняющих веществ написаны латинскими буквами, в скобках указаны единицы измерения концентраций загрязняющих веществ:

- CO — монооксид (оксид) углерода (мг/м<sup>3</sup>);
- NO — оксид азота (мкг/м<sup>3</sup>);
- NO<sub>2</sub> — диоксид азота (мкг/м<sup>3</sup>);
- PM<sub>10</sub> — взвешенные частицы, с размерами менее 10 мкм (мкг/м<sup>3</sup>);

В следующих столбцах сокращенно по-английски написаны названия метеорологических параметров:

- *Rel hum (Relative humidity)* — относительная влажность воздуха, %;
- *Temp (Temperature)* — температура воздуха, °C;
- *Wind dir (Wind direction)* — направление ветра, в градусах;
- *Wind spee (Wind speed)* — скорость ветра, м/с.

Таблица 6.2

Пример таблицы исходных данных за 1 января 2010 г. по станции № 4

	A04 - Malookhtin sky pr. CO 002 [M] Value	A04 - Malookhtin sky pr. NO 002 [M] Value	A04 - Malookhtin sky pr. NO2 002 [M] Value	A04 - Malookhtin sky pr. NH3 002 [M] Value	A04 - Malookhtin sky pr. PM10 002 [M] Value	A04 - Malookhtin sky pr. Rel hum 002 [M] Value	A04 - Malookhtin sky pr. Temp 002 [M] Value	A04 - Malookhtin sky pr. Wind dir 002 [M] Value	A04 - Malookhtin sky pr. Wind spee 002 [M] Value
2010-01-01 00:00	0,40	34,86	24,15		14,85	76,74	-10,52	77,41	1,72
2010-01-01 00:20	0,40	34,17	23,25		15,40	76,80	-10,72	96,03	1,53
2010-01-01 00:40	0,40	35,09	23,26		17,60	76,93	-10,80	113,60	1,31
2010-01-01 01:00	0,40	34,54	22,01		24,50	76,84	-10,73	98,94	1,59
2010-01-01 01:20	0,26	35,28	22,28		41,55	76,62	-10,71	90,87	1,44
2010-01-01 01:40	0,40	35,42	23,33		40,15	76,19	-10,65	99,94	1,69
2010-01-01 02:00	0,42	37,67	26,57		39,50	76,49	-10,99	100,14	1,31
2010-01-01 02:20	0,42	38,47	25,74		37,55	77,06	-11,26	93,06	1,28
2010-01-01 02:40	0,43	40,13	27,08		34,95	76,99	-11,50	94,84	1,30
2010-01-01 03:00	0,42	38,75	26,64		28,95	76,73	-11,77	89,65	1,42
2010-01-01 03:20	0,44	38,46	26,57		24,90	76,66	-12,07	103,13	1,26
2010-01-01 03:40	0,43	40,50	27,12		24,05	76,59	-12,33	119,88	0,98
2010-01-01 04:00	0,42	35,58	24,33		25,25	76,72	-12,62	111,33	1,22
2010-01-01 04:20	0,42	36,69	24,72		22,40	76,60	-12,76	97,81	1,24
2010-01-01 04:40	0,43	38,21	26,49		23,45	76,40	-13,10	85,52	1,07

По количеству автоматических постов контроля качества воздуха, принципам их размещения, методам и периодичности измерений автоматическая система контроля качества воздуха удовлетворяет требованиям директив ЕС.

На сайте экологического портала Санкт-Петербургского комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности, расположенном по адресу: <http://www.infoeco.ru/>, можно получить архивные данные загрязнения атмосферного воздуха в графическом виде по любой из 21 станции, начиная с января 2004 г. Автоматические станции мониторинга атмосферного воздуха будут рассмотрены на примере измерительного комплекса «Скат».

### **6.1. Измерительный комплекс «Скат»**

Измерительный комплекс «Скат» предназначен для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, сбора, обработки, хранения данных, а также для их передачи по проводным и беспроводным каналам связи (телефонные, GSM-каналы, Интернет). В состав комплекса входят автоматические измерительные приборы, программно-аппаратный комплекс ПАК 8816 и системы пробоподготовки. Для получения полной картины возможного распространения загрязняющих веществ комплекс комплектуется метеорологическим оборудованием, например АИИС-ВП2.

В зависимости от поставленных задач комплекс может использоваться для измерения:

- массовой концентрации: оксида углерода (CO);
- оксида азота (NO);
- диоксида азота (NO<sub>2</sub>);
- диоксида серы (SO<sub>2</sub>);
- сероводорода (H<sub>2</sub>S);
- аммиака (NH<sub>3</sub>);
- диоксида углерода (CO<sub>2</sub>);
- метана (CH<sub>4</sub>);
- аэрозольных частиц (пыли) в атмосферном воздухе и др.

Согласно требованиям Росгидромета, полученные данные усредняются с интервалом в 20 мин. В табл. 6.3 указаны измеряемые вещества, диапазоны их измерений, допускаемая погрешность и модель измерительного прибора.

- Оборудование измерительного комплекса «Скат» может быть размещено:
- в стационарных экологических павильонах в специальных стойках;
  - в термоизолирующих шкафах, расположенных вне помещений;
  - в передвижных станциях экологического мониторинга на базе автомобилей КАМАЗ, «Газель», «Форд», «Нива» и др.

Таблица 6.3

**Пределы измерений загрязняющих веществ  
измерительным комплексом «Скат»**

Определяемый компонент	Диапазон измерений, мг/м <sup>3</sup>	Предел допускаемой относительной погрешности, %	Модель анализатора
O <sub>3</sub>	0–0,03 0,03–0,5	– ± 20	3.02П-А
	0–0,1 св. 0,1–1,0 св. 1,0–10,0	– – ± 7	Ф-105
SO <sub>2</sub>	0–0,05 0,05–2	– ± 25	С-310А СВ-320А
	0–0,05 0,05–5	– ± 20	С-105А
NO	0–0,08 0,08–1	– ± 25	Р-310А Н-320А
NO <sub>2</sub>	0–0,08 0,08–1	– ± 25	
CO	0–3 3–50	– ± 20	К-100
H <sub>2</sub> S	0–0,02 0,02–0,2	– ± 25	СВ-320 СВ-320А
NH <sub>3</sub>	0–0,2 0,2–1	– ± 25	Н-320 Н-320А
CH <sub>2</sub> O (формальдегид)	0–0,035 0,035–0,5	– ± 25	ФОРТ-301
Сумма углеводородов (СН)	0–5	–	Гамма-ЕТ
Сумма углеводородов за вычетом метана (НСН)	5–100	± 20	
Пыль (аэрозоль)	0,1–100	± 20	ОМПП-10,0
CO <sub>2</sub>	0–500 500–3700	– ± 20	Оптогаз-500.4С

Комплекс «Скат» может иметь от 2 до 13 измерительных каналов в различных сочетаниях. На рис. 6.3 представлена схема станции с четырьмя измерительными каналами: NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO.

В измерительном комплексе «Скат» предусмотрена возможность замены устаревающего оборудования на новые модели, обладающие лучшими техническими и эксплуатационными характеристиками. Коротко рассмотрим некоторые модели газоанализаторов используемых в измерительном комплексе «Скат».

**Газоанализатор Р-310А** представляет собой стационарный автоматический прибор непрерывного действия (рис. 6.4, а), измеряющий концентрацию оксида и диоксида азота в атмосферном воздухе. Принцип действия газоанализатора основан на определении интенсивности

света определенной длины волны (спектра), возникающей при взаимодействии анализируемого компонента ( $\text{NO}_2$ ) с поверхностью датчика (гетерогенная хемилюминесценция). Интенсивность свечения зависит от концентрации анализируемого компонента в газовой смеси.

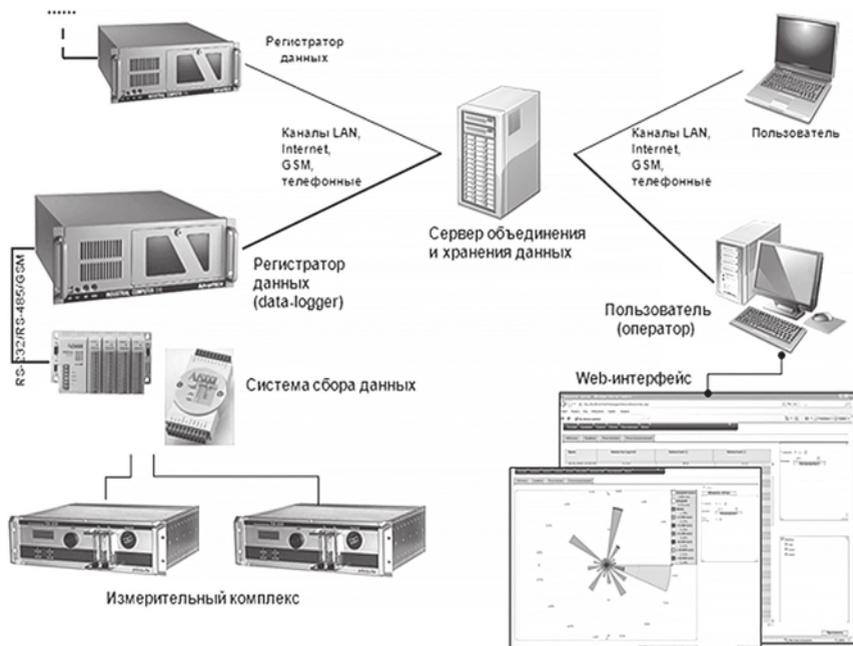


Рис. 6.3. Структура программно-аппаратного комплекса «Скат-РД»



Рис. 6.4. Газоанализатор Р-310А:  
*а* — внешний вид прибора; *б* — хемилюминесцентный датчик

Датчик газоанализатора Р-310А (см. рис. 6.4, *б*) представляет собой подложку из фильтровальной ткани диаметром 25 мм и толщиной до 1 мм с нанесенным на нее раствором композиции.

Прибор Р-310А обеспечивает непосредственное отображение на цифровом табло текущей концентрации оксида и диоксида азота или усредненных значений за 20 или 60 мин измерений. Передача данных происходит через интерфейсы *RS-232* и *RS-485*. Технические характеристики газоанализатора Р-310А и диапазон измерения представлены в табл. 6.4.

Таблица 6.4

**Технические характеристики и диапазон измерения стационарного хемилуминесцентного газоанализатора Р-310А**

Характеристика	Показатель
Диапазон измеряемых концентраций NO, NO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>	от 0 до 1
Разрешение прибора, мг/м <sup>3</sup>	0,001
Относительная погрешность измерения, %	25

**Газоанализатор К-100** (рис. 6.5) используется для определения концентрации СО в атмосферном воздухе. В основу работы газоанализатора положен электрохимический метод определения концентрации газа. Измеряемый газ, путем диффузии, проникает в сенсор (электрохимический датчик), в результате чего на электродах датчика возникает электрический ток, пропорциональный концентрации газа. Возникающее при этом напряжение поступает на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и преобразуется в цифровой сигнал. Результат измерения отображается на жидкокристаллическом индикаторе.



Рис. 6.5. Газоанализатор К-100

Газоанализатор К-100 оснащен последовательным *RS-232* и *RS-485* интерфейсом и может использоваться как автономно, так и в составе измерительных аналитических комплексов. Технические характеристики газоанализатора К-100 и диапазон измерения оксида углерода представлены в табл. 6.5.

Таблица 6.5

**Технические характеристики и диапазон измерения  
электрохимического газоанализатора К-100**

Характеристика	Показатель
Диапазон измеряемых концентраций CO, мг/м <sup>3</sup>	от 0 до 50
Номинальная цена единицы наименьшего разряда индикатора, мг/м <sup>3</sup>	0,1
Относительная погрешность измерения, %	±20

*Газоанализатор «Оптогаз-500.4»* (рис. 6.6) предназначен для измерения объемной концентрации диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) в атмосферном воздухе. В основу работы прибора положен принцип инфракрасного поглощения, что позволяет получить высокую избирательность и малое время отклика при проведении измерений. Передача данных происходит через RS-232 (RS-485) интерфейс. Технические характеристики газоанализатора «Оптогаз-500.4» и диапазон измерения CO<sub>2</sub> представлены в табл. 6.6.



Рис. 6.6. Газоанализатор «Оптогаз-500.4»

Таблица 6.6

**Технические характеристики и диапазон измерения  
газоанализатора «Оптогаз-500.4»**

Характеристика	Показатель
Диапазон измеряемых концентраций CO <sub>2</sub>	0–2000 млн <sup>-1</sup>
Абсолютная погрешность измерения в диапазоне 0–300 млн <sup>-1</sup>	± 60 млн <sup>-1</sup>
Относительная погрешность измерения в диапазоне 300–2000 млн <sup>-1</sup> , %	± 20

*Полуавтоматический пылемер ОМПН-10.0* (рис. 6.7) предназначен для измерения массовой концентрации аэрозольных частиц различного происхождения и химического состава при контроле превышения предельно допустимых концентраций в атмосферном воздухе.

Принцип действия ОМПН-10.0 основан на использовании оптического и гравиметрического методов. Оптический датчик регистрирует рассеянное излучение и вместе с этим анализируемая проба воздуха принудительно

прокачивается через аналитический фильтр. Оптический блок обеспечивает измерение концентрации взвешенных частиц в непрерывном режиме. Когда значения массовой концентрации аэрозольных частиц превышают порог срабатывания сигнализации, автоматически включается электроаспиратор и отбирается проба анализируемого воздуха на аналитический фильтр. Определение массовой концентрации взвешенных частиц производится гравиметрическим методом. Данные передаются через RS-232 интерфейс. Технические характеристики ОМПН-10.0 и диапазон измерения массовой концентрации аэрозольных частиц представлены в табл. 6.7.



Рис. 6.7. Измеритель массовой концентрации аэрозольных частиц ОМПН-10.0

Таблица 6.7

**Технические характеристики и диапазон измерения газоанализатора Оптима-500.4**

Характеристика	Показатель
Диапазон измерения массовой концентрации аэрозоля, мг/м <sup>3</sup>	от 0,01 до 100
Номинальная цена единицы наименьшего разряда индикатора оптического блока, мг/м <sup>3</sup>	1
Относительная погрешность измерения, %	± 20

Метеорологическое оборудование комплекса «Скат» может быть представлено автоматизированной информационно-измерительной системой ВП2.

**АИИС-ВП2** (рис. 6.8) — измерительная система, включающая в себя специальное программное обеспечение, метеостанцию *Vantage Pro-2*, измеритель влажности и температуры, преобразователь параметров воздушного потока, барометр, предназначена для обеспечения метеорологической информацией работ, связанных с экологией, климатологией, метеорологией. Система имеет пять измерительных каналов. Проводит автоматические измерения температуры и относительной влажности воздуха, скорости и направления воздушного потока, атмосферного давления, обрабатывает и отображает данные на дисплее, формирует метеорологические сообщения, регистрирует и архивирует данные.



Рис. 6.8. Измерительная система АИИС-ВП2:

а — метеостанция *Vantage Pro-2*; б — АИИС-ВП2, установленная на передвижной лаборатории экологического контроля

АИИС-ВП2 выпускаются в трех модификациях:

- АИИС-ВП21 — это базовый комплект со специальным программным обеспечением, позволяющим использовать метеостанцию *Vantage Pro-2* в системе АИИС-ВП2;
- АИИС-ВП22 — расширенный комплект со специальным программным обеспечением, блоком сопряжения и метеостанцией *Vantage Pro-2*;
- АИИС-ВП23 — также расширенный комплект со специальным программным обеспечением, блоком сопряжения, регистратором данных и метеостанцией *Vantage Pro-2*.

Система оборудована последовательным интерфейсом — *RS-232* и цифровой индикацией. Технические характеристики АИИС-ВП2, укомплектованной метеостанцией *Vantage Pro-2* и диапазоны измеряемых метеорологических величин представлены в табл. 6.8.

Основой системы сбора и обработки информации комплекса является ПАК-8816, разработанный в России в 2008 г. Программно-аппаратный комплекс ПАК-8816 включает в себя:

- систему, получающую данные от измерителей и передающую информацию через интерфейс *RS-232*;
- автономный регистратор данных, формирующий базу данных автономной станции и передающий данные на сервер через *Internet*, *GSM* и телефонные каналы;
- сервер объединения и хранения данных, который формирует общую базу данных, передает ее пользователям *web*-интерфейса, а также формирует информацию о тревогах.

Программно-аппаратного комплекс ПАК-8816 позволяет получить данные в табличном и графическом виде (рис. 6.9, а,б) с возможностью формирования розы ветров и розы концентраций (рис. 6.9, в). Данные можно экспортировать в форматы *Excel*, *HTML*, *PNG*.

Таблица 6.8

**Технические характеристики АИИС-ВП2, укомплектованной метеостанцией Vantage Pro-2, и диапазон измерения метеорологических величин**

<i>Канал измерения температуры воздуха</i>	
Диапазон измерения температуры воздуха, °С	от -45 до +60
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерений, °С	± 0,5
<i>Канал измерения относительной влажности воздуха</i>	
Диапазон измерения относительной влажности, %	от 10 до 100
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерений, %	± 10
<i>Канал измерения атмосферного давления</i>	
Диапазон измерения атмосферного давления, гПа	от 880 до 1080
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерений, гПа	± 1
<i>Канал измерения скорости воздушного потока</i>	
Диапазон измерений скорости воздушного потока (V), м/с	от 1 до 60
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерений, м/с	± (0,8 + 0,1V)
<i>Канал измерения направления воздушного потока</i>	
Диапазон измерений направления воздушного потока, градус	от 0 до 360
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерений, градус	± 7

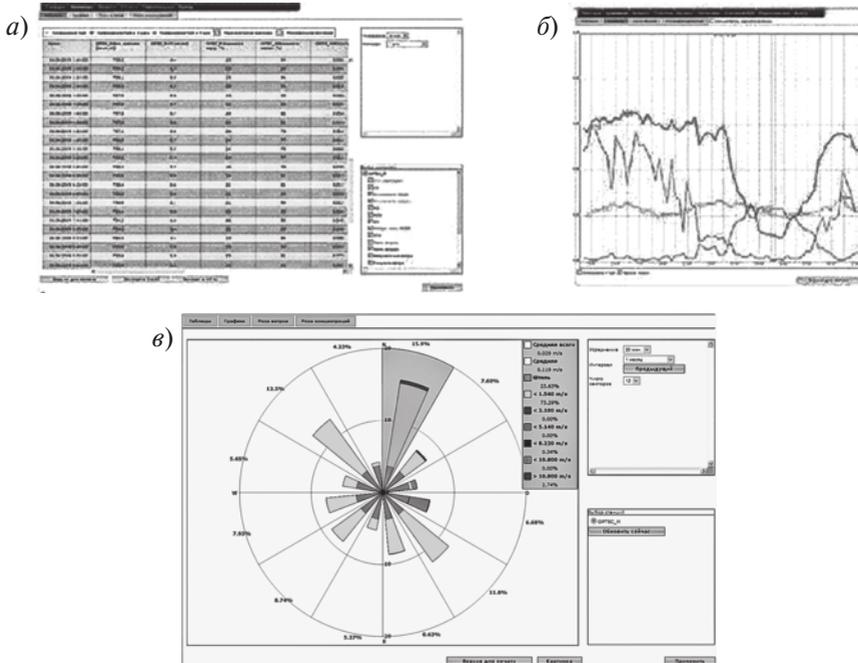


Рис. 6.9. Способы представления информации ПАК-8816:  
 а — табличный вид; б — графический вид; в — роза концентраций

Программное обеспечение «Скат» позволяет обработать полученные данные, сформировать суточные (табл. 6.9), квартальные, месячные и годовые отчеты.

Измерительные комплексы «Скат» эксплуатируются в Санкт-Петербурге, Смоленске, Туле, Томске, Челябинске, Екатеринбурге, Калининграде, Казахстане и др.

## 6.2. Лаборатория экологического мониторинга

Дополнительным источником информации о качестве атмосферного воздуха является передвижная экологическая лаборатория (рис. 6.10). Лаборатория экологического мониторинга доберется практически в любую точку страны со всем необходимым для исследований оборудованием. Лаборатория экологического мониторинга предназначена для определения состояния атмосферного воздуха, воды и почв в полевых условиях. Специальное оборудование позволяет осуществить экспресс-диагностику и получить данные исследований непосредственно в местах проведения работ.

Территории, не охваченные стационарными постами, но по которым поступают жалобы населения, обследуются по специальным программам с использованием возможностей передвижной лаборатории, которая может работать и как стационарный пост, и проводить измерения в движении, что важно при исследовании уровня загрязнения атмосферного воздуха на автотрассах. Передвижная экологическая лаборатория оснащена газоаналитическим оборудованием для измерения приоритетных загрязняющих веществ (оксид углерода, оксиды азота, углеводороды, метан, озон и диоксид серы) в автоматическом режиме, аппаратурой для измерения метеопараметров (например, АИИС-ВП2) и системой автоматизированного пробоотбора для отбора проб и последующего лабораторного анализа по веществам, содержание которых нельзя измерить автоматически.

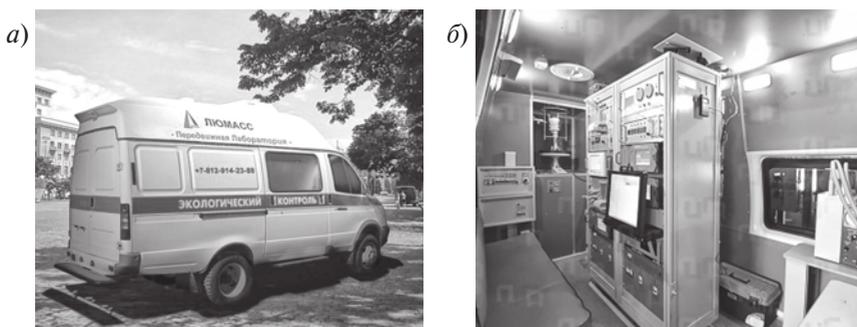


Рис. 6.10. Передвижная экологическая лаборатория:  
а — внешний вид; б — рабочее место специалиста

Таблица 6.9 (начало)

Данные суточных наблюдений с помощью газоанализаторов  
или других приборов и устройств непрерывного действия (ТЗА-4)

Наименование станции:	Компонент: СО											Год: 2006			Период: ч>ПДК
	Среднесуточная концентрация, мкг/м <sup>3</sup> часы											Концентрация, мкг/м <sup>3</sup>			
	1	2	3	...	22	23	24	Средняя	СКО	Макс	Мес.яч. в				
1	0,0665	0,0666	0,0665	...	1,1647	1,1333	0,9923	0,5241	0,4231	1,2767	0				
2	0,8323	0,8477	0,8413	...	1,1527	0,7500	0,3863	1,2429	0,5080	2,5817	0				
3	0,3763	0,4083	0,3823	...	1,2340	1,2960	1,2087	1,2012	0,8165	1,9677	0				
4	0,9557	0,6957	0,5977	...	1,6713	1,3427	1,1653	1,3116	0,4960	1,9100	0				
5	1,1267	0,8887	0,8610	...	1,1760	1,2747	0,8947	0,9375	0,1736	1,2747	0				
6	1,9077	3,2540	3,2473	...	0,8387	0,9420	0,9763	1,1652	0,7787	3,2540	0				
7	0,8060	0,6967	0,7043	...	1,2460	1,2190	1,2377	1,1046	0,3602	2,0477	0				
8	0,6953	0,6180	0,6907	...	1,1363	1,0600	1,1220	1,0124	0,2921	1,8857	0				
9	1,2773	1,6447	1,3990	...	1,1710	1,3597	1,1023	1,3939	0,3919	2,4463	0				
10	0,9300	0,7350	0,5960	...	0,9267	0,8620	1,0217	1,1532	0,4173	1,8493	0				
11	1,0013	0,7833	0,5547	...	1,6030	1,6763	1,2707	1,2515	0,4913	2,0503	0				
12	0,9840	1,1943	1,5670	...	1,1117	1,2717	1,3183	1,1855	0,1771	1,5670	0				
13	1,2393	1,2407	0,8347	...	1,1643	1,2590	0,8807	0,8463	0,1972	1,2530	0				
14	0,6567	0,7800	0,7877	...	1,8263	1,8880	1,4420	1,2749	0,4733	1,9873	0				
15	1,0830	0,8413	0,6823	...	1,2787	1,1490	0,7100	1,2206	0,4961	2,0633	0				
16	0,6947	0,8213	0,7837	...	0,4660	0,3723	0,5637	0,7175	0,1728	1,0320	0				
17	0,8657	0,8490	0,6047	...	0,8083	0,9150	0,8527	0,7139	0,1327	1,0083	0				

Окончание табл. 6.9

18	1,0687	1,1330	1,0600	...	0,8180	0,8187	0,8080	1,1114	0,4752	2,1570	0
19	1,0213	1,5133	1,9100	...	1,5207	1,5230	1,9337	1,1618	0,3605	1,9337	0
20	2,6113	3,6053	3,2100	...	1,4960	1,6297	1,5933	1,7192	0,9707	3,5053	0
21	1,3203	1,3423	1,2340	...	1,9313	2,0290	1,9147	1,8238	0,7230	3,9807	0
22	1,9530	1,7700	1,5983	...	1,5250	1,6740	1,5737	1,9469	0,5045	3,1300	0
23	1,1187	0,7237	0,8113	...	1,3007	1,4348	1,2617	1,2381	0,4250	2,2607	0
24	1,0163	0,7087	0,5233	...	1,6460	1,2307	0,9257	1,4386	0,8633	2,5367	0
25	0,6730	0,6007	0,6633	...	1,7363	1,4210	1,3667	1,6683	0,8248	3,1163	0
26	1,1737	1,0297	0,8637	...	1,5200	1,6673	1,7140	1,2231	0,3046	1,7517	0
27	1,6033	1,3497	1,2193	...	1,3130	1,6413	1,6613	0,9913	0,3447	1,6813	0
28	1,5710	1,3643	0,9900	...	1,1517	0,9903	1,0703	1,7342	0,7193	3,3043	0
29										0,0000	0
30										0,0000	0
31										0,0000	0
Сред. за мес.	1,0938	1,1146	1,0412		1,2631	1,2769	1,1707	1,2218	0,4647	1,9646	0,0000

## Примечание

1. Средняя концентрация за месяц рассчитывается как среднее значение массива соответствующего столбца таблицы.
2. Максимальные значения и СКО рассчитываются из массива средних за 20 минут концентраций.
3. Среднее значение концентрации за сутки берется из распечатки показаний газоанализатора.
4. ПДК - 5 мг/м<sup>3</sup>

Действующая система мониторинга решает следующие задачи, связанные с управлением качеством воздуха, в том числе:

- контроль за соблюдением государственных и международных стандартов качества атмосферного воздуха;
- получение объективных исходных данных для разработки природоохранных мероприятий, градостроительного планирования и планирования транспортных систем;
- информирование общественности о качестве атмосферного воздуха и развертывание систем предупреждения о резком повышении уровня загрязнения;
- проведение оценки воздействия на здоровье загрязнения воздуха;
- оценка эффективности природоохранных мероприятий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Автоматизированная* информационно-измерительная система «Погода». Инструкция. Производство наблюдений на метеорологических станциях, оснащенных АИИС «Погода», 2006. — 52 с.
2. *Анемометр* WAA15A/151. Руководство пользователя. — Vaisala, 1996. С. 1–6.
3. *Базлова Т.А., Бочарников Н.В., Солонин А.С.* Автоматизированная система метеорологического обеспечения службы содержания автомобильных дорог. — Дороги России XXI века. 2002. № 1. С. 93–95.
4. *Базлова Т.А.* Автоматизированная информационно-измерительная система «Метео-Трасса» // Строительство и дорожное хозяйство, 2010.
5. *Базлова Т.А., Бочарников Н.В., Виноградов М.С.* Комплексный подход к метеорологическому обеспечению и зимнему содержанию дорог на его основе. Государственное научно-производственное предприятие «Спецавтоматика».
6. *Богаткин О.Г.* Авиационная метеорология: учебник. — СПб.: РГГМУ, 2005. — 328 с.
7. *Григоров Н.О., Саенко А.Г., Восканян К.Л.* Методы и средства гидрометеорологических измерений // Метеорологические приборы: учебник. — СПб.: РГГМУ, 2012. — 306 с.
8. *Комплекс АМАС «Авиа-1».* Автоматизированное рабочее место наблюдателя. Руководство оператора, 2000.
9. *Датчик* температуры и влажности воздуха НМР45D. Руководство по эксплуатации. — Vaisala, 1999. С. 5–9. Термокартирование автомобильных дорог. Семинар-совещание «Метеорологическое обеспечение дорожного движения и зимнего содержания автомобильных дорог». — Краснодар, 2007.
10. *Дивинский Л.И., Кузнецов А.Д., Солонин А.С.* Комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция — КРАМС-4: учебное пособие. — СПб.: РГГМУ, 2010. — 66 с.
11. *Измерение* солнечного излучения в солнечной энергетике. Kipp&Zonen. — 16 с.
12. *Измерители* дальности видимости (фотометры импульсные) ФИ-3. Государственный реестр средств измерений. Рег. № 25813-07, 2007. С. 1–4.
13. *Измерители* параметров ветра ИПВ-01 Государственный реестр средств измерений. Рег. № 24996-03, 2008. С. 1–3.
14. *Измерители* влажности и температуры НМР155. Государственный реестр средств измерений. Рег. № 42941-09, 2009. С. 1–3.
15. *Институт* радарной метеорологии. Метеорологическое оборудование аэродромов и его эксплуатация. — СПб.: Гидрометеоиздат, 2003. — 591 с.

16. *Институт* радарной метеорологии. Метеорологические измерения на аэродромах. — СПб.: Гидрометеоиздат, 2008. — 427 с.
17. «*Интеллектуальные*» пиранометры. Kipp&Zonen. — 4 с.
18. *Интерактивный* тренажерный комплекс «Программный комплекс для автоматизированного актинометрического комплекса».
19. *Интерактивный* тренажерный комплекс «Автоматизированный метеорологический комплекс. Автоматическая метеорологическая станция».
20. *Интерактивный* тренажерный комплекс «Метеоролог».
21. *Комплекс* АМАС «Авиа-1». Руководство по эксплуатации. 2001, А-ЕЛ.416319.001 РЭ.
22. *Крюкова С.В.* Контроль загрязнения природной среды. Лабораторный практикум. — СПб.: РГГМУ, 2015. — 46 с.
23. *Лысюк В.С.* Надежность железнодорожного пути / под ред. В.С. Лысюка. — М.: Транспорт, 2001. — 286 с.
24. *Метеорологическая станция «Перископ».* Руководство по эксплуатации, 2014. — 31 с.
25. *Наставление* гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3. Ч. I. Метеорологические наблюдения на станциях. — Л.: Гидрометеоиздат, 1985. — 307 с.
26. *Нефелометры* FD12/FD12P. Приложение к свидетельству № 49528 об утверждении типа средств измерений, 2013. С. 1—4.
27. *Окоренков В.Ю., Щербина А.В.* Обеспечение достоверности информации, получаемой наземной наблюдательной сетью Росгидромета: метрологическая надежность и стабильность автоматических метеорологических информационно-измерительных систем — ЦНИТ «Астерион» // Общество. Среда. Развитие. 2013. № 4. С. 235—240.
28. *Облакомер* CL31. Руководство пользователя. M210482 RU-B. — Vaisala, 2005. — 131 с.
29. *Осадкомеры* RG13/RG13H. Государственный реестр средств измерений. Рег. № 14896-09, 2009. С. 1—3.
30. *Пиранометры.* Kipp&Zonen. — 4 с.
31. *Пиргелиометры.* Kipp&Zonen. — 4 с.
32. *Поверхностный* датчик температуры серии Real Lab Модель NL-1S011-S. Техническое описание и руководство по эксплуатации. Версия от 12 ноября 2010 г. НИЛ автоматизации проектирования, Таганрог, 347924.
33. *Положение* о гидрометеорологической службе железнодорожного транспорта. Утверждено МПС 28.08.1997 N ЦПМ—2/13.
34. *Правила* эксплуатации метеорологического оборудования аэродромов гражданской авиации / В.И. Кондратюк, Р.А. Круглов, Е.В. Романов, В.Ю. Окоренков, В.С. Огуряев, Л.М. Рябова, Т.В. Калинкина. РД 52.04.716. — СПб.: РГГМУ, 2009.
35. *Преобразователи* атмосферного давления, измерительные серии РТВ100. Государственный реестр средств измерений. Рег. № 14897-01, 2001. С. 1—3.

36. *Приборы для определения продолжительности солнечного сияния* Пеленг ВК-05. Государственный реестр средств измерений. Рег. № 37018-08. 2007. — 4 с.
37. *Приложение к свидетельству об утверждении типа средств измерений* № 42807. — М., 2011. — 7 с.
38. *Приложение к свидетельству об утверждении типа средств измерений* № 44497. — М., 2011. — 3 с.
39. *Режим, диагноз и прогноз ветрового волнения в морях и океанах* / под ред. Е.С. Нестерова. — М., 2013. — 337 с.
40. *Рекомендации по эксплуатации автоматизированных метеорологических комплексов в наблюдательных подразделениях.* — СПб., 2014. — 48 с.
41. *Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений.* 6-е изд., № 8 (документы ВМО). — Женева: ВМО, 2000. — 305 с.
42. *Русское описание работы с датчиком температуры DS18B20, MEGETEX.*
43. *Системы слежения за солнцем.* Kipp&Zonen. — 4 с.
44. *Солонин А.С.* Состояние и перспективы развития автоматизированных систем метеорологического обеспечения авиации. // Труды Международной конференции по авиационной и спутниковой метеорологии. — СПб.: РГГМУ, 2008. С. 11–14.
45. *Станции автоматические метеорологические судовые C-5 SAM.* Государственный реестр средств измерений. Рег. № 34985-07, 2007. С. 1–4.
46. *Станция MAWS. Vaisala HydroMet.* Руководство пользователя. — Vaisala, 2006. С. 7–8.
47. *Судовая метеорологическая станция «Перископ».* Электронный каталог «Судовые системы». С. 22–24.
48. *Термометры сопротивления DTS12A/G/W* Государственный реестр средств измерений. Рег. № 43243-09, 2009. — С. 1–3
49. *Толмачева Н.И.* Методы и средства гидрометеорологических измерений для метеорологов: учебное пособие — Пермь: Перм. ун-т, 2011. — 223 с.
50. *Флюгер WAV15A/151.* Руководство пользователя. — Vaisala, 1996. С. 7–9.
51. *Цифровые барометры серии PTB220.* Руководство пользователя. — Vaisala, 2000. С. 3.
52. *Weather Station Instrument. Owner's Guide & Installation Instructions.* — Air mar Technology Corporation, 2012. P. 1–23.
53. *Wind Observer 65. User Manual.* — Gill Instruments Limited, 2014. P. 1–59.
54. *Виртуальная лаборатория гидрометеорологических измерений ГГО им. А.И.Воейкова* [Электронный ресурс]. — URL: <http://tech.meteorf.ru/>
55. *О деятельности Росгидромета в 2014 г. и приоритетных задачах на 2015 г.* [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.meteorf.ru/special/press/releases/9015/>
56. *Ресурс «www.all-pribors.ru»:* портал [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.all-pribors.ru/si/izmeriteli-vysoty-oblakov-dvo-2-42369> (дата обращения: 21.05.2014).

57. *Сайт* spmeteo.ru, посвященный автоматическим метеорологическим станциям [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.spmeteo.ru/automatic-weather-stations/amc2000/> (дата обращения: 12.05.2014).
58. *Сайт* ntt.wwf.ru, посвященный международной организации охраны природы [Электронный ресурс]. — URL: [data/publ/altai/metod\\_gydrmet.pdf](data/publ/altai/metod_gydrmet.pdf)
59. <http://www.vaisala.ru/ru/products/Pages/default.aspx>
60. <http://rus.z-wave.me/shop/additional/temperature-sensor-ds18b20/>
61. *High Performance Wind Sensor Model 05103 Wind Monitor*. R.M. Young company, USA [Электронный ресурс]. — URL: [http://www.youngusa.com/Brochures/05103\(0106\).pdf](http://www.youngusa.com/Brochures/05103(0106).pdf)
62. [http://vertodrom.com/?page\\_id=1026](http://vertodrom.com/?page_id=1026)
63. [http://www.iram.ru/iram/p21\\_krams\\_ru.php](http://www.iram.ru/iram/p21_krams_ru.php)
64. <http://peleng.all.biz/>
65. Автоматизированная метеорологическая измерительная система // ООО «Институт информационных датчиков и технологий» [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.d-test.ru/pdf/amis.pdf>
66. <http://sa.ua/meteo/amas/index.shtml?print>
67. <http://pp66.ru/katalog/meteorolog/anemorumbo/vetra/>
68. <http://www.ndbc.noaa.gov/>
69. <http://www.wxt520.ru/>
70. <http://hiline.pro/meteorologicheskaya-laboratoriya.html>
71. <http://www.infoeco.ru/>
72. [http://noreurgeoch.net/index.php?goto=/ACTIVITY\\_RUS/MONITORING\\_RUS/AIR\\_RUS](http://noreurgeoch.net/index.php?goto=/ACTIVITY_RUS/MONITORING_RUS/AIR_RUS)
73. <http://www.optec.ru/>
74. [http://www.iram.ru/iram/p21\\_krams\\_ru.php](http://www.iram.ru/iram/p21_krams_ru.php)
75. Автоматизированная метеорологическая измерительная система // ООО «Институт информационных датчиков и технологий» [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.d-test.ru/pdf/amis.pdf>

## СОДЕРЖАНИЕ

Принятые сокращения, определения . . . . .	3
Предисловие . . . . .	7
Введение . . . . .	8
<b>1. АВТОМАТИЧЕСКИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ . . . . .</b>	<b>17</b>
1.1. АМС общего назначения — автоматическая информационно- измерительная система «Погода» . . . . .	18
<i>Общая характеристика автоматической информационно- измерительной системы «Погода» . . . . .</i>	18
<i>Датчики, используемые при комплектации АИИС «Погода» . . . . .</i>	22
<i>Измерительные каналы АИИС «Погода» . . . . .</i>	27
<i>Программное обеспечение АИИС «Погода» . . . . .</i>	32
<i>Формирование архива данных . . . . .</i>	33
1.2. Ультразвуковые анемометры . . . . .	34
1.3. Автоматические метеорологические станции для полевых (экспедиционных) исследований . . . . .	39
1.4. Автоматизированный метеорологический комплекс/ Автоматическая метеорологическая станция (АМК/АМС). . . . .	40
<i>Общая характеристика АМК/АМС . . . . .</i>	40
<i>Датчики, используемые при комплектации АМК (АМС). . . . .</i>	44
<i>Программное обеспечение АМК . . . . .</i>	48
1.5. Актинометрические автоматизированные станции . . . . .	51
<i>Автоматизированный актинометрический комплекс (ААК). . . . .</i>	52
<i>Автоматизированный измерительный комплекс (АИК). . . . .</i>	58
<b>2. АЭРОДРОМНЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ . . . . .</b>	<b>63</b>
2.1. Комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция КРАМС-4 . . . . .	63
2.2. Автоматическая аэродромная метеорологическая станция «Авиа-1» . . . . .	79
<i>Первичные преобразователи метеовеличин . . . . .</i>	82
<b>3. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ДОРОЖНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ (АДМС) . . . . .</b>	<b>87</b>
3.1. Автоматические автодорожные метеорологические станции . . . . .	87
3.2. Автоматическая автодорожная метеорологическая станция «Vaisala ROSA». . . . .	92
3.3. Метеорологические датчики . . . . .	94
<i>Дорожные датчики . . . . .</i>	96
<i>Специальное программное обеспечение автоматизированной системы. . . . .</i>	101

3.4. Автоматическая информационно-измерительная система (АИИС) «Метео-Трасса» .....	103
3.5. Система автоматизированного метеорологического обеспечения КАД .....	108
3.6. Термокартирование автомобильных дорог .....	112
3.7. Автоматические железнодорожные метеорологические станции. . . . . <i>Модуль для измерения погодно-геофизических параметров среды</i> <i>МИПС-001</i> .....	115 119
4. СУДОВЫЕ АМС .....	125
4.1. Судовая метеорологическая станция «Перископ» .....	127
4.2. Визуализация метео данных «Перископ» .....	133
4.3. Буйковые автоматические метеостанции .....	136
5. ПЕРЕДВИЖНЫЕ АМС .....	138
5.1. Метеорологическая станция ПМС-70М .....	139
5.2. Передвижной метеорологический комплекс компании «Русконтроль» .....	143
6. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА .....	146
6.1. Измерительный комплекс «Скат» .....	150
6.2. Лаборатория экологического мониторинга .....	158
Литература .....	162

## CONTENTS

Abbreviations, definitions. . . . .	3
Foreword. . . . .	7
Introduction . . . . .	8
1. AUTOMATIC WEATHER STATIONS OF GENERAL PURPOSE . . . . .	17
1.1. AWS general purpose — automatic information and measuring system “Weather” . . . . .	18
<i>General characteristics of automated information-measuring system</i> “Weather” . . . . .	18
<i>The sensors used for automated information-measuring system “Weather”</i> . . . . .	22
<i>Measuring channels of automated information-measuring system “Weather”</i> . . . . .	27
<i>Software of automated information-measuring system “Weather”</i> . . . . .	32
<i>Formation of the data archive</i> . . . . .	33
1.2. Ultrasonic anemometers . . . . .	34
1.3. Automatic weather stations for the expeditionary research . . . . .	39
1.4. Automated meteorological complex/Automatic weather stations (AMC /AWS) . . . . .	40
<i>General description of AMC/AWS</i> . . . . .	40
<i>The sensors used for AMC/AWS</i> . . . . .	44
<i>Software for AMC</i> . . . . .	48
1.5. Actinometric automated stations. . . . .	51
<i>Automated actinometric complex (AAC)</i> . . . . .	52
<i>Automated measuring complex (AMC)</i> . . . . .	58
2. AUTOMATIC WEATHER STATIONS FOR AIRFIELD . . . . .	63
2.1. Complex radiofrequency airfield weather station KRAMS-4. . . . .	63
2.2. Automatic weather station for airfield AVIA-1 . . . . .	79
<i>The sensors used for airfield weather station</i> . . . . .	82
3. AUTOMATIC ROAD WEATHER STATIONS. . . . .	87
3.1. Automatic highway weather stations . . . . .	87
3.2. Automatic highway weather station «Vaisala ROSA» . . . . .	92
3.3. Meteorological sensors. . . . .	94
<i>Sensors for highway weather stations</i> . . . . .	96
<i>Special software of the automated highway weather stations</i> . . . . .	101
3.4. Automatic information-measuring system (AIMS) “Meteo-Track” . . . . .	103
3.5. Automated meteorological support for ring highway . . . . .	108
3.6. Remote temperature measurement of the road surface . . . . .	112
3.7. Automatic railway weather stations . . . . .	115
<i>Module for measuring weather and geophysical environmental</i> <i>parameters MMEP-001</i> . . . . .	119

4. SHIP AUTOMATIC WEATHER STATIONS. ....	125
4.1. Automatic ship weather station “Periscope” .....	127
4.2. Visualization of weather data from automatic ship weather station “Periscope” .....	133
4.3. Buoy automatic weather station. ....	136
5. MOBILE AUTOMATIC WEATHER STATIONS .....	138
5.1. Weather station PMS-70M .....	139
5.2. Roll meteorological complex of “Ruskontrol” .....	143
6. THE AUTOMATIC AMBIENT AIR MONITORING STATION .....	146
6.1. Measuring complex “Scat” .....	150
6.2. Laboratory of environmental monitoring .....	158
Literature .....	162

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Карина Левановна Восканян  
Анатолий Дмитриевич Кузнецов  
Ольга Станиславовна Сероухова

АВТОМАТИЧЕСКИЕ  
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ  
Часть 1. Тактико-технические характеристики

Учебное пособие

*Выпускающий редактор* Л.Ю. Киреева  
*Редакторы* О.С. Крайнова, Н.И. Афанасьева  
*Технический редактор* Ю.И. Климов

---

Подписано в печать 15.11.16. Формат 60×90 1/16. Гарнитура Newton.  
Печать цифровая. Усл. печ. л. 10,6. Тираж 200 экз. Заказ № 566.  
РГГМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.  
Отпечатано в ЦОП РГГМУ

---