

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
ГЛАВА 1. ИЗМЕРЕНИЯ НА АВТОМАТИЧЕСКИХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ	5
1.1 Общие сведения	5
1.1.1 Определение	5
1.1.2 Назначение	5
1.3 Метеорологические требования	5
1.1.4 Климатологические требования	7
1.1.5 Типы автоматических метеорологических станций	8
1.1.6 Объединение станций в сети	9
1.2 Аппаратное обеспечение автоматических метеорологических станций.	9
1.2.1 Датчики	10
1.2.2 Центральный процессорный блок	14
1.2.2.1 Сбор данных.	15
1.2.2.2 Обработка данных	17
1.2.2.3 Передача данных.	18
1.2.3 Периферийное оборудование.	18
1.3 Программное обеспечение автоматических метеорологических станций.	19
1.3.1 Системное программное обеспечение	19
1.3.2 Прикладное программное обеспечение	20
1.3.2.1 Инициализация	20
1.3.2.2 Выборка и фильтрация	21
1.3.2.3 Преобразование необработанных данных	21
1.3.2.4 Мгновенные значения метеорологических величин.	22
1.3.2.5 Ручной ввод данных наблюдений	22
1.3.2.6 Приведение данных	23
1.3.2.7 Кодирование сообщений	23
1.3.2.8 Контроль качества.	24
1.3.2.9 Хранение данных.	25
1.3.2.10 Передача данных.	26
1.3.2.11 Техническое обслуживание и калибровка	29
1.3.2.12 Представление данных	29
1.4 Соображения относительно мест размещения автоматических метеорологических станций	29
1.5 Обработка данных центральной сети	30
1.5.1 Состав	30
1.5.2 Контроль качества данных сети	30
1.6 Техническое обслуживание и ремонт.	31
1.7 Калибровка.	33
1.8 Обучение персонала	34
СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА	36

ГЛАВА 1. ИЗМЕРЕНИЯ НА АВТОМАТИЧЕСКИХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

1.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1.1 Определение

Автоматическая метеорологическая станция (АМС) определяется как «метеорологическая станция с автоматическим проведением наблюдений и передачей данных» (ВМО, 1992a).

На АМС инструментальные измерения считываются или принимаются центральным блоком сбора данных. Данные, собранные с автономных измеряющих устройств, могут обрабатываться непосредственно на АМС или в другом месте, например, на центральном процессоре сети (ВМО, 2010a). Автоматические метеорологические станции могут быть спроектированы в виде интегральной компоновки различных измерительных устройств в совокупности с блоками для сбора и обработки данных. Подобная комбинированная система приборов, интерфейсов и блоков для обработки и передачи данных обычно именуется автоматизированной метеорологической системой наблюдения (АМСН) или автоматизированной наземной системой наблюдения (АНСН). Обычной практикой стало ссылаться на подобную систему как на АМС, хотя это не является «станцией», полностью соответствующей данному определению. Тем не менее, во всей этой главе АМС может означать именно подобную систему.

1.1.2 Назначение

Автоматические метеорологические станции используются для повышения количества и надежности данных приземных наблюдений. Они достигают этого за счет:

- a) увеличения плотности существующей сети путем получения данных с новых мест их размещения и из труднодоступных или сложных для проживания мест;
- b) проведение наблюдений на обслуживаемых персоналом станциях во внерабочее время;
- c) повышения надежности измерений посредством использования сложной технологии и новых цифровых методов измерений;
- d) обеспечения однородности сетей путем стандартизации методов измерений;
- e) удовлетворения новых потребностей в наблюдениях и соответствия новым требованиям;
- f) уменьшения ошибок персонала;
- g) снижения оперативных расходов благодаря уменьшению числа наблюдателей;
- h) проведения измерений и представления информации с высокой частотой или в течение длительного времени.

1.3 Метеорологические требования

Общие требования, типы, местоположение и состав, частота и сроки наблюдений изложены в документах ВМО (2010b; 2011c).

Принимая во внимание, что АМС в целом рассматриваются как метеорологические станции, которые обеспечивают получение данных, точность которых сопоставима с точностью традиционных станций, к АМС могут также применяться в случае необходимости требования в отношении точности, изложенные в части I, глава 1, настоящего Руководства.

Руководящие указания, содержащиеся в этой главе, необходимо использовать в сочетании с положениями глав, посвященных измерениям различных метеорологических переменных, содержащихся в части I, и, в частности, с положениями глав, посвященных менеджменту качества (глава 1), выборке данных (глава 2) и приведению данных (глава 3) в части IV.

Разработка и установка АМС должны быть результатом определенного скоординированного плана по предоставлению данных пользователям в требуемом формате. Для достижения этого необходимо в первую очередь провести обсуждения с пользователями, с тем чтобы подготовить перечень всех функциональных требований и подготовить практические средства для их выполнения.

Кроме того, не всегда можно полагаться на поставщиков оборудования в оценке оперативных потребностей. Комиссия по приборам и методам наблюдений (КПМН) дает следующую рекомендацию Членам ВМО и соответственно любым службам, проводящим метеорологические измерения.

При рассмотрении вопроса о внедрении новых АМС метеорологическим службам следует:

- a) вводить в эксплуатацию только такие системы, которые сопровождаются необходимым объемом технической документации, с тем чтобы обеспечить достаточную информацию об их возможностях, характеристиках и любых используемых алгоритмах и адекватное понимание этой информации¹;
- b) сохранять и развивать достаточные возможности для технической экспертизы, с тем чтобы иметь возможность самостоятельно формулировать технические требования к системам и оценивать приемлемость технических возможностей и характеристик подобных систем и используемых в них алгоритмов²;
- c) в полной мере изучать потребности пользователей и привлекать пользователей к разработке систем АМС;
- d) привлекать пользователей к проверке и оценке новых автоматизированных систем;
- e) привлекать промышленных производителей к оценке систем и потребностей в совершенствовании технических характеристик;
- f) разрабатывать подробные руководства и документацию по системам для оказания поддержки всем пользователям;
- g) разрабатывать адекватные программы для оказания поддержки, связанной с техническим обслуживанием и калибровкой АМС;
- h) консультироваться и сотрудничать с пользователями, такими как авиационные ведомства, на протяжении всего процесса от конструирования до ввода в эксплуатацию и оперативного использования АМС;

¹ Рекомендовано Комиссией по приборам и методам наблюдений на ее двенадцатой сессии (1998 г.), рекомендация 2 (КПМН-XII).

² Рекомендовано Комиссией по приборам и методам наблюдений на ее двенадцатой сессии (1998 г.), рекомендация 2 (КПМН-XII).

- i) разрабатывать и применять методы предоставления информации для использования на национальном уровне с целью согласования данных наблюдений, полученных как традиционными, так и автоматизированными системами.

В отношении автоматизации традиционных визуальных и субъективных наблюдений и будущих изменений в коде сообщений метеорологическим службам следует улучшить их определение потребностей, касающихся³:

- a) областей применения, в которых данные более не требуются;
- b) областей применения, для которых необходимы иные или новые данные;
- c) приоритетных потребностей в данных, которые должны предоставляться АМС.

При рассмотрении вопроса о разработке и применении алгоритмов для АМС метеорологическим службам следует⁴:

- a) поощрять разработчиков приборов и систем к тесной работе с соответствующими пользователями с целью полного понимания потребностей и проблем пользователей;
- b) проводить совместную работу с разработчиками систем по опубликованию и распространению для широкого использования и возможной стандартизации описаний алгоритмов обработки данных, используемых в их системах для расчета метеорологических переменных;
- c) проводить тщательные испытания и оценку внедряемых новых алгоритмов и систем и распространять результаты испытаний в форме характеристик среди пользователей данных наблюдений;
- d) тщательно оценивать посредством полевых испытаний и взаимного сравнения связь новых алгоритмов и систем с прежними методами и устанавливать функции перехода между ними для обеспечения непрерывного получения и однородности данных, и распространять эти данные среди пользователей.

1.1.4 Климатологические требования⁵

В тех случаях, когда задачей предлагаемой метеорологической станции является обеспечение данными для климатологических записей, важное значение для целостности, однородности и полезности комплектов климатических данных имеет учет следующих вопросов для принятия соответствующих мер (см. ВМО, 1993):

- a) в тех случаях, когда АМС заменяет неавтоматизированную наблюдательную систему, которая эксплуатировалась в течение долгого времени, необходимо обеспечить достаточное перекрытие в работе наблюдательных систем, с тем чтобы содействовать сохранению однородности исторических данных⁶. Время перекрытия зависит от разных измеряемых переменных и от климатического региона. В тропических регионах и на тропических островах время перекрытия может быть меньшим по сравнению с внетропическими и горными регионами. Для обеспечения

³ Рекомендовано Комиссией по приборам и методам наблюдений на ее двенадцатой сессии (1998 г.), рекомендация 5 (КПМН-ХII).

⁴ Рекомендовано Комиссией по приборам и методам наблюдений на ее двенадцатой сессии (1998 г.), рекомендация 2 (КПМН-ХII).

⁵ Рекомендовано Комиссией по приборам и методам наблюдений на ее двенадцатой сессии (1998 г.), рекомендация 3 (КПМН-ХII).

⁶ Примите к сведению также публикацию ВМО (2010a), раздел 3.2.1.4.4.4(c) — «один год параллельных измерений является недостаточным; предпочтение отдается периоду, по крайней мере, в два года, в зависимости от климатического региона».

достаточного эксплуатационного перекрытия между существующими и новыми автоматизированными системами предлагаются следующие общие руководящие указания:

- i) скорость и направление ветра: 12 месяцев
- ii) температура, влажность, солнечное сияние, испарение: 24 месяца
- iii) осадки: 60 месяцев

(Зачастую предпочтительным будет наличие омброметра, функционирующего одновременно с автоматическим дождемером.)

Полезным компромиссным вариантом был бы период перекрытия продолжительностью в 24 месяца (т. е. два сезонных цикла);

- b) точные метаданные должны сохраняться для каждой установленной АМС⁷;
- c) следует стандартизировать процедуры обеспечения качества и обработки данных с АМС (см. раздел 1.3.2.8);
- d) существующие и будущие требования пользователей климатических данных должны быть точно определены и учитываться при подготовке заявлений о требованиях в отношении автоматизированных наблюдений, осуществляемых АМС⁸;
- e) пользователей климатических данных необходимо обучать наиболее эффективному пользованию данными АМС⁹;
- f) следует разработать спецификации для стандартизированной климатологической АМС, которые будут регистрировать базовый набор таких климатических переменных, как температура, осадки, давление и ветер. Следует включить унифицированные измерения водяного пара ввиду значимости этого параметра в исследованиях изменения климата. Экстремальные величины всех переменных следует точно и последовательно регистрировать таким способом, который может быть точно соотнесен с более старыми данными наблюдений, полученными вручную¹⁰.

1.1.5 Типы автоматических метеорологических станций

Автоматические метеорологические станции используются для удовлетворения различных потребностей, начиная от простого дополнения к комплекту средств наблюдений на обслуживаемых станциях и кончая заменой наблюдателей на полностью автоматических станциях. АМС можно классифицировать в несколько функциональных групп; однако эти группы часто перекрывают друг друга, и такая классификация нарушается. Обычно АМС подразделяются на станции, которые обеспечивают поступление данных в масштабе реального времени (оперативные), и станции, которые регистрируют данные для неоперативного применения или автономного анализа. Однако зачастую обе эти функции могут выполняться одной и той же АМС.

Оперативная АМС: станция, которая обеспечивает пользователей данными метеорологических наблюдений в режиме реального времени, как правило, в заранее запрограммированные сроки, а также в критических условиях или по запросу извне. Типовое оперативное использование – это обеспечение синоптическими данными и мониторинг опасных явлений, таких как ураганы, а также уровней рек или приливов.

⁷ См. часть I, глава 1, раздел 1.1.3.

⁸ См. часть I, глава 1, приложение 1.Е.

⁹ Например, см. ВМО (WMO, 1997), особенно часть II – «Соображения относительно осуществления и обучения пользователей».

¹⁰ Там же.

Неоперативная АМС: станция, которая наряду с возможным отображением текущих данных регистрирует данные на внутренние или внешние устройства хранения данных. Для передачи накопленных данных удаленному пользователю требуется вмешательство наблюдателя. К типовым станциям этой группы относятся климатологические станции и станции, являющиеся вспомогательными в работе наблюдателя.

Оба типа станций можно по выбору оснастить средствами для ручного ввода или редактирования данных визуальных или объективных наблюдений, которые еще нельзя полностью автоматизировать, таких как текущая и прошедшая погода, или наблюдений, которые связаны с большими расходами, таких как высота нижней границы облаков и видимость. Такую станцию можно назвать частично автоматизированной или полуавтоматической.

Поскольку стоимость АМС может быть весьма высокой, ее возможности можно также использовать с целью удовлетворения общих и специальных нужд и требований нескольких применений, таких, как синоптическая, авиационная и сельскохозяйственная метеорология, гидрология и климатология. Их можно также использовать для специальных целей, таких как безопасность ядерной энергетики, качество воздушной и водной сред, метеорологические условия на дорогах. Таким образом, некоторые АМС являются многоцелевыми автоматизированными метеорологическими станциями.

1.1.6 **Объединение станций в сети**

АМС обычно являются частью сети метеорологических станций, при этом каждая станция с помощью различных средств передает свои обработанные данные в центральную сетевую систему обработки данных. Поскольку задачи, выполняемые этой центральной системой, тесным образом связаны и зачастую дополняют задачи АМС, то необходимо очень хорошо координировать функциональные и технические требования как к центральной системе, так и к АМС.

При планировании установки и работы сети АМС важное значение имеет рассмотрение различных проблем, связанных с эксплуатацией и калибровкой средств, их организацией, а также с подготовкой и обучением технического персонала. Вопросы плотности сети не рассматриваются в настоящем Руководстве, поскольку их решение определяется конкретными применениями. Тем не менее, оптимальное территориальное размещение и расположение датчиков станций оказывают важное влияние на достижение ожидаемых от АМС результатов, и поэтому они должны быть изучены перед установкой станций.

1.2 **АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

АМС может состоять из интегрированной АМСН (и системы сбора данных) или комплекта автономных измерительных устройств, подключенных к блоку для сбора и передачи данных. Компоновка АМС обычно включает следующее:

- a) для стандартного района наблюдений – желательно размером не менее чем 25 м x 25 м (часть I, глава 1, и ВМО, 2010a) – ряд автоматизированных датчиков, установленных на рекомендованных позициях и подключенных к одному или нескольким блокам сбора данных при помощи интерфейсов; или в случае АМСН – набор датчиков, установленных в тесной комбинации, но не мешающих друг другу и напрямую соединенных с центральным процессорным блоком (ЦПБ) с помощью экранированных кабелей, линий оптико-волоконной связи или радиосвязи;
- b) ЦПБ для сбора данных от датчиков и преобразования в читаемый компьютерный формат, необходимой обработки данных при помощи основанной на

микропроцессоре системы в соответствии с определенными алгоритмами, временного хранения обработанных данных и их передачи удаленным пользователям метеорологической информации;

- с) периферийное оборудование, такое как источник постоянного питания, обеспечивающий энергией различные части станции, часы реального времени, а также встроенное тестирующее оборудование для автоматического мониторинга состояния критически важных частей станции. Для конкретных применений к станции добавляются местные терминалы для ручного ввода и редактирования данных, дисплеи, принтеры и регистраторы.

Возрастающее взаимное влияние общества и атмосферы приводит к изменению и росту потребностей, таких как необходимость большего числа станций и большего числа измеряемых переменных, передача их через все более короткие временные интервалы, новые форматы и улучшенные характеристики. Вследствие этого необходимо адаптировать существующее аппаратное и программное обеспечение АМС к новым требованиям. Это можно осуществить лишь в том случае, если АМС хорошо спроектирована на модульной основе. Обычно настройка и испытания оказываются более сложными, чем ожидалось. Хорошо спроектированная АМС включает элементы, прошедшие предварительные испытания, позволяющие выполнять изменения конфигурации и параметров системы. К числу других желательных элементов относятся резервный источник питания, свободное место в консолях для установки приборов, резервные интерфейсы связи, резервные мощности для обработки и гибкое программное обеспечение. Руководство по подготовке функциональной спецификации для системы АМС имеется в части I публикации ВМО (WMO, 1997).

1.2.1 Датчики

Метеорологические требования к датчикам, применяемым в АМС, не сильно отличаются от требований, предъявляемых к датчикам на неавтоматизированных станциях наблюдений. См. также рекомендации в соответствующих главах части I настоящего Руководства. Поскольку измерения на большинстве АМС контролируются с удаленных расстояний, эти датчики должны быть надежными в эксплуатации, достаточно нетребовательными в плане технического обслуживания и должны характеризоваться отсутствием любых характерных погрешностей или неопределенности в технологии выполнения измерений соответствующих переменных. Как правило, подходят все датчики с электрическим выходом. Имеется большое число датчиков с различными характеристиками и качеством (и ценой), которые пригодны для использования в автоматических системах сбора данных. Часто появляются новые разработки, при этом некоторые из них улучшают характеристики существующих датчиков, а другие нередко основаны на новых физических принципах. В зависимости от их выходных характеристик датчики можно классифицировать как аналоговые, цифровые и «интеллектуальные».

Аналоговые датчики: сигнал на выходе датчика обычно представляется в виде напряжения, тока, заряда, сопротивления или емкости. Благодаря стандартизации сигнала эти базовые сигналы превращаются в сигналы напряжения.

Цифровые датчики: это датчики с выводами цифровых сигналов, при этом информация хранится в виде бита или группы битов, а также датчики с импульсным или частотным выходом.

"Интеллектуальные" датчики/преобразователи: это датчики, содержащие микропроцессор, осуществляющий сбор основных данных и функции по их обработке и обеспечивающий получение на выходе результатов измерений в виде сообщений в цифровой форме.

Что касается метеорологических датчиков, то в части I настоящего Руководства дается полное описание общих аспектов, типов датчиков, методов измерения, единиц, масштабов, экспозиции, источников ошибок, калибровки и технического обслуживания.

КПМН оказывает Членам помощь в форме регулярной организации международных взаимных сравнений приборов. Результаты могут быть весьма существенными для оценки различных подходов к измерениям. Начиная с 1968 г., КПМН использует вопросники для получения информации по разработке приборов и каждые четыре года публикует доклад под названием *Instrument Development Inquiry* (Вопросник по разработке приборов). В ответах на вопросники содержится информация как о приборах, находящихся в разработке, так и об уже используемых приборах. Информацию о новых разработках и об опыте использования можно найти в трудах национальных симпозиумов, в журналах и газетах, а также в трудах технических конференций, регулярно организуемых КПМН. Эти технические конференции сопровождаются выставками метеорологических приборов, на которых изготовители представляют свои последние разработки. Результаты взаимных сравнений КПМН, доклады *Instrument Development Inquiry* (Вопросники по разработке приборов), а также труды технических конференций КПМН публикуются ВМО в сериях отчетов "Приборы и методы наблюдений". Другим рекомендуемым путем получения информации является непосредственный обмен опытом между операторами сетей АМС, особенно между теми, которые эксплуатируют станции в сходных условиях окружающей среды.

Некоторые особые соображения, касающиеся датчиков АМС, приводятся в следующих разделах. Достижимая оперативная точность наблюдений приводится в части I, глава 1, приложение 1.E¹¹ Руководства. По мере получения экспериментальных результатов эти оценки будут, в случае необходимости, обновляться КПМН. Точность калибровки датчика (в лаборатории) должна быть по меньшей мере вдвое выше, с тем чтобы иметь возможность линеаризации функций реагирования. Разрешающая способность датчика должна быть примерно втрое лучше по сравнению с заявленным требованием (которое включает характеристику интерфейса).

Атмосферное давление: существует большое разнообразие приборов, основанных, главным образом, на использовании анероидной коробки, вибрирующего провода или кварцевого кристалла, которые обеспечивают электрический выход в аналоговой или цифровой форме. Информация о цифровых датчиках дается в публикации ВМО (WMO, 1992b). Основными проблемами, которые конструктор или разработчик АМС должны тщательно рассматривать, являются отрицательные воздействия температуры, долговременное отклонение, вибрация и условия экспозиции. Влияние температуры является очень сильным, и его не всегда можно полностью компенсировать с помощью встроенных средств компенсации температуры. Для датчиков давления АМС характерно значительное с течением времени отклонение в точности, обычно от менее 0,2 до 0,3 гПа за шесть месяцев, и поэтому требуется их регулярная калибровка. Влияние вибрации и механических ударов на выходные характеристики датчиков давления представляется особенно важным при применении в морских АМС. Учитывая, что большинство датчиков давления уязвимо к воздействиям внешней среды, датчик давления обычно помещают в герметизированный и термостабильный небольшой контейнер внутри ЦПБ. В некоторых странах датчик соединяют трубкой, выходящей из этого контейнера и имеющей головку, воспринимающую статическое давление. В случаях авиационных применений или на удаленных станциях, где требуется высокая степень точности и надежности, в станцию монтируют два датчика давления и более.

В части I, глава 3, приводятся руководящие указания по использованию цифровых барометров на АМС.

Температура: наиболее общими типами термометров, которые используются на АМС, являются простые металлические термометры сопротивления или термисторы. Платиновый термометр сопротивления (100 ом при 0 °С) имеет очень хорошую долговременную стабильность и может считаться предпочтительным типом датчика.

Электрические термометры обычно имеют небольшую постоянную времени и при проведении измерений при помощи быстродействующих электронных схем

¹¹ Предложено совещанием Группы экспертов по требованиям к оперативной точности (1991 г.) и утверждено сорок четвертой сессией Исполнительного совета (1992 г.) для включения в настоящее Руководство.

показываемый ими результат отражает высокочастотные, низкоамплитудные колебания местной температуры. Эту проблему можно избежать, используя датчики с большой постоянной времени, искусственно подавляя такое реагирование с помощью подходящей схемы, с тем чтобы увеличить постоянную времени выходного сигнала, или путем цифрового осреднения измеряемых результатов в ЦПБ. Резисторные термометры требуют линеаризации. Ее можно осуществить с помощью соответствующих схем в модулях формирования сигнала или с помощью алгоритмов программного обеспечения. Настоятельно рекомендуется линеаризовать характеристики термисторов. Большую озабоченность вызывает надлежащая защита датчика от воздействий радиации. В АМС широко используются радиационные экраны, согласованные с размерами датчика, которые заменяют обычные, естественно вентилируемые будки Стивенсона. Для получения точных измерений радиационные экраны должны искусственно вентилироваться со скоростью воздуха примерно $3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, однако следует принимать предосторожности для предотвращения попадания аэрозолей и мелкого дождя, с тем чтобы не допустить эффектов влажного термометра.

Влажность: весьма полный обзор датчиков влажности для использования в АМС можно найти в публикации ВМО (1989а).

Несмотря на широкое использование в АМС сравнительно недорогих резистивных и емкостных датчиков для прямых измерений относительной влажности, у них все еще наблюдается ухудшение их работы в условиях наличия загрязняющих веществ и требуются специальные защитные фильтры. Взаимные сравнения показывают, что для измерения при температуре ниже $0 \text{ }^\circ\text{C}$ необходимо применять дополнительные коррекции, даже если датчики имеют схемы компенсации температуры, и что в условиях насыщения возникают проблемы гистерезиса.

В АМС также используются измерители точки росы, такие, как подогреваемый хлористолитиевый датчик и датчик с охлаждаемым зеркалом. Основной недостаток хлористолитиевых датчиков состоит в их чувствительности к перебоям в питании; после таких перебоев требуется вмешательство на месте. Наиболее удачным датчиком считается оптический измеритель точки росы, однако необходимо провести дальнейшие исследования, с тем чтобы разработать хорошее автоматическое устройство для очистки зеркала.

Проблемы, связанные с малой постоянной времени многих датчиков влажности, являются более значительными по сравнению с проблемами датчиков температуры. Как и при измерениях температуры, все типы датчиков необходимо помещать в соответствующие радиационные экраны. Предпочтение следует отдавать радиационным экранам с наддувом или хорошей вентиляцией. Экраны могут быть похожи по своей конструкции на те экраны, которые используются для измерений температуры. Большие ошибки могут возникать из-за проблем, связанных с наддувом и чисткой.

Ветер: использование традиционных чашечных или пропеллерных анемометров с импульсным или частотным выходом является широко распространенным и не вызывает никаких технических проблем, связанных с обледенением в суровых условиях. Это осложнение можно преодолеть посредством подогрева датчика в условиях умеренного обледенения, однако оно приводит к значительному увеличению потребления электроэнергии. Рекомендуется, чтобы у новых чашечных и пропеллерных анемометров путь синхронизации был меньше 5 м, а в новых цифровых системах частота отсчетов была сопоставима с параметрами используемой фильтрации. В случае использования счетных устройств это означает, что число импульсов, приходящееся на один интервал отсчетов, принимается за одно измерение.

На АМС также широко применяются традиционные аналоговые приборы, снабженные потенциометром для измерений направления ветра. Получают все большее распространение флюгеры с устойчивым естественным цифровыми устройствами кодирования угла, обычно в той или иной кодовой форме Грея. Рекомендуется

использование флюгеров с путем стабилизации менее 10 м и коэффициентом затухания между 0,3 и 0,7. Для флюгеров с цифровыми кодирующими устройствами требуется минимальное разрешение, равное 7 битам.

КПМН также рекомендует, чтобы в новых системах имелась возможность сообщений о стандартных отклонениях скорости и направления ветра с разрешением $0,1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ и 10° соответственно.

Типичным примером интеллектуального датчика является система измерения параметров ветра с последовательным выводом цифровых данных и одним или несколькими цифровыми дисплеями, обеспечивающими непосредственное визуальное отображение оперативных переменных (пиковая величина ветра, средние значения скорости ветра за 2 мин и 10 мин, направление ветра и экстремальные величины).

Осадки: наиболее часто на АМС для измерения осадков используется дождемер с опрокидывающимся сосудом. Дождемеры быстро наполняются мусором – листьями, песком или птичьим пометом; поэтому необходимо следить за такими АМС, которые длительное время используются без обслуживания персоналом. Для измерения количества жидких и твердых осадков при температуре ниже 0°C требуется подогрев различных частей дождемера. Это может вызвать серьезные проблемы с электроснабжением, особенно на АМС, работающих от батарей. Необходимо иметь в виду, что при подогреве дождемера могут появляться ошибки из-за потерь на испарение. Точность наблюдений 5–10 % считается отличной. Улучшить точность можно путем ограждения дождемера от воздействий ветра (например защита Нифера) (для сравнений датчиков осадков см. публикацию WMO, 1994).

Солнечное сияние: для измерения продолжительности солнечного сияния существует целый ряд датчиков с электрическим выходом. Ссылка делается на публикацию WMO (1989b). WMO приняла в качестве порогового значения, соответствующего наличию солнечного сияния, плотность потока лучистой энергии, равную $120 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$, разрешив таким образом давнишнюю проблему. К недостаткам датчика солнечного сияния, работающего длительное время без обслуживания персоналом, относится накопление грязи на диафрагме прибора, что приводит к заметным отклонениям от порогового значения.

Радиация: большинство датчиков, используемых на традиционных станциях, могут быть подключены к автоматической системе. Основная техническая проблема состоит в том, что эти датчики обычно представляют собой аналоговые устройства, имеющие выходной сигнал в виде очень малого непрерывно меняющегося напряжения. Это напряжение сильно подвержено электромагнитным помехам при передаче их по кабелю, и необходимо проводить адекватные измерения. Проблема загрязнения входной диафрагмы при радиационных измерениях (которые представляют собой абсолютные измерения) является более серьезной, чем при измерениях солнечного сияния. Считается, что отложение пыли на неочищенной поверхности стеклянных защитных полусферических колпаков пиранометра приводит к потере точности в 2 % (исключая дни с инеем и росой). Вследствие этого трудно предвидеть эффективное использование радиационных измерений на станциях, которые не обслуживаются в течение нескольких дней. Достижимая погрешность измерений (среднесуточных значений) составляет около 5 %.

Высота нижней границы облаков: измерение высоты нижней границы облаков на АМС в настоящее время осуществляется, главным образом, с помощью облакомеров (лазерных). Для оценки существующих систем можно обратиться к публикации WMO (WMO, 1988). Все еще встречаются трудности при обработке сигналов от датчиков в автоматическом режиме, с тем чтобы получить точные измерения высоты нижней границы облака во всем диапазоне встречающихся природных условий, в частности в случае дождя и снега. Еще одна трудность состоит в том, что датчики измеряют высоту нижней границы облака только на небольшой площади небосвода, расположенной непосредственно над прибором. Такая информация, выданная пользователю, удаленному от пункта наблюдения, особенно для обслуживания авиации, будет представлять сильно искаженную картину состояния неба или покрытия его облаками. Этот недостаток можно преодолеть посредством

использования алгоритмов для оценки облачного покрова в течение 30-минутного интервала обработки. В некоторых странах облакомер является только вспомогательным средством для наблюдателя, имеющего в поле зрения весь небосвод. Облакомеры обычно требуют значительных затрат электроэнергии и могут использоваться лишь при наличии энергопитания от сети. Более того, их эксплуатационные характеристики ухудшаются или искажаются из-за накопления снега, пыли или других загрязняющих веществ на окошке выходной и входной диафрагмы для оптического или инфракрасного луча.

Видимость: для измерения метеорологической дальности видимости на АМС имеется большое количество разнообразных приборов. Для справки можно обратиться к публикации ВМО (WMO, 1990).

Можно указать на различие между трансмиссометрами и измерителями дальности видимости. Высокоточные трансмиссометры обычно используются в аэропортах, в то время как измерители с более низкой точностью (и менее дорогостоящие), основанные на обратном, прямом или интегральном рассеянии, чаще используются на прочих АМС. Оба типа имеются в таких вариантах исполнения, которые обеспечивают питание от батарей, и поэтому могут использоваться в удаленных точках, в которых нет первичных сетей переменного тока или электроснабжения. Однако они потребляют все же значительное количество электроэнергии, и поэтому при отсутствии на отдаленных АМС дополнительных источников питания срок их действия без замены батарей составляет несколько недель.

1.2.2 **Центральный процессорный блок**

Ключевым элементом автоматической метеорологической станции является ЦПБ. Конфигурация его аппаратного обеспечения зависит от сложности и общего объема функций, возложенных на станцию, и поэтому существует множество вариантов решения аппаратного обеспечения. Как правило, основные функции ЦПБ заключаются в сборе, обработке, хранении и передаче данных.

На большинстве существующих АМС все эти функции выполняются одной микропроцессорной системой, установленной в защищенном от воздействий погоды месте, по возможности, ближе к датчикам или в закрытом помещении. Когда устройство располагается вблизи датчиков, обработка данных производится на месте, что позволяет уменьшить количество передаваемых данных и представлять эти данные в форме, пригодной для непосредственной подачи в обычные каналы связи. Однако в этих случаях ЦПБ уязвим к отказам в энергоснабжении и обычно должен быть защищен от влияний внешней среды, в которой ему предстоит работать. Если блок располагается в помещении, то, как правило, его можно подсоединить к сети электропитания и эксплуатировать в обычных комнатных условиях. Однако подобная конфигурация требует большого числа длинных сигнальных кабелей и соответствующих формирователей сигналов.

В зависимости от местных условий и требований различные функции ЦПБ могут также выполняться разными устройствами. В таких случаях каждое устройство имеет свой собственный микропроцессор и соответствующее программное обеспечение, может располагаться в различных местах станции и связываться между собой посредством надежных межпроцессорных линий и процедур передачи данных. Они работают по схеме главный–подчиненный, при этом устройство обработки данных является главным устройством. Примером могут быть устройства сбора данных, установленные в районе, близком к датчикам, и соединенные с устройством обработки или передачи данных ЦПБ одной или несколькими телефонными линиями, использующими цифровую передачу данных. Эти устройства могут состоять из одного датчика (например, интеллектуальный датчик, такой как лазерный облакомер), ряда аналоговичных датчиков (например, термометров) или ряда различных датчиков.

Быстрое технологическое развитие современных промышленных систем сбора данных и контроля обработки открывает новые пути для метеорологических применений. Высокая степень модуляции сигнала на входе/выходе и гибкости, все возрастающие скорости

работы микропроцессоров и особенно наличие специального программного обеспечения сбора, обработки, контроля и передачи данных позволяют разрабатывать АМС, которые могут удовлетворять различные потребности и требования разных пользователей. Поэтому любое описание АМС через короткий промежуток времени устаревает и может использоваться с определенными оговорками. В связи с этим в следующих разделах дается общее описание достижений в этой области.

1.2.2.1 **Сбор данных**

Как правило, аппаратное обеспечение для сбора данных включает:

- a) аппаратное обеспечение формирования сигнала, предотвращающее нежелательные помехи от внешних источников, искажающих первичные сигналы датчика, защиту оборудования ЦПБ и приведение сигналов к форме, пригодной для дальнейшей обработки данных;
- b) электронное оборудование для сбора данных с аналоговыми и цифровыми входными каналами и портами, аппаратурой сканирования и преобразования данных для ввода сигналов в память ЦПБ.

Формирование сигнала

Формирование сигнала является важной функцией в процессе получения данных и начинается с выбора соответствующих кабелей и соединений для подключения датчика к электронным устройствам сбора данных. Далее оно осуществляется с помощью различных аппаратных модулей. Будучи заимствованными из области управления промышленным процессом, несколько функций формирования в настоящее время воспроизводятся в одном сменном модуле. Наиболее подходящим и удобным, а отсюда и наиболее обычным местом расположения этих модулей являются оконечные платы кабелей датчика в том же самом водонепроницаемом кожухе, что и устройство сбора данных. В зависимости от датчика и местных условий имеются различные методы формирования сигнала.

Кабели датчика: электрические сигналы от датчиков, входящих в систему сбора данных, могут содержать нежелательный шум. Мешает ли этот шум, зависит от отношения сигнала к шуму и от конкретного применения. Цифровые сигналы практически невосприимчивы к шуму в связи с их дискретным (и высокоуровневым) характером. Аналоговые сигналы, в отличие от цифровых, подвергаются помехам даже сравнительно невысокого уровня. Основными путями передачи шума являются емкостные и индуктивные соединения. С целью снижения ошибок, возникающих из-за емкостного соединения, используют экранированные кабели, в которых электропроводящий экран (с потенциалом земли) размещается между сигнальными кабелями и источником помех. Для снижения индуктивной связи эффективным средством является использование дополнительных скрученных пар проводов.

Защита от перенапряжения: в случаях, когда АМС может подвергаться случайным всплескам высокого напряжения, обязательной является установка защиты, с тем чтобы избежать возможного повреждения аппаратуры. Высокое напряжение может возникать от магнитных полей, статического электричества и, особенно, от грозных разрядов.

Двухпроводные передатчики: иногда необходимо предварительно усилить низкоуровневые сигналы вблизи датчика, с тем чтобы сохранить максимальное отношение сигнала к шуму. Одним из способов выполнения такого рода формирования сигнала является использование двухпроводного передатчика. Эти передатчики не только усиливают входной сигнал, но и обеспечивают изоляцию и преобразование в сигнал с более высоким уровнем тока (обычно от 4 до 20 мА). В настоящее время обеспечивается передача сигналов на расстояние около 1 500 м.

Цифровая изоляция: электрические модули используются для получения входных цифровых сигналов с одновременным разрывом гальванического соединения между источником сигнала и измерительной аппаратурой. Эти модули не только изолируют, но также трансформируют входные сигналы в стандартные уровни напряжения, которые можно считывать с помощью оборудования для сбора данных.

Аналоговая изоляция: модули аналоговой изоляции используются для защиты оборудования от контактов с высокими напряжениями, разрыва заземленных замкнутых цепей и устранения значительных синфазных помех. В настоящее время широко используются три типа аналоговой изоляции: недорогие емкостные соединения или «летающий конденсатор», оптические соединения с хорошими характеристиками и умеренной ценой и трансформаторное соединение с высокими изоляционными свойствами и точностью, но значительно большей стоимостью.

Низкочастотное фильтрование: фильтры используются для отделения желаемых сигналов от нежелательных помех. К нежелательным помехам относятся: шум, наводки со стороны линии переменного тока, помехи от радио- и телевизионных станций и сигналы с частотами выше 1/2 частоты основного сигнала. Обычно для подавления нежелательных источников ошибки используется низкочастотный фильтр, исключаящий ту часть частотного спектра, в которой не бывает желаемых сигналов.

Усилители: сигналы аналогового датчика могут изменяться по амплитуде в широком диапазоне. Аналого-цифровой (А/Ц) преобразователь при этом требует сигнала высокого уровня, с тем чтобы получить наилучшие характеристики. Во многих случаях усилительный модуль используется для усиления возможных сигналов низкого уровня до желательной амплитуды. Усилительные модули используются также для стандартизации выходного напряжения всех датчиков и приведения к обычному напряжению постоянного тока, например 0–5 В.

Сопrotивления: специальные модули используются для преобразования сопротивлений, например платиновых термометров, в линейное выходное напряжение сигнала и обеспечения необходимых токов для такого преобразования. Следует отметить, что преобразование в линейный сигнал может вносить неточности, которые могут быть значительными для некоторых применений.

Функция сбора данных

Функция сбора данных заключается в сканировании выходов датчиков или формирующих модулей датчиков с заранее заданной скоростью и преобразовании сигналов в форму, пригодную для считывания компьютером.

Для размещения метеорологических датчиков различных типов аппаратное обеспечение этой функции состоит из входных/выходных каналов различных типов, рассчитанных на все возможные электрические выходные характеристики датчиков или модулей формирования сигнала. Общее количество каналов каждого типа зависит от выходных характеристик датчиков и определяется типом применения.

Аналоговые входы: число аналоговых каналов обычно заключено в пределах от 4 до 32. В целом базовую конфигурацию можно расширить за счет дополнительных модулей входных каналов. Особое значение имеют аналоговые входные каналы, поскольку большинство обычно используемых метеорологических датчиков, таких как датчики температуры, давления и влажности, дают сигнал напряжения либо непосредственно, либо прошедший через формирующие модули датчика.

Задачи сбора данных состоят в сканировании каналов и переводе из аналоговой формы в цифровую. Сканирующее устройство – это всего лишь устройство переключения, которое позволяет обслуживать несколько каналов аналогового ввода с помощью одного А/Ц преобразователя. С помощью программного обеспечения можно управлять этими переключениями, с тем чтобы выбрать один канал для обработки в определенное время. А/Ц преобразователь преобразует первоначальную аналоговую информацию в данные,

пригодные для считывания компьютером (цифровые, в двоичном коде). Разрешение А/Ц преобразователя выражается в битах. Разрешение А/Ц преобразователя 12 бит соответствует примерно 0,025 %, 14 бит – 0,006 %, а 16 бит – 0,001 5 % полного диапазона или шкалы А/Ц преобразователя.

Параллельный цифровой ввод/вывод : Общее количество отдельных каналов в большинстве случаев группируется в блоки от 8 до 16 бит с возможностью расширения. Они используются для отдельного бита или состояния измерения или для подключения датчиков с параллельным цифровым выводом (например, флюгеры с выводом в коде Грея).

Импульсы и частоты: обычно количество каналов ограничивается 2 или 4. Типичными датчиками являются датчики измерения скорости ветра и дождемеры (с опрокидывающимся сосудом). Используются счетчики с низкой и высокой скоростью, накапливающие импульсы в памяти ЦПБ. Система, которая регистрирует импульсы или состояние преобразователя «включено–выключено», известна под названием регистратора событий.

Последовательные цифровые порты: это отдельные асинхронные последовательные каналы вход/выход для связи с интеллектуальными датчиками. Порты обеспечивают протокольную связь между устройствами на короткие (RS232, несколько метров) и длинные (RS422/485, несколько километров) расстояния. На одной линии и входном порте могут быть различные датчики или измерительные системы, и каждый из датчиков поочередно запрашивается с помощью кодовых слов.

1.2.2.2 **Обработка данных**

Аппаратное обеспечение обработки данных является центральной частью ЦПБ, а его основные функции заключаются в центральном управлении вводом/выводом данных в/из ЦПБ и в осуществлении надлежащей обработки всех входящих данных с помощью соответствующего программного обеспечения.

Работой аппаратного обеспечения управляет микропроцессор. Микропроцессоры не изменяют принципов метеорологических измерений и методик наблюдений, но они позволяют конструктору приборов реализовать технические функции новым способом, с тем чтобы можно было производить измерения удобнее, быстрее и более надежным способом и обеспечить прибору более высокие технические возможности, особенно при обработке данных. Применение микропроцессоров значительно снижает стоимость аппаратного обеспечения для ряда применений. Необходимо, однако, отметить, что слишком сложные задачи, которые ставятся перед этим устройством, приводят к быстрому возрастанию стоимости разработки программного обеспечения, что часто недооценивается.

Существующие АМС оборудованы 8-битовыми микропроцессорами и имеют ограниченную память (32–64 кбайт). Стандартными становятся новые системы, использующие 16-битовые и даже 32-битовые микропроцессоры, поддерживаемые твердотельными запоминающими устройствами с большим объемом памяти (до 1 Мбайт). Эти АМС обеспечивают большие возможности для входа/выхода и работы на значительно более высоких скоростях обработки и способны выполнять сложные вычисления. Вместе с новым аппаратным обеспечением применяется сложное программное обеспечение, которое несколько лет назад имелось только для миникомпьютерных систем. Устройство может быть снабжено различными типами памяти, такими как запоминающее устройство с произвольной выборкой (ЗУПВ) для данных и хранения программы, программируемое постоянное запоминающее устройство (ППЗУ) для хранения программ (программы вводятся посредством программатора ППЗУ) и электрически стираемое программируемое ПЗУ (ЭСППЗУ), используемое в большинстве случаев для хранения постоянных, которые могут изменяться непосредственно программой. На большинстве станций ЗУПВ снабжается резервной батареей, с тем чтобы не терять данные в случае прерывания энергоснабжения. Данные неоперативных

станций без средств их передачи можно хранить на внешних запоминающих устройствах. Используемые для этой цели в течение многих лет механические устройства с лентами в настоящее время заменяются платами памяти (ЗУПВ с резервной батареей, ЭСППЗУ и т. п.), которые имеют более высокую надежность.

1.2.2.3 **Передача данных**

Часть, касающаяся передачи данных ЦПБ, формирует связь с внешней средой, которой может быть местный наблюдатель или обслуживающий персонал, центральная система сетевой обработки национальной метеорологической и гидрологической службы или даже непосредственно потребители метеорологической информации. Подключение аппаратуры к ЦПБ производится обычно с использованием последовательных и параллельных портов ввода/вывода. Выбор наиболее подходящих средств передачи данных зависит, главным образом, от рассматриваемого места и имеющейся передающей аппаратуры. Нельзя рассматривать какое-то одно решение как наилучшее, и иногда для передачи требуется использование нескольких средств (см. раздел 1.3.2.10).

1.2.3 **Периферийное оборудование**

Энергообеспечение: конструкция и технические возможности АМС в значительной мере зависят от используемого способа энергоснабжения. Наиболее важной характеристикой энергообеспечения АМС является работа с высокой устойчивостью и без помех. С учетом безопасности, широкого распространения и доступности аккумуляторных автомобильных батарей в 12 В следует уделить внимание использованию источника энергии постоянного тока в 12 В. Там, где имеется питание от сети, 12-вольтовые аккумуляторы могут находиться в режиме непрерывного подзаряда от сети. Преимуществом такой системы является автоматическое резервирование энергоснабжения в случае отказа электросети. Автоматические метеорологические станции, расположенные в удаленных местах, где нет электросети, должны обходиться аккумуляторами без зарядки или с зарядкой от дополнительного источника питания, такого как дизельный, ветровой или водяной генератор или солнечные батареи. Однако такие системы с недостаточным питанием, как правило, не могут обеспечивать работу более сложных датчиков, например, датчиков измерения высоты нижней границы облаков и видимости, для которых требуется большое количество энергии. Более того, АМС с дополнительным оборудованием, таким как подогреватели (в анемометрах, дождемерах) и вентиляторы, могут также потреблять значительное количество энергии, что соответственно ограничивает установку АМС теми площадками, где имеется сетевое электроснабжение. Если же только питание от сети многоцелевых и сложных систем может обеспечить их функционирование по полной программе, то необходимо предусмотреть резервное энергоснабжение, по крайней мере, для часов системы, процессора и какого-либо запоминающего устройства, где могут содержаться последние данные, необходимые для перезапуска станции на автоматический режим.

Часы реального времени: важной частью блока обработки данных являются круглосуточно функционирующие часы реального времени, работающие от аккумулятора и обеспечивающие отсчет времени даже в случае отказа энергоснабжения. Обеспечение точности часов на АМС требует особого внимания для гарантирования правильного считывания показаний приборов, интервалов измерения и отметок времени. На некоторых АМС используются устройства синхронизации часов с сигналами времени, транслируемыми по радио, или с Глобальной системой определения местоположения.

Встроенное контрольное оборудование: в состав важнейших частей АМС часто входят компоненты, неправильное функционирование или выход из строя которых серьезно искажают или делают бесполезными выходные данные. Эффективным средством постоянного контроля характеристик во время работы этих компонентов является включение блоков автоматического контроля. К ним относятся, например, устройство слежения за прерыванием энергоснабжения, которое перезапускает процессор и обеспечивает продолжение работы АМС после прерывания энергоснабжения;

контрольный таймер для контроля работы микропроцессоров; и тестовые цепи для мониторинга работы подсистем станции, таких, как напряжение аккумулятора и работа зарядного устройства, вентиляторов (защита от влияния температуры и влажности), преобразователи переменного тока в постоянный, обогреватели и т. д. Информацию о состоянии можно автоматически вывести на экран на месте или же ввести в ЦПБ для контроля качества и для целей обслуживания.

Местные дисплеи и терминалы: зачастую предусматривается ввод или редактирование вручную данных наблюдений, например на полуавтоматических метеорологических станциях. В зависимости от потребностей и конструкции станции для этой цели используются различные типы местных терминалов, такие как простой цифровой светодиодный дисплей (СДД) с клавиатурой, являющийся неотъемлемой частью ЦПБ, экран с клавиатурой или даже небольшой персональный компьютер, установленный на некотором удалении, но в пределах местного помещения. Для цели обслуживания иногда используют специальные переносные терминалы, которые можно подключать непосредственно к станции. Для конкретных применений, таких как АМС в аэропортах или простых станциях в помощь наблюдателю, цифровые дисплеи соединяются для отображения данных в одном или нескольких местах площадки. По запросу к станции можно добавить печатающее устройство или графопостроители.

1.3 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

При конструировании АМС или подготовке спецификации на нее руководящим принципом является то, что одним из самых крупных дорогостоящих элементов будет разработка и тестирование программного обеспечения. Сложное программное обеспечение вскоре становится негибким и трудным для использования, если не проявить большой осмотрительности при его начальной разработке и не обеспечить строгой дисциплины при кодировании. Небольшие изменения к требованиям, например, часто вызванные необходимостью в новом датчике, изменения в коде или в критериях контроля качества, нередко могут повлечь за собой серьезные и весьма дорогостоящие пересмотры программного обеспечения.

В целом, можно провести различие между прикладным программным обеспечением, состоящим из алгоритмов для должной обработки данных в соответствии со спецификациями пользователей, и системным программным обеспечением, неотъемлемо связанным с конфигурацией микропроцессора и включающим все программное обеспечение, необходимое для разработки и отладки прикладного программного обеспечения.

Рекомендации по разработке алгоритмов для АМС даны выше в разделе 1.1.3. Подготовка алгоритмов для синоптических АМС рассматривается в публикации ВМО (WMO, 1987), а для обработки данных о приземном ветре – в публикации ВМО (WMO, 1991). Информация об алгоритмах, используемых Членами, можно найти в публикации ВМО (WMO, 2003). Для получения более подробной информации, касающейся выборки, приведения данных и контроля качества, следует обращаться к соответствующим главам части IV.

1.3.1 Системное программное обеспечение

Программное обеспечение для многих существующих АМС разрабатывается изготовителем в соответствии с требованиями пользователя и вводится в запоминающее устройство ЦПБ в формате, который пользователь не может считывать (так называемое микропрограммное обеспечение), что делает ЦПБ своего рода «черным ящиком». Пользователь может выполнять только заранее определенные команды и вследствие этого полностью зависит от изготовителя в случае неисправностей или модификаций.

К счастью, возрастающий спрос на системы сбора данных для управления промышленными процессами открыл новые возможности. Пользователи могут теперь разрабатывать свое собственное программное обеспечение для применений (или предоставить это компании, занимающейся разработкой программного обеспечения, или даже поручить это изготовителю станции), используя языки программного обеспечения, такие как Basic, Pascal или в частности C, и легкодоступные пакеты для сбора данных, статистической информации, их хранения и передачи. В результате этого пользователь получает больший доступ к управлению и контролю за различными процессами и становится вследствие этого менее зависимым от изготовителя станции.

В современных системах все больше используются хорошо зарекомендовавшие себя системы, работающие в режиме реального времени со многими задачами/многими пользователями, которые в прошлом были доступны лишь для миникомпьютеров. Они работают в *масштабе реального времени*, поскольку все операции запускаются аппаратными прерываниями или прерываниями программного обеспечения, являются *мультипрограммными*, так как способны решать различные задачи квазисинхронно в соответствии с заранее заданной приоритетностью, и рассчитаны на *нескольких пользователей*, поскольку различные пользователи почти одновременно могут иметь доступ к этой системе. Разработчики программного обеспечения могут полностью сосредоточить свое внимание на разработке прикладных программ, выбирая язык программирования по собственному усмотрению и оставляя решение очень трудных и сложных задач по управлению оперативной системой.

1.3.2 Прикладное программное обеспечение

Функции обработки, которые должны выполняться ЦПБ, внешними датчиками, или вместе теми и другими, зависят от типа автоматической метеорологической станции и целевой задачи, для которой она используется. Обычно требуются все следующие операции или часть из них: инициализация, контроль выхода датчика, преобразование выходных сигналов датчика в метеорологические данные, линеаризация, осреднение, ручной ввод данных наблюдений, контроль качества, приведение данных, форматирование и проверка сводки, хранение данных, передача данных, отображение данных на дисплее. Последовательность выполнения этих функций является приблизительной. Контроль качества можно осуществлять на различных уровнях: сразу же после проверки, после получения метеорологических переменных или после ручного ввода данных и форматирования сводки. Если отсутствует контроль качества данных и содержания сообщений, то данные АМС будут содержать, вероятно, не выявленные ошибки. Несмотря на то, что линеаризация может являться неотъемлемой частью функции датчика или модуля формирования сигнала, ее всегда следует проводить до расчета среднего значения.

Выполнение прикладной программы определяется блоком оперативного управления, контролирующим, когда и какие задания следует выполнять. Обзор прикладного программного обеспечения АМС в следующих разделах ограничивается некоторыми практическими аспектами, касающимися АМС.

1.3.2.1 Инициализация

Инициализация – это процесс, который подготавливает все запоминающие устройства, устанавливает все оперативные параметры и начинает исполнение прикладной программы. Для того чтобы начать нормальную работу, для программы прежде всего требуется наличие ряда конкретных параметров: параметров станции (кодовый номер, высота, широта и долгота); даты и времени; физического адреса датчика в разделе сбора данных; типов и характеристик модулей согласования датчиков; коэффициентов преобразования и линеаризации для преобразования выходных данных датчика в метеорологические величины; границ абсолютных значений и скорости изменения величин для целей контроля качества данных; места файла буферизации данных и т. п. В зависимости от станции все или часть этих параметров можно вводить на

месте или изменять по усмотрению пользователя с использованием интерактивных меню на терминале. В последнем поколении АМС инициализацию можно проводить даже дистанционно, например, с помощью центральной системы сети обработки или удаленного персонального компьютера. Кроме полной инициализации, следует запрограммировать частичную инициализацию. Она автоматически восстанавливает нормальный режим работы без каких-либо потерь накопленных данных после временного отключения, вызываемого установкой часов реального времени, обслуживанием, поверкой или выходом из строя энергоснабжения.

1.3.2.2 **Выборка и фильтрация**

Выборку можно определить, как процесс получения хорошо упорядоченной пространственной последовательности измерений переменной. Для обработки сигналов метеорологического датчика в цифровой форме возникает вопрос, как часто следует делать выборку выходных данных датчика. Важно обеспечить, чтобы последовательность выборок адекватно представляла существенные изменения измеряемой атмосферной переменной. Общепринятым неписаным правилом является один отсчет на временном интервале, равном постоянной времени датчика. Однако в связи с тем, что некоторые метеорологические переменные имеют высокую изменчивость, сначала производят необходимое фильтрование или сглаживание посредством подбора датчиков с подходящей постоянной времени или с помощью методов фильтрации и сглаживания в модулях формирования сигнала (см. часть IV, глава 2).

Учитывая необходимость взаимозаменяемости датчиков и однородности данных наблюдений, рекомендуется¹²:

- а) чтобы отсчеты, выполняемые для расчета средних, получали в равные интервалы времени, которые:
 - i) не превышают постоянную времени датчика; или
 - ii) не превышают постоянную времени аналогового низкочастотного фильтра после линеаризации выхода датчика малой инерционности; или
 - iii) достаточны по количеству, с тем чтобы обеспечить приведение неопределенности среднего из отсчетов к приемлемому уровню, например, менее требуемой точности осреднения;
- б) чтобы отсчеты, используемые при оценке экстремальных величин флуктуации, производились по меньшей мере в четыре раза чаще, чем определено в (i) или (ii) выше.

1.3.2.3 **Преобразование необработанных данных**

Преобразование необработанных данных датчика состоит в трансформировании электрических выходных величин от датчиков или от модулей формирования сигнала в метеорологические единицы. Процесс связан с применением алгоритмов преобразования, использующих коэффициенты и соотношения, полученные во время процедур калибровки.

Важно учитывать то, что некоторые датчики являются по своему существу нелинейными, т. е. их выходные сигналы не являются прямо пропорциональными измеряемым атмосферным переменным (например, термометр сопротивления), что в ряде случаев результаты измерений включают в себя компоненты нелинейного воздействия других переменных (например, некоторые датчики давления и влажности подвержены влиянию

¹² Рекомендовано Комиссией по приборам и методам наблюдений на ее десятой сессии (1989 г.), рекомендация 3 (КПМН-Х).

температуры) и что, хотя сам датчик может быть линейным или включать в себя цепи линеаризации, непосредственно измеряемые переменные и измеряемая атмосферная переменная находятся в нелинейной зависимости (например, сигнал с выхода датчика высоты облаков с качающимся лучом, имеющего фотодетектор и устройство измерения угла наклона луча в момент максимума потока рассеянного назад света, находится в нелинейной связи с высотой нижней границы облаков). Поэтому необходимо включать поправки на нелинейность в алгоритмы преобразования, а если это не делать, то использовать модули формирования сигнала. Линеаризация является особенно важной в тех случаях, когда необходимо рассчитывать средние величины за какой-то период времени. Действительно, когда сигнал датчика не является постоянным в течение всего периода осреднения, последовательность действий «осреднить, затем линеаризировать» может привести к результатам, отличающимся от результатов при последовательности «линеаризировать, затем осреднить». Правильная процедура заключается в осреднении только линейных переменных.

1.3.2.4 **Мгновенные значения метеорологических величин**

Вследствие естественной мелкомасштабной изменчивости атмосферы введение шума в процесс измерения электронными устройствами, и в частности использование датчиков с малыми постоянными времени, приводит к тому, что осреднение является наиболее желательным процессом в целях снижения неопределенности сообщаемых данных.

В целях стандартизации алгоритмов осреднения рекомендуется¹³:

- a) чтобы данные об атмосферном давлении, температуре воздуха, влажности воздуха, температуре поверхности моря и дальности видимости сообщались как средние значения за интервалы времени, выбранные в пределах от 1 до 10 мин, которые получают после линеаризации выхода датчика;
- b) чтобы данные о ветре, за исключением порывов ветра, сообщались как средние за 2 или 10 мин, которые получают после линеаризации выхода датчика.

Эти осредненные значения условно принимаются за «мгновенные» значения метеорологических переменных, используемых в большинстве оперативных применений и их не следует путать с необработанными выборками мгновенных значений с датчика или с осредненными за более длительные периоды времени значениями, которые требуются для некоторых применений. В качестве «мгновенных» значений для большинства переменных предлагается использовать среднее за одну минуту, насколько это возможно. Исключениями являются измерения параметров ветра (см. (b) выше) и волнения (средние за 10 или 20 мин). Учитывая несовпадение данных о порывах ветра, измеренных ветроизмерительными системами с различными динамическими характеристиками, рекомендуется подбирать фильтрационные характеристики ветроизмерительной цепи такими, чтобы сообщаемые данные о порывах представляли собой среднее значение за три секунды. Сообщать следует о наибольших значениях средней за три секунды. На практике это осуществляется обработкой серии отсчетов с выхода датчика, при которой скользящая средняя за три секунды рассчитывается по меньшей мере от одного до четырех раз в секунду.

Некоторые конкретные количественные величины, требующие преобразования и осреднения перед преобразованием, приводятся в части IV, глава 2.

1.3.2.5 **Ручной ввод данных наблюдений**

Ряд приложений требует разработки интерактивных терминальных процедур, позволяющих наблюдателю вводить и редактировать результаты визуальных или

¹³ Рекомендовано Комиссией по приборам и методам наблюдений на ее девятой сессии (1985 г.), рекомендация 6 (КПМН-IX).

иных субъективных наблюдений, для которых на станции не предусматриваются автоматические средства. Обычно сюда относят характеристики текущей и прошедшей погоды, состояние поверхности земли и другие, а также атмосферные явления.

1.3.2.6 **Приведение данных**

Кроме мгновенных метеорологических данных, непосредственно получаемых из выборок данных после соответствующего преобразования, необходимо вычислить связанные с ними другие оперативные метеорологические величины и статистические характеристики. Для большинства из них используются сохраняемые мгновенные значения, в то время как другие данные получают при более высокой скорости замеров, например при расчетах порыва ветра. Примерами приведения данных являются расчет величин температуры точки росы по результатам исходных измерений относительной влажности, а также приведения давления к среднему уровню моря. К статистическим данным относятся экстремальные значения за один срок и более (например, температуры), суммарные значения (например, количества осадков) за определенные периоды времени (от минут до суток), средние за различные сроки (климатологические данные) и интегрированные значения (радиация). Эти переменные или количественные характеристики можно рассчитать на АМС или в центральной системе обработки данных сети с обычно большими вычислительными мощностями обработки.

КПМН занимается широкой программой обзора и стандартизации алгоритмов для всех переменных. Результаты опубликованы в публикации ВМО (WMO, 2003).

Существуют официальные рекомендации, касающиеся расчета барической тенденции¹⁴ и количественных характеристик влажности¹⁵ (часть I, глава 4, приложение 4.B).

ВМО изучила методы приведения давления, использованные Членами ВМО в 1952 г. (WMO, 1954), и пришла к выводу о том, что на практике применяются «международная формула» (использующая формулу таблиц Лапласа или Ангота) или некоторые «упрощенные» методы (например, станции «низкого уровня»¹⁶; см. часть I, глава 3). В результате этого изучения было проведено исследование по стандартизации методов приведения, и в качестве стандарта было рекомендовано общее уравнение приведения давления¹⁷ (WMO, 1964). Однако несмотря на этот рекомендованный метод, до сих пор обычной практикой является применение «международной формулы» и методов на основе упрощенных формул (WMO, 1968).

1.3.2.7 **Кодирование сообщений**

Функциональные требования зачастую предусматривают кодирование метеорологических сообщений в соответствии с публикацией ВМО (2011b). В зависимости от типа сообщения и кодируемых элементов этот процесс может быть проведен в автоматическом или в полуавтоматическом режиме. Подготовка сообщения в автоматическом режиме предполагает, что все кодируемые элементы являются измеряемыми величинами, в то время как полуавтоматический режим предполагает вмешательство наблюдателя для ввода результатов визуальных или иных наблюдений, таких, как текущая и прошедшая погода, состояние поверхности земли и тип облачности. Алгоритмы кодирования сообщений не нужно недооценивать; не только их разработка, но и обновление при изменении форматов в соответствии с международными, региональными и национальными правилами требуют значительных усилий. Они также

¹⁴ Рекомендовано Комиссией по приборам и методам наблюдений на ее девятой сессии (1985 г.), рекомендация 7 (КПМН-IX).

¹⁵ Рекомендовано Комиссией по приборам и методам наблюдений на ее десятой сессии (1989 г.), рекомендация 7 (КПМН-X).

¹⁶ Рекомендовано Комиссией по приборам и методам наблюдений на ее первой сессии (1953 г.), рекомендация 13 (КПМН-I), и принято ИК-IV.

¹⁷ Основано на рекомендациях Рабочего комитета II КПМН-I по «Приведению давления», (ВМО, 1954 г., часть 2).

требуют значительной части ресурсов памяти, что может быть решающим фактором для небольших станций. Следует также отметить, что результаты наблюдений могут передаваться в центральную систему обработки данных сети, где для кодирования сообщений обычно имеются более мощные вычислительные средства.

1.3.2.8 **Контроль качества**

Цель контроля качества на АМС — свести к минимуму количество недостоверных наблюдений в автоматическом режиме и количество пропущенных наблюдений путем использования соответствующего аппаратного обеспечения, а также программных операций. Достижение обеих целей обеспечивает процесс, при котором результат каждого наблюдения получается из достаточно большого числа прошедших контроль качества выборок данных. Таким образом, выборки с крупными случайными ошибками можно изолировать и исключить, и обработка может далее продолжаться без этой выборки.

Контроль качества обеспечивает гарантированное качество и согласованность выходных данных. Это достигается благодаря тщательно разработанному набору процедур, предназначенных для должного технического обслуживания, ремонта, калибровки и проверок качества данных. В настоящее время отсутствует какой-либо набор процедур или стандартов для различных инструментальных комплексов АМС. Следует разработать и документально оформить подобный набор процедур.

В современных АМС результаты процедур контроля качества данных от датчиков, выявляющих причины, по которым измерение является сомнительным или ошибочным, и результаты самоконтроля аппаратного обеспечения посредством встроенных средств контроля находятся в соответствующих устройствах хранения информации о состоянии станции. Визуализация этих показателей состояния представляет собой очень удобное средство при эксплуатации АМС. Ценным возможным подходом к эксплуатации и техническому обслуживанию метеорологического оборудования может являться передача содержимого устройств хранения информации о состоянии станций либо в виде приложения к обычным наблюдательным сводкам, либо в качестве запрограммированного или запрашиваемого от сети АМС сообщения в центральную сетевую систему обработки.

Для контроля качества данных АМС настоятельно рекомендуются процедуры в масштабе реального времени, и подробные рекомендации содержатся в части IV, глава 1, а основные процедуры контроля качества в публикации ВМО (1993). Ниже рассматриваются практические аспекты этих рекомендаций.

Проверки внутри датчика

Проверки внутри датчика — это проверки каждой выборки от датчика на самой ранней стадии обработки с учетом динамических характеристик датчика и формирования сигнала для вероятного значения величины и вероятной скорости ее изменения.

Вероятная оценка — это общая проверка того, что измеряемое значение величины находится в пределах абсолютных границ ее изменений. Эти границы обусловлены характером метеорологической переменной или явления, но зависят также от диапазона измерений отдельных датчиков и аппаратного обеспечения для получения данных. Могут также применяться дополнительные проверки по границам диапазона изменения, которые являются функциями географического района, сезона и времени года. Предлагаемые границы для этих дополнительных проверок представлены в таблицах 6.3–6.9 главы 6 публикации ВМО (1993). Эти проверки в результате предоставляют информацию об ошибочных или сомнительных значениях.

Вероятная скорость изменения — это проверка на вероятную скорость изменения от предшествующего приемлемого уровня. Результативность такой проверки зависит от временной однородности или устойчивости данных, и ее эффективность проявляется в отношении данных с высоким временным разрешением (высокая скорость выборки),

поскольку с возрастанием скорости выборки повышается корреляция между соседними выборками. Одной из очевидных трудностей является определение того, насколько быстро может изменяться сама метеорологическая величина, поскольку имеется влияние динамической характеристики датчика. Можно проводить дополнительные проверки временной однородности, сравнивая данные двух последовательных сводок. В публикации ВМО (1993) представляются допуски на результаты проверки для различных временных периодов синоптического масштаба (1, 2, 3, 6, 12 ч) для температуры воздуха, точки росы и барической тенденции.

Проверки согласованности датчиков

Можно провести контроль внутренней согласованности переменной с другими переменными, основываясь на определенных физических или метеорологических принципах. Вот некоторые из примеров: точка росы не может превышать температуру окружающей среды; осадки над местом наблюдения или только что выпавшие над ним при отсутствии облаков маловероятны; ненулевая скорость ветра при отсутствии колебаний направления ветра предполагает проблему с датчиком направления ветра; нулевая средняя скорость ветра при ненулевых колебаниях направления (дисперсия) предполагают неисправность датчика скорости ветра.

Данные наблюдений, вводимые вручную

В тех случаях, когда в АМС вводятся вручную количественные данные наблюдений, можно проводить сравнение между самими датчиками и внешними устройствами, которые упоминаются выше. Некоторые специальные проверки на совместимость информации предлагаются в публикации ВМО (1993) относительно текущей погоды с дальностью видимости; текущей погоды с облачным покровом; облачного покрова, информации о погоде и облачности; текущей погоды с температурой воздуха; текущей погоды с температурой точки росы; высоты облаков с типом облаков и состояния моря со скоростью ветра.

Проверки аппаратного обеспечения

Характеристики АМС ухудшаются в ходе ее эксплуатации в связи со старением компонентов аппаратного обеспечения, влиянием неисследованных ранее ситуаций, плохим обслуживанием, выходом из строя изделия и т. п. Поэтому важно осуществлять и периодически автоматически проводить операции по внутренней самопроверке с использованием средств контроля, встроенных в аппаратуру АМС, для предоставления результатов этих проверок в распоряжение соответствующего персонала или для хранения результатов в накопителях информации о состоянии станции. Можно изучать содержание этих накопителей, а информацию о состоянии станции использовать для классификации величин данных измерений как правильных, ошибочных или сомнительных.

Проверка сообщений

Для АМС с программным обеспечением для кодирования сообщений и передачи сообщений по Глобальной системе телесвязи важнейшее значение имеет выполнение всех вышеуказанных проверок с особой тщательностью. Кроме того, следует также контролировать соответствие правилам, касающимся знаков, чисел, форматов и т. п. В случае, когда величины оцениваются как сомнительные, следует предусматривать принятие соответствующих мер.

1.3.2.9 *Хранение данных*

Обработанные данные или данные наблюдений, введенные вручную, включая контроль качества информации о состоянии (данные о состоянии станций), следует накапливать или хранить в течение какого-то времени на АМС. Это связано с обновлением в масштабе реального времени соответствующей базы данных. Количество ячеек базы данных и

требуемую память следует определить, исходя из максимально возможного количества датчиков, промежуточных данных, расчетных значений величин и необходимой автономности станции. Обычно структура оперативной памяти предусматривается такой, чтобы обеспечить замену устаревших данных новыми входящими данными по истечении заранее заданного периода времени. Структура базы данных должна обеспечивать легкий и свободный доступ с помощью алгоритмов перемещения данных и их передачи.

В зависимости от требований к наблюдениям и типа станции перемещение данных можно осуществлять в регулярные интервалы времени из основной памяти АМС в другие виды устройств хранения, такие как сменные блоки памяти.

1.3.2.10 **Передача данных**

С учетом оперативных требований и средств связи передачу данных от АМС местным пользователям или центральной сетевой системе обработки можно осуществлять с помощью следующих различных режимов работы:

- a) наиболее известным основным режимом является реакция на внешние команды, поскольку она позволяет осуществлять контроль станции в наибольшей степени, т. е. инициализацию, установку и регулировку часов реального времени, удаление неисправных датчиков, передачу отдельной базы данных и т. п. После получения и передачи управления внешней команде выбирается соответствующая задача из списка или подпрограмма в зависимости от команды;
- b) в определенные интервалы времени, задаваемые программным таймером АМС;
- c) в чрезвычайных для АМС условиях, когда превышаются определенные метеорологические пороговые значения.

Общедоступные пакеты программного обеспечения для передачи данных можно в целом использовать для должного преобразования и контроля данных и для передачи по протоколам связи. Поскольку на средства передачи данных оказывают влияние различные источники помех, следует обратить особое внимание на адекватные методы предотвращения ошибок кодирования, такие как проверка битов на четность и использование циклических кодов с избыточностью. Ниже следует краткий обзор некоторых вариантов телесвязи для создания сети АМС.

Односторонняя связь

Простая сеть АМС могла бы использовать одностороннюю связь в тех случаях, когда удаленные станции функционируют с рассчитанным по времени циклом для сканирования каналов датчиков, или в иных случаях, когда создается аварийная ситуация, чтобы установить связь по телефонным линиям с управляющим и осуществляющим сбор данных компьютером, а после установления связи – для передачи их блоков данных. Каждая АМС могла бы иметь последовательный интерфейс с аналоговым модемом, и передача данных будет происходить, например, со скоростью 9 600 бит в секунду (бит/с) с использованием звуковых сигналов. Преимущества этой двухточечной системы связи заключаются в том, что она использует надежную и простую технологию, а также обычные телефонные линии речевого диапазона. Расходы, которые должны быть умеренными, зависят от тарифных расценок, учитывающих расстояние и время соединения. Недостатками является то, что защита данных является лишь посредственной; объемы данных должны быть относительно небольшими; невозможность использования каких-либо мощных сетевых архитектур; и возможность того, что телекоммуникационные компании ограничат будущий доступ к этим сетям аналоговых данных, поскольку технология неуклонно движется в направлении использования широкополосных цифровых сетей.

Двусторонняя связь

Более мощная сеть обладает двусторонней связью, и поэтому центральный компьютер может опрашивать сетевые станции не только в синоптические периоды или ежечасно, но и на основе выборочного доступа, когда прогнозист или гидролог желает получить текущее обновление информации о метеорологических условиях в конкретном месте или местах. Удаленные станции будут инициировать данную процедуру для направления своих собственных тревожных сообщений в режиме реального времени. Наличие двусторонней связи также позволяет удаленной станции посылать командные сообщения для изменения своей методики работы и для получения нового оперативного программного обеспечения, загружаемого в свой процессор.

Сетевая связь АМС

Сеть могла бы использовать наземную линию связи или радиосвязь (особенно для весьма удаленных мест) или сочетание того или другого. Преимущество использования поставщика телекоммуникационных услуг состоит в том, что вся ответственность за техническую эксплуатацию сети и, возможно, коммуникационных интерфейсов лежит на данном поставщике, который должен оперативно реагировать на сообщения о неисправностях, направленных органом, ответственным за разработку, производство и эксплуатацию системы АМС. Следует отметить необходимость умения определять то, с какой стороны коммуникационного интерфейса АМС (или телекоммуникационной линии) имеется неисправность, что может оказаться проблематичным. Сети АМС часто использовали цепи наборного доступа в коммутируемой телефонной сети общественного пользования (КТСОП), при этом стоимость определялась расстоянием и временем соединения в соответствии с тарифами местного поставщика коммуникационного обслуживания. Другим вариантом является наличие «отдельной сети», работающей на основе выделенных арендуемых линий заданного качества. В таком случае нет никакой задержки коммутации при создании каналов связи, обеспечиваются более высокие скорости передачи, существует высокая вероятность того, что данный канал связи будет обслуживаться. Арендные расходы зависят от длины линии, а не от объема данных. Стоимость выше по сравнению с соединениями по телефонной линии в тех случаях, когда объем данных является весьма малым.

Цифровая сеть интегрального обслуживания

Многие телекоммуникационные организации предлагают цифровую сеть интегрального обслуживания, которая обеспечивает передачу голосовых сообщений, данных и видеоинформации посредством кодово-импульсной модуляции по усовершенствованным кабелям и коммутаторам КТСОП. Базовый канал обеспечивает передачу данных со скоростью 64 кбит/с на основе протокола пакетной коммутации X.25 или протоколов ретрансляции кадров. Цифровые каналы обеспечивают очень высокий уровень защиты данных.

Связь по глобальной компьютерной сети

В результате мирового увеличения трафика данных и использования современных коммуникационных протоколов наряду с повышением возможностей для проведения вычислений и хранения данных на удаленных терминалах обычным явлением сейчас является отношение к АМС и центральному компьютеру, предназначенному для управления и сбора данных, как к узлам глобальной компьютерной сети (ГКС). Информационное или управляющее сообщение делится на «пакеты» согласно правилам (протоколам), таким как X.25 или более скоростной протокол ретрансляции кадров. Каждый пакет данных направляется через коммутируемую сеть передачи данных поставщика телекоммуникационного обслуживания и может достичь пункта назначения разными маршрутами (эффективно используя сеть с другими независимыми пакетами). В пункте назначения эти пакеты собираются вместе согласно протоколу после различных задержек, с тем чтобы реконструировать сообщение. Надежная передача информации обеспечивается благодаря обнаружению ошибок с автоматической повторной отправкой поврежденных или потерянных пакетов. Следует отметить отличие от обычной КТСОП,

основанной на технологии коммутации каналов, когда для передачи информации между двумя сторонами предоставляется выделенная линия. Коммутация каналов является идеальным вариантом, когда данные в реальном масштабе времени (такие как прямая аудио- и видеотрансляция) должны быстро передаваться и прибывать в том же порядке, в котором они были посланы.Packetная коммутация является более эффективной и надежной применительно к данным, которые могут выдержать некоторую краткосрочную задержку при их передаче. Стоимость передачи сообщений связана со временем соединения и объемом данных. Должен существовать способ для прекращения соединения надежным образом, когда сбор данных закончен, поскольку аварийная АМС может держать линию открытой и быть причиной нежелательных расходов.

Режим ретрансляции кадров и асинхронной передачи данных

Ретрансляция кадров – это пакетная коммутация, сетевой протокол для соединяющих устройств на ГКС, со скоростями передачи данных от 64 кбит/с до 2 Мбит/с или выше в зависимости от качества линии. В отличие от двусторонней выделенной линии сетевая коммутация происходит между АМС и центральной станцией. Фактически действует выделенная линия к узлу на сети ретрансляции кадров, а отдаленное место имеет выделенную линию к ближайшему узлу ретрансляции кадров. Пользователь получает «виртуальную локальную сеть». Расходы снижаются и не зависят от объема данных или потраченного на соединение времени. В то же время, в некоторых районах происходит замена ретрансляции кадров более новыми и быстрыми технологиями, такими как асинхронный режим передачи (АТМ). В протоколе АТМ предпринята попытка сочетания того и другого, а именно гарантированного обеспечения сетей с коммутацией каналов с надежностью и эффективностью сетей с коммутацией пакетов.

Протокол передачи

Фактическим стандартом для передачи данных между компьютерами через сети является протокол управления передачей/протокол Интернет (ТСР/IP). Протокол Интернет (IP) определяет формат пакетов, именуемых «датаграммами», и схему адресации. Протокол более высокого уровня ТСР устанавливает виртуальную связь между источником и пунктом назначения, с тем чтобы одновременно могли проходить двусторонние потоки данных и датаграммы доставлялись в правильной последовательности с исправлением ошибок путем повторной передачи. ТСР также управляет движением данных между приложениями программного обеспечения. Функционирование Интернет основано на протоколе ТСР/IP, а IP также используется в ГКС, которые не обладают возможностями для обработки данных, и в сети идет обмен большими объемами данных. IP обеспечивает совместное использование национальными и региональными дорожными ведомствами через арендованный интранет данных АМС и анализов дорожных условий, осуществленных компьютером центральной станции.

Коммутируемые или выделенные каналы связи

Необходимо решить вопрос о том, следует ли использовать более дешевые коммутированные каналы передачи данных в тех случаях, когда требуется общий с другими пользователями доступ к телекоммуникационной сети, или же арендовать гораздо более дорогие выделенные линии связи, которые обеспечивают надежную, высокоскоростную связь в масштабе реального времени. Коммутированная сеть будет иметь определенную временную задержку в тех случаях, когда будет происходить задержка в установлении канала связи продолжительностью в несколько секунд, однако протоколы пакетного коммутирования легко решают эту проблему. Принятию выбора будут способствовать такие факторы, как соображения надежности, объем данных, которыми будут обмениваться с каждым сообщением, или специальные «загрузки» для отдаленных станций, а также оперативная необходимость в фактической связи в масштабе реального времени. Сезонный фактор также будет оказывать влияние на выбор вида связи. Если жизненно важно использование дорожных метеорологических данных имеет значение только в течение нескольких месяцев в году, то круглогодичная эксплуатация выделенной коммуникационной сети вызовет высокие накладные расходы в расчете на одно сообщение. Фактическая стоимость сообщения будет зависеть от формулы расчета

цены телекоммуникационной компании и будет учитывать такие факторы, как скорость передачи данных, длина линии связи, продолжительность соединения и предоставление данной компанией терминальных модемов. Местные телекоммуникационные компании будут готовы предоставить руководящие указания, касающиеся выбора их услуг.

1.3.2.11 **Техническое обслуживание и калибровка**

Особые процедуры программного обеспечения введены в программу прикладного программного обеспечения, позволяющую производить ремонт и калибровку на месте эксплуатации. Такие виды деятельности обычно связаны с прогонкой интерактивных программ для испытания конкретного датчика, изменения структуры АМС в случае замены датчиков или модулей, перенастройки системы параметров, испытания телесвязи, введения новых коэффициентов калибровок и т. п. Ремонт и калибровка производятся в неоперативном режиме работы станции при временном прекращении ее нормальной работы.

1.3.2.12 **Представление данных**

Кроме обычных способов представления данных для выполнения различных функций, упомянутых в вышеуказанных разделах, в оперативной работе часто требуется, чтобы отдельные данные отражались на местном уровне с периодическим обновлением в масштабе реального времени или на жидкокристаллических дисплеях, существующих терминалах или на специальных экранах. Примерами служат АМС, установленные в аэропортах и в пунктах контроля окружающей среды. В некоторых странах требуются местные распечатки данных или графическое представление с помощью перьевых регистраторов.

1.4 **СООБРАЖЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

Вопрос о месте размещения АМС является довольно сложным вопросом, и в этой области предстоит провести большую исследовательскую работу. Общий принцип состоит в том, что станция должна обеспечивать репрезентативность измерений в прилегающем районе, размер которого зависит от метеорологического применения. Существующие на этот счет руководящие указания для обычных станций действительны также и для АМС, и поэтому можно обратиться к части I, а также к другим публикациям ВМО (2010a; 2010b; 2014).

Некоторые АМС, установленные в труднодоступных местах как на суше, так и на море, вынуждены работать без обслуживания в течение длительных периодов времени. Расходы на установку могут быть высокими, и могут потребоваться дополнительные расходы на обслуживание. Они вынуждены работать от очень ненадежных источников энергоснабжения или же в местах, где вообще нет постоянных источников энергоснабжения. Следует также учитывать наличие средств телесвязи. Необходимо обеспечивать меры безопасности (от ударов молний, наводнений, воровства, вандализма и т. п.), и безусловно станции должны противостоять суровым метеорологическим условиям. Расходы по обеспечению систем, способных работать при всех условиях, которые можно предусмотреть для автоматической станции, являются высокими, и поэтому важно до получения технического задания или до проектирования АМС иметь полное представление о предполагаемой среде функционирования АМС. На ранней стадии планирования должен быть проведен подробный анализ относительной важности метеорологических и технических потребностей, с тем чтобы можно было выбрать и утвердить место для расположения станции до осуществления значительных инвестиций по установке.

1.5 ОБРАБОТКА ДАННЫХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СЕТИ

Обычно АМС является частью сети метеорологических станций и передает свои обработанные данные или сообщения на центральную систему обработки данных сети с помощью различных средств передачи данных. Формулирование требований к функциональным и соответственно техническим характеристикам центральной системы представляется сложной задачей и часто недооценивается. Здесь требуется тесное сотрудничество между конструкторами АМС, специалистами в области телесвязи, специалистами по программному обеспечению и пользователями данных. Необходимо принимать решения, касающиеся задач, которые должны выполнять центральная система и АМС. Действительно, в зависимости от применений определенные функции АМС можно передать центральной системе, где имеется больше компьютерных мощностей и большая память. Примерами являются математические вычисления большого объема, такие, как приведение атмосферного давления и кодирование метеорологических сообщений. Буферы данных АМС можно уменьшить до оперативного минимума в тех случаях, когда данные регулярно передаются на центральную систему. Хорошая практика состоит в том, чтобы вначале договориться о функциональных параметрах как центральной системы, так и АМС, а затем формулировать технические требования к ним.

1.5.1 Состав

Состав центральной системы обработки данных сети в значительной мере зависит не только от функций, которые она должна выполнять, но также от местных технических средств. Можно использовать мощные персональные компьютеры или рабочие станции, работающие в масштабе реального времени с множеством задач и пользователей. Однако используются существующие средства телесвязи и системы обработки. Центральные системы обработки данных сети все больше интегрируются в локальную зональную сеть, что позволяет им распределять и решать задачи в наиболее подходящем месте наиболее подготовленными работниками.

К числу основных функций центральной системы сети относятся сбор данных, включая расшифровку сообщений от сети АМС; дистанционный контроль и поддержание в рабочем состоянии АМС; мониторинг сети и контроль качества данных; дальнейшая обработка данных для удовлетворения потребностей пользователей; доступ к сетевой базе данных; отображение данных и передача данных внутренним или внешним пользователям. К числу последних может относиться Глобальная система телесвязи, если производится международный обмен данными.

1.5.2 Контроль качества данных сети

Эта тема рассматривается далее в части IV, глава 1. Рекомендуется, чтобы операторы сетей¹⁸:

- a) организовывали и проводили проверку систем квазиоперативного мониторинга измерений, где сообщаемые значения регулярно сверяются с проанализированными полями, соответствующими тому же месту измерения;
- b) устанавливали процедуры осуществления эффективной связи между службой мониторинга и соответствующими службами эксплуатации и калибровки для скорейшего получения информации о погрешностях или ошибках сообщений от системы мониторинга.

Процедуры автоматизированного контроля качества на АМС имеют свои ограничения, и некоторые ошибки, такие, как длительные дрейфы в датчиках и модулях, могут не обнаруживаться даже при наиболее сложном контроле. Другим источником ошибок

¹⁸ Рекомендовано Комиссией по приборам и методам наблюдений на ее девятой сессии (1985 г.), рекомендация 5 (КПМН-IX).

является передача данных от АМС. Поэтому рекомендуется, чтобы система мониторинга сети, являющаяся частью центральной системы сети, осуществляла дополнительные процедуры контроля качества. Наиболее важные процедуры контроля качества в такой системе мониторинга включают следующее:

- a) обнаружение ошибок в передаче данных; необходимые процедуры зависят от протокола передачи и используемых циклических кодов с избыточностью;
- b) проверка формата и содержания сообщений в кодах ВМО (ВМО, 1993);
- c) дальнейшая обработка данных на предмет исключения или иного решения вопроса об ошибочных данных в служебных файлах АМС.

Системы интерактивного отображения также позволяют проводить дополнительный контроль качества входящих данных. Можно отображать на цветных экранах временные ряды для одной или нескольких переменных и для одной или нескольких станций; подготовленный и опытный персонал может использовать статистический анализ для обнаружения кратко- и долгосрочных аномалий, которые не всегда обнаруживаются алгоритмами полностью автоматизированного контроля качества.

Алгоритмы мониторинга, в которых сообщаемые величины регулярно проверяются по времени и пространству при сравнении с проанализированными численными полями, являются весьма эффективными способами обнаружения ошибок и принятия мер по исследованию или устранению недостатков. Малая амплитуда турбулентных колебаний атмосферного давления и степень достоверности, с которой местные географические воздействия можно устранять посредством приведения данных всех наблюдений к общему справочному уровню, дают основание рассматривать атмосферное давление как основную величину при таком контроле качества. При осреднении по времени или пространству данные наблюдений других переменных также должны проходить подобный анализ. Однако необходимо принимать во внимание и тщательно учитывать местные орографические воздействия.

1.6 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ

Стоимость обслуживания сети автоматических станций на суше и особенно в море может в значительной мере увеличить общие затраты на них. Поэтому важнейшими факторами при конструировании автоматических метеорологических станций являются их надежность и простота обслуживания. Специальная защита от воздействий окружающей среды зачастую оправдывается даже при высоких первичных затратах.

Очевидно, что любая комплексная система требует поддержки по техническому обслуживанию. При выходе из строя отдельных компонентов необходимо проводить их соответствующую замену. Компоненты аппаратного обеспечения могут выходить из строя по многим причинам; компьютерные программы также могут выходить из строя из-за ошибок при их разработке, которые могут оставаться незамеченными в течение длительного периода времени. Для минимизации корректирующего ремонта и улучшения работы АМС рекомендуется хорошо организованное профилактическое техническое обслуживание. Все компоненты системы нуждаются в профилактическом техническом обслуживании, а не только в чистке и смазке механических частей. Благодаря все большей надежности электронных компонентов АМС профилактическое техническое обслуживание, включая обслуживание и калибровку датчиков, станет главным фактором технического обслуживания.

Адаптивное техническое обслуживание вызывается необходимостью учета быстрых изменений в технологии и наличия запасных частей после нескольких лет эксплуатации АМС. Действительно, расходы на ремонт и компоненты часто возрастают очень быстро после того, как какая-либо система не пользуется уже активным спросом, что вызывает необходимость замены модулей новыми, но с другой технологией, поскольку очень

редко можно обеспечить точную замену. Примерами являются перенос данных с одного средства регистрации на другое, программ и оперативных систем из одного процессора в другой, что приводит к модульным изменениям в обеспечении надежности системы, соединению с новыми системами телесвязи и т. п. Для снижения расходов на такого рода обслуживание и ремонт желательно, чтобы были установлены общепринятые стандарты на оборудование и интерфейсы, а также на программное обеспечение, и чтобы они были включены в технические спецификации АМС.

Поскольку техническое обслуживание и ремонт сети автоматических станций представляют собой зачастую весьма недооцениваемую задачу, важно организовать их согласно рациональному плану, в котором будут подробно предусмотрены все функции, и организовать техническое обслуживание и ремонт таким образом, чтобы свести к минимуму расходы, избегая при этом неблагоприятных воздействий на показатели работы. Модульная структура многих современных автоматических станций позволяет организовать техническое обслуживание и ремонт на месте эксплуатации, а также в региональных и национальных центрах.

Техническое обслуживание и ремонт в полевых условиях: в целом нежелательно производить ремонт датчиков АМС или других модулей в полевых условиях, поскольку условия неблагоприятны для эффективной работы. Кроме того, в связи с высокими расходами на персонал и относительно низкими расходами на оборудование более эффективным является списание неисправных модулей, чем их ремонт. Рекомендуется, чтобы техническое обслуживание с устранением неисправностей на месте эксплуатации производилось специальным техническим персоналом из регионального или национального центра в зависимости от размера страны, а простой профилактический ремонт проводился бы местным наблюдателем (при наличии такового). Для обеспечения быстрого реагирования на неисправности весьма желательная практика заключается в том, чтобы АМС периодически передавали диагностическую информацию самопроверки.

Региональный центр: в региональном центре должен быть технический персонал для замены или ремонта модулей и датчиков, небольшие неисправности которых можно обнаружить и устранить. Этот персонал должен хорошо знать работу аппаратного обеспечения станции и быть подготовлен к проведению обычного обслуживания программного обеспечения. Такие региональные центры должны быть оснащены соответствующим контрольно-измерительным оборудованием и иметь достаточное количество модулей и датчиков для выполнения технического обслуживания и ремонта станций в своей зоне. Этим центрам необходимы соответствующие средства транспортировки для выполнения работы в полевых условиях. Следует также уделять внимание планированию и периодическому посещению удаленных станций для проверки их работы, выявления случаев вандализма, местных условий, изменений и т. п. Необходимо также установить процедуры для срочных посещений различных станций, основываясь на приоритетах, определяемых для данной станции.

Национальный центр: для национального центра требуется более квалифицированный технический персонал, который способен обнаруживать и устранять сложные неисправности в датчиках, модулях и средствах передачи данных. В центре должно быть необходимое оборудование для проверки и ремонта всех частей АМС, и работа должна проводиться в самом центре. При обнаружении неоднократных неисправностей такие части следует передавать конструкторам или поставщикам для исправления конструктивных дефектов.

В связи с тем, что программное обеспечение играет очень важную роль в каждой АМС и в центральной системе обработки данных сети, требуется персонал с глубокими знаниями АМС и программного обеспечения центральной сетевой системы. Должны иметься необходимые средства для разработки программного обеспечения, а также средства для тестирования. Кроме того, национальный центр должен быть способен выполнять все задачи, связанные с адаптивным техническим обслуживанием и ремонтом.

Что касается контроля качества данных сети, то желательно установить процедуры эффективной связи между службой мониторинга и соответствующей службой

технического обслуживания и ремонта, а также калибровки, с тем чтобы способствовать быстрому реагированию на неисправности или передаче сообщения о неисправности от системы мониторинга.

Изложенная выше схема пригодна для больших стран. В малых странах задачи региональных центров может выполнять национальный центр. Развивающиеся страны могут рассмотреть вопрос об организации общей с соседними странами службы технического обслуживания и ремонта. Для того чтобы поддерживать расходы на техническое обслуживание и ремонт на разумно низком уровне, можно предусмотреть общий международный центр технического обслуживания и ремонта. Однако для такого международного сотрудничества потребовалось бы использование однотипного оборудования. Если метеорологическая служба не может выделять свой персонал или средства для выполнения многих вспомогательных функций, то можно воспользоваться услугами подрядчика. Такая поддержка может, например, оговариваться как часть пакета в системе закупок. Однако необходимо очень хорошо подготовить контракт о техническом обслуживании и ремонте, а выполнение контракта должно тщательно проверяться соответствующим персоналом.

Предложения по методам менеджмента качества изложены в части IV, глава 1.

1.7 КАЛИБРОВКА

В датчиках, особенно в датчиках АМС с электрическими выходами, со временем возникают изменения в точности, и в связи с этим необходимо регулярно проводить поверку и калибровку. В принципе, период между калибровками определяется техническими характеристиками дрейфа, сообщенными изготовителем, а также требуемой точностью. При международных взаимных сравнениях приборов ВМО также даются некоторые объективные показатели изменений в точности датчиков, а также желательные интервалы между калибровками. Поскольку модули формирования сигнала и оборудование для получения и передачи данных также составляют часть цепи измерений, то их надежность и правильность работы также должны контролироваться или периодически проверяться. Ниже приводится краткое описание некоторых практических аспектов, касающихся АМС. За более подробной информацией, касающейся методов и техники калибровки, можно обратиться к различным главам части I и к части IV, глава 4.

Первичная калибровка: до закупки и установки АМС несложно проконтролировать выполнение требования о наличии средств для калибровки и приборного обеспечения, с тем чтобы иметь возможность проверить спецификации, сообщенные изготовителем, провести испытание работы станции в целом, а также удостовериться в том, что транспортировка не повлияла на измерительные характеристики оборудования.

Поверка на местах: абсолютным требованием контроля работы датчиков является периодическое сравнение на станции датчиков АМС с транспортируемыми эталонами. Предпочтительно использовать транспортируемые эталоны, имеющие такие же характеристики фильтрации, как и цепь измерений АМС, а также выход для считывания в цифровой форме. Во избежание возможного изменения точности во время транспортировки во многих странах используют два транспортируемых эталона одинакового типа. В целях обнаружения небольших отклонений транспортируемые эталоны должны иметь точность намного лучше, чем соответствующий датчик станции, и в течение всего процесса сравнений должны находиться в таких же условиях среды, что и датчики, в течение достаточно длительного периода времени. Поскольку у модулей формирования сигнала и оборудования для сбора данных, таких, как аналого-цифровой преобразователь (АЦП), также могут быть отклонения в работе, следует использовать соответствующие эталонные источники напряжения и многошкальные электроизмерительные приборы для обнаружения мест аномалий.

До и после проведения инспекций места размещения АМС транспортируемые эталоны и опорные источники необходимо поверять по рабочим эталонам калибровочной лаборатории. При обнаружении отклонений в точности необходимо как можно скорее информировать об этом службу технического обслуживания и ремонта.

Лабораторная калибровка: приборы, у которых заканчивается срок калибровки; приборы, имеющие отклонения в точности выше дозванных пределов в течение полевой инспекции, а также приборы, отремонтированные службой технического обслуживания и ремонта, должны возвращаться в лабораторию калибровки для их повторного использования. Калибровка датчиков должна проводиться в кондиционируемой среде (в камере искусственного климата) с использованием соответствующих рабочих эталонов. Эти рабочие эталоны должны сравниваться и периодически калиброваться по вторичным эталонам, а также соответствовать международным стандартам.

Необходимо также обращать внимание на поверку различных компонентов, составляющих измерительную и телеметрическую цепи, в частности модули формирования сигнала. Это связано с соответствующим напряжением, током, емкостными и резисторными эталонами, оборудованием проверки передачи и с цифровыми многоскальными электроизмерительными приборами высокой точности. Для поверки требуются высокоточные приборы или системы получения данных. Для расчета калибровочных постоянных желательно иметь компьютер. Эти постоянные будут индивидуальными для датчика или модуля в течение периода их эксплуатации до следующей поверки, и их необходимо вводить в память АМС во всех случаях замены или установки в АМС датчика или модуля во время технического обслуживания и ремонта в полевых условиях.

Необходимо составить график периодического сравнения вторичных эталонов лаборатории калибровки с национальными, международными или региональными первичными эталонами ВМО.

1.8 ОБУЧЕНИЕ ПЕРСОНАЛА

Поскольку АМС основана на применении технологии, которая значительно отличается от приборного оснащения традиционных станций и сетей, то очевидно необходим глубокий пересмотр существующих программ обучения и повышения квалификации требуемого технического персонала. Любая новая программа обучения должна организовываться в соответствии с планом, направленным на удовлетворение потребностей пользователей. Он должен в первую очередь предусматривать техническое обслуживание и калибровку, упомянутые выше, а также должен соответствовать системе. Перевод существующего персонала на выполнение новых задач, если даже он имеет многолетний опыт работы с традиционными станциями, не всегда возможен и может создать серьезные проблемы, если персонал не обладает основами знаний в области электрических датчиков, цифровых и микропроцессорных методов обработки или компьютеров. Может потребоваться наем нового персонала, обладающего такими знаниями. Необходимо иметь персонал, компетентный в различных областях работы автоматических станций, задолго до установки сети АМС (см. ВМО, 1997).

Важно, чтобы изготовители оборудования АМС обеспечивали подробную эксплуатационную и техническую документацию и организовывали курсы по эксплуатационно-технической подготовке кадров. Как правило, изготовитель должен предоставлять два комплекта документации: руководства пользователя для оперативного обучения основам работы системы и ее использованию и технические руководства с более сложной документацией, описывающей во всех технических подробностях оперативные характеристики системы, вплоть до уровня подблоков и даже электронных компонентов, в том числе с инструкциями по техническому обслуживанию и ремонту. Эти руководства можно рассматривать как основную документацию для программ обучения, осуществляемого изготовителем системы, которой можно пользоваться в качестве справочного материала, когда уже не будет специалистов изготовителя для оказания помощи.

Для некоторых стран рекомендуется организовывать общие учебные курсы в учебном центре, который обслуживает соседние страны. Такой учебный центр будет работать наиболее эффективно, если он связан с назначенным центром по приборам, а обслуживаемые страны согласились использовать одинаковое стандартизированное приборное оснащение.

СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Всемирная метеорологическая организация, 1992a: *Международный метеорологический словарь* (ВМО-№ 182). Женева.
- , 1993: *Руководство по Глобальной системе обработки данных* (ВМО-№ 305). Женева.
- , 2010a: *Руководство по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 488). Женева.
- , 2010b: *Наставление по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 544), том I. Женева.
- , 2011a: *Руководство по климатологической практике* (ВМО-№ 100). Женева.
- , 2011b: *Наставление по кодам* (ВМО-№ 306), тома I.1 и I.2. Женева.
- , 2011c: *Технический регламент* (ВМО-№ 49), том I. Женева.
- , 2014: *Руководство по системам метеорологических наблюдений и распространения информации для авиационного метеорологического обслуживания авиации* (ВМО-№ 731). Женева.
- World Meteorological Organization, 1954: *Reduction of Atmospheric Pressure*. Technical Note No. 7 (WMO-No. 36, TP. 12). Geneva.
- , 1964: *Note on the Standardization of Pressure Reduction Methods in the International Network of Synoptic Stations: Report of a Working Group of the Commission for Synoptic Meteorology*. Technical Note No. 61 (WMO-No. 154, TP. 74). Geneva.
- , 1968: *Methods in Use for the Reduction of Atmospheric Pressure*. Technical Note No. 91 (WMO-No. 226, TP.120). Geneva.
- , 1987: *Some General Considerations and Specific Examples in the Design of Algorithms for Synoptic Automatic Weather Stations* (D.T. Acheson). Instruments and Observing Methods Report No. 19 (WMO/TD-No. 230). Geneva.
- , 1988: *WMO International Ceilometer Intercomparison (United Kingdom, 1986)* (D.W. Jones, M. Ouldrige and D.J. Painting). Instruments and Observing Methods Report No. 32 (WMO/TD-No. 217). Geneva.
- , 1989a: *WMO International Hygrometer Intercomparison* (J. Skaar, K. Hegg, T. Moe and K. Smedstud). Instruments and Observing Methods Report No. 38 (WMO/TD-No. 316). Geneva.
- , 1989b: Preliminary results of the WMO automatic sunshine duration measurement comparison 1988/89 in Hamburg (K. Dehne). Papers presented at the *Fourth WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation (TECIMO-IV)*. Instruments and Observing Methods Report No. 3, (WMO/TD-No. 303). Geneva.
- , 1990: *The First WMO Intercomparison of Visibility Measurements Final Report (United Kingdom 1988/1989)* (D.J. Griggs, D.W. Jones, M. Ouldrige and W.R. Sparks). Instruments and Observing Methods Report No. 41 (WMO/TD-No. 401). Geneva.
- , 1991: *Guidance on the Establishment of Algorithms for Use in Synoptic Automatic Weather Stations: Processing of Surface Wind Data* (D.J. Painting). Instruments and Observing Methods Report No. 47 (WMO/TD-No. 452). Geneva.
- , 1992b: *The WMO Automatic Digital Barometer Intercomparison: Final Report* (J.P. van der Meulen). Instruments and Observing Methods Report No. 46 (WMO/TD-No. 474). Geneva.
- , 1994: WMO solid precipitation measurement intercomparison: Preliminary results (B.E. Goodison, E. Elomaa, V. Golubev, T. Gunther and B. Sevruk). *Papers Presented at the WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation (TECO-94)*. Instruments and Observing Methods Report No. 57 (WMO/TD-No. 588). Geneva.
- , 1997: *Guidance on Automatic Weather Systems and their Implementation*. Instruments and Observing Methods Report No. 65 (WMO/TD-No. 862). Geneva.
- , 2000: Operation of automated surface observing systems in harsh climatological environments (M.D. Gifford, G.M. Pearson and K. Hegg). *Papers Presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2000)*. Instruments and Observing Methods Report No. 74 (WMO/TD-No. 1028). Geneva.
- , 2003: *Algorithms Used in Automatic Weather Stations: Evaluation of Questionnaire* (M.D. Gifford). Instruments and Observing Methods Report No. 78 (WMO/TD-No. 1160). Geneva.
-