

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, 1992).

В настоящее время АМС представляют собой обычный набор оборудования, который входит в состав наземных станций метеорологических наблюдений. Большинство приборов зондирования подключены к электронной системе сбора данных. Наземные станции наблюдений, оборудованные АМС, могут быть полностью автоматизированными или смешанными системами, что допускает дополнение их визуальными наблюдениями, которые производят специалисты-наблюдатели. Основными функциями АМС являются преобразование данных измерений метеорологических компонентов в электрические сигналы через посредство датчиков, обработка и преобразование этих сигналов в метеорологические данные, а также запись и/или передача получаемой информации.

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. Регистраторы данных иногда используются в качестве оборудования для сбора данных системы, и они считаются частью АМС.

1.1.2 Назначение

Автоматические метеорологические станции используются для повышения количества и надежности данных приземных наблюдений. Это достигается за счет:

- a) содействия увеличению плотности наблюдательных сетей путем получения данных с новых мест их размещения, где нет людей для производства наблюдений, и из труднодоступных или сложных для проживания мест;
- b) проведение наблюдений на обслуживаемых персоналом станциях 24 часа в сутки;
- c) повышения надежности измерений посредством использования 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 и/или постоянно;

- i) компенсация нехватки численности наблюдателей;
- j) устранение ртути со станций.

Что касается пункта (j), то Минаматская конвенция Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП) по ртути вступила в силу во всем мире в августе 2017 года, запрещая в полном объеме производство, импорт и экспорт приборов для производства наблюдений (термометры, барометры и т. д.), которые содержат ртуть (ЮНЕП, 2017 г.). Это соглашение является глобальным договором о ликвидации использования ртути в целях защиты как здоровья человека, так и окружающей среды от неблагоприятного воздействия ртути. В результате национальные метеорологические и гидрологические службы (НМГС) также должны уйти от использования приборов на основе ртути. Для большинства стран это приведет к замещению традиционных приборов, содержащих ртуть, электронными (см. том I, глава 1, 1.4.2).

При наличии множества преимуществ, имеются также недостатки или сложности, которые возникают в процессе автоматизации:

- a) сети АМС уменьшают (иногда до нуля) количество наблюдателей, но требуют увеличения численности персонала, который необходим для обеспечения технического обслуживания, проверок, проектирования и обновления систем и программного обеспечения, калибровки электронных приборов и так далее;
- b) требуется более квалифицированная рабочая сила в области связи, инфраструктуры информационных технологий (ИТ), метрологии и инженерии;
- c) значительные изменения могут произойти в характере некоторых наблюдений, которые могут оказать влияние на мониторинг климата; например, переход от ручных визуальных наблюдений к автоматическим измерениям;
- d) качество некоторых наблюдений может ухудшиться из-за того, что ключевые части процесса производства измерений не автоматизированы (например, очистка купола приборов для измерения солнечного излучения или поддонов для испарения);
- e) для мест, где затраты на оплату труда являются низкими, а технологии дорогостоящими, переход на автоматизацию может не привести к снижению эксплуатационных расходов.

При рассмотрении вопроса о переходе от ручных к автоматизированным наблюдениям рекомендуется тщательным образом учитывать возможности персонала, затраты на инфраструктуру и обслуживания, а также различные воздействия на качество и объем данных.

1.1.3 Метеорологические требования

Общие требования, типы, местоположение и состав, частота и сроки наблюдений изложены в документах ВМО (2015a; 2015b).

Производительность современной электроники более не служит ограничивающим фактором для соблюдения требований к точности, как изложено в томе I, глава 1, дополнение 1.А настоящего Руководства. Неопределенность в области измерений, связанная с АМС, в основном сопряжена с характеристиками самих приборов и оказываемым на них воздействием.

Руководящие указания, содержащиеся в этой главе, необходимо использовать в сочетании с положениями глав, посвященных измерениям различных метеорологических

переменных, содержащихся в томе I, и, в частности, с положениями глав в томе V, посвященных менеджменту качества (глава 1), выборке данных (глава 2) и приведению данных (глава 3).

Как и для любой наблюдательной сети 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 для планируемой системы (ВМО, 2017а).

В *Руководстве по Глобальной системе наблюдений* (ВМО, 2010) приведен перечень функциональных спецификаций для АМС, касающихся метеорологических переменных и соответствующих дескрипторов BUFR для использования (приложение III.1), базового набора переменных, которые должны сообщаться стандартными АМС для множества пользователей (приложение III.2), и метаданных наблюдений АМС (приложение III.3).

Недостаточно полагаться на поставщиков оборудования в оценке оперативных потребностей. Комиссия по приборам и методам наблюдений (КПМН) дает следующую рекомендацию Членам ВМО и организациям, производящим метеорологические измерения.

При рассмотрении вопроса о внедрении новых АМС НМГС 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 алгоритмов¹;
- 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) разрабатывать подробные руководства и документацию по системам для оказания поддержки всем пользователям;
- f) разрабатывать адекватные программы для упредительных и корректирующих мер оказания поддержки, связанной с техническим обслуживанием и калибровкой АМС и соответствующих приборов;
- g) консультироваться и сотрудничать с пользователями, такими как авиационные ведомства, на протяжении всего процесса от конструирования до ввода в эксплуатацию и оперативного использования АМС.

В отношении автоматизации традиционных визуальных наблюдений (текущая погода, видимость и облачность), НМГС должны понимать, что характеристики наблюдений систем АМС отличаются от возможностей наблюдения специалистами-наблюдателями:

- a) измерение видимости является репрезентативным для местоположения прибора (если не установлено несколько измерителей видимости), тогда как при визуальном наблюдении используется поле обзора 360 °, но оно ограничено доступными

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

визуальными ориентирами. Это означает, что автоматизированное измерение будет иметь высокую точность для конкретного местоположения, но может не быть репрезентативным для более широкой области.

- b) облачный покров обычно оценивается на основе данных измерений высоты нижней границы облака с помощью облакомера, комбинированных или усредненных за заданный период времени (10, 30 или 60 минут), в то время как специалист-наблюдатель имеет более широкий обзор неба, по крайней мере, в течение дня. Автоматизированные измерения представляют собой проводимую по небу линии в направлении ветров на высотах. Это может не коррелировать с наблюдением в моменте всей поверхности неба человеком.
- c) приборы для оценки текущей погоды в настоящее время не способны выявить весь диапазон кодов текущей погоды, по которым мог бы готовить сообщения специалист-наблюдатель.

По сути, ручные и автоматизированные наблюдения видимости, облачности и текущей погоды четко различаются. В этой связи метеорологическим службам следует улучшить их определение потребностей, касающихся²:

- 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.

В тех случаях, когда задачей предлагаемой АМС является обеспечение данными для климатологических записей (либо там, где важна последовательность применительно к измеряемым величинам), важное значение для целостности, однородности и полезности комплектов данных имеет учет следующих вопросов для принятия соответствующих мер³:

- a) обеспечить перекрытие периодов сопоставимых измерений между обычными и новыми автоматизированными приборами;
- b) убедиться, что имеется соответствующая документация о различиях между старым и новым местоположением, а также об изменениях в приборном обеспечении (метаданные)⁴.

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

- a) скорость и направление ветра: 12 месяцев;
- b) температура, влажность, солнечное сияние, испарение: 24 месяца;
- c) осадки: 60 месяцев.

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

² Рекомендовано Комиссией по приборам и методам наблюдений на ее двенадцатой сессии (1998 г.), рекомендация 5 (КПМН-XII).

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

⁴ Примите к сведению также публикацию ВМО (2010а), раздел 3.2.1.4.4(с) — «один год параллельных измерений является недостаточным; предпочтение отдается периоду, по крайней мере, в два года, в зависимости от климатического региона».

1.1.4 Конфигурация системы

АМС обычно не используется как отдельное оборудование. АМС являются частью системы с тремя основными элементами:

- a) локальная АМС и связанные с нею приборы зондирования;
- b) локальный модем или интерфейс, используемый для подключения АМС к сети электросвязи;
- c) центральная система обработки данных, в которую передаются данные со всех АМС, входящих в сеть наблюдений. Эта центральная система обработки данных обычно подключается к ИСВ или к системе автоматической коммутации сообщений (АМСС), связанной с ИСВ.

Следовательно, АМС нельзя рассматривать в отрыве от условий (приборы, связь и центральная система обработки данных), которые оказывают влияние на роль АМС, распределение обработки данных, контроль качества и тому подобное.

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. Материалы ряда международных конференций по АМС дают весьма ценную информацию о современном состоянии, внедрении сетей АМС, миграции от ручных к автоматизированным изменениям, технических аспектах разработки коммуникации и систем, а также контроле качества и обеспечении соответствии стандартам качества (например, см. ВМО, 2017b).

Неоперативная АМС: станция, которая регистрирует данные на объекте без автоматической передачи, используется все реже и реже, поскольку данные недоступны в режиме реального времени и не позволяют оперативное выявление возможного сбоя в работе оборудования. Ввиду богатства выбора средств связи в настоящее время может быть рекомендовано использование АМС режима реального времени, даже для климатологических данных.

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. Они, таким образом, являются многоцелевыми АМС.

На практике существует несколько категорий АМС, хотя некоторые виды оборудования могут охватывать несколько таких категорий:

- a) облегченные АМС для измерения нескольких переменных, таких как осадки и/или температура воздуха, применимые как для климатологии, так и для использования в режиме реального времени;
- b) «базовые» АМС для производства «базовых» метеорологических измерений (обычно температуры воздуха, относительной влажности, скорости и направления ветра, осадков и в некоторых случаях атмосферного давления);
- c) «расширенные» АМС с дополнительными параметрами измерений солнечного излучения, продолжительности солнечного сияния, температуры почвы, испарения и так далее;

- d) АМС с автоматизацией визуальных наблюдений: «базовые» или «расширенные» АМС с автоматизированным наблюдением видимости, высоты нижней границы облаков и текущей погоды. Такие станции в некоторых странах обычно называют АМСН или АСОС.

Широкий спектр недорогостоящих АМС, включая сопутствующие приборы, можно приобрести в готовом виде, в основном они используются метеорологами-любителями или частными компаниями. Более подробную информацию о недорогостоящих АМС можно найти в дополнении к настоящей главе. Для снижения цены датчики зачастую интегрированы, а приборы третьих сторон недоступны. Датчики и электроника не рассчитаны на независимую калибровку. Следовательно, степень неопределенности измерений выше, чем у «профессионального» оборудования. Трудно оценить степень неопределенности ввиду отсутствия документации и невозможности вскрыть оборудование. Такое оборудование пока еще не отвечает требованиям КПМН.

Также доступны универсальные АМС, разработанные несколькими поставщиками профессионального метеорологического оборудования. Они включают в себя набор встроенных датчиков с адаптированной электроникой и программным обеспечением. Цена, компактность и простота установки - это преимущества этих универсальных АМС, которые обычно позволяют измерять параметры ветра (с помощью ультразвукового прибора), температуру воздуха и относительную влажность во встроенном экране от солнечной радиации, давления и осадков (с помощью радиолокатора, обнаружение попадания капель или с помощью более привычного пювниографа с опрокидывающимся сосудом в верхней части прибора). Но некоторые приборы с трудом поддаются калибровке, они часто сопровождаются ненадлежащей документацией, и все параметры измеряются на одной высоте, что представляет собой существенный недостаток. При установке на высоте примерно 2 м измерение параметров ветра в высшей степени чувствительно к расположенной ниже поверхности; при установке на высоте 10 м для соответствия рекомендациям, касающимся измерения ветра, другие параметры также измеряются на высоте 10 м, что не соответствует рекомендациям КПМН по размещению.

1.1.6 Телесвязь

Доступные средства связи на участках, входящих в сеть наблюдений, являются ключевым фактором при разработке и определении спецификаций системы или сети АМС. Можно рассматривать множество технологий: коммутируемая телефонная сеть общего пользования (КТСОП), выделенные линии, сотовые сети, спутниковые передачи, оптоволокно, доступ к Интернету и использование виртуальной частной сети (ВЧС). Основной технический вопрос перед проектированием сети наблюдений заключается в выявлении доступных средств связи. Также важно учитывать жизненный цикл предполагаемого средства связи, поскольку возможны стремительные изменения с точки зрения покрытия, цены (обычно в сторону понижения), но также и с точки зрения устойчивости. Следовательно, АМС и проектирование сети должно позволять легко менять средство или интерфейс связи, как с точки зрения физического интерфейса, так и с точки зрения программного обеспечения.

Необходимо учитывать аспект безопасности информационных технологий, особенно если Интернет используется в качестве промежуточного средства передачи данных и связи между системами. Можно использовать ВЧС и другие методы, связанные с инфраструктурой межмашинной связи (M2M).

Широкое распространение средств связи и Интернета может позволить применять концепцию «Интернета вещей» (ИВ) к отдельным «умным» метеорологическим приборам, тем самым устраняя потребность в АМС. Эта концепция еще не используется для метеорологических приборов, но станет доступной в ближайшем будущем. С такими подключенными приборами концепция АМС может частично уйти в прошлое на объектах, сбор и обработка данных будут в полной мере осуществляться в центральной системе.

1.1.7 **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 требуется 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 **КОНФИГУРАЦИЯ СИСТЕМЫ**

1.2.1 **Сети телесвязи**

1.2.1.1 **Односторонняя связь**

Важно определить, ограничены ли средства телесвязи, которые будут использоваться с сетью АМС, односторонним типом связи (АМС по отношению к центральной системе), или же допускается использование двусторонней связи. При ограничении односторонним типом связи, у АМС не будет иметься сведений о том, были ли отправленные данные успешно получены центральной системой. Поэтому целесообразно форматировать сообщения данных с помощью управляющих кодов, которые позволят получателю проверить целостность сообщения. Коды коррективы также могут использоваться для устранения возможных ошибок передачи. Если объем сообщения позволяет сделать это, то передача данных одного и того же измерения (в одном и том же сообщении или в последовательных сообщениях) может стать хорошим методом обработки ошибок и пропущенных приемов.

1.2.1.2 **Двусторонняя связь**

Если телекоммуникационная сеть позволяет сделать это, то АМС может получать подтверждение правильного приема передаваемых сообщений от центральной системы. Это гарантирует передачу всех новых данных, так как последние данные успешно получены центральной системой. Количество передаваемых данных может быть оптимизировано без необходимости использования передачи избыточных данных для обработки недостающих сообщений.

АМС может также получать команды от центральной системы для изменения ее конфигурации, интервалов передачи, повторной передачи старых данных и т. д.

1.2.1.3 **Спутниковая передача**

Существует множество спутниковых телекоммуникационных систем, некоторые из которых способны покрывать любую часть мира.

Помимо своей основной задачи получения изображений и зондирования, практически все геостационарные метеорологические спутники имеют службу/систему сбора данных (ССД) – ретранслятор сообщений от платформ сбора данных (ПСД) с автосинхронизацией в наземный центр для использования спутниковых данных.

ПСД – это односторонний передатчик, связанный с антенной, ориентированной на геостационарный спутник, подключенный к АМС. Сообщения должны быть короткими (несколько сотен байт) из-за низкой скорости передачи канала (100 бод для стандартной или 300, 1 200 или 4 800 бод для высокой скорости, в зависимости от спутника и ССД) и ограниченного временного слота, выделяемого для каждой станции. Поскольку частота передачи распределяется между несколькими ПСД, каждая ПСД должна соблюдать свой выделенный временной слот, для чего ей необходимы точные часы, что теперь легко достигается с помощью местного приемника GPS. АМС с ПСД обычно передает каждый час, во временной слот и через частотный канал, выделенный оператором спутника. Большинство частотных каналов являются «региональными» каналами, используемыми каждым отдельным спутником, но также существуют «международные» каналы, совместно используемые всеми геостационарными метеорологическими спутниками, которые могут использоваться мобильными платформами (буями, судами), которые могут беспрепятственно перемещаться из зоны обзора одного спутника в зону другого. Одним из основных преимуществ ССД является то, что каналы ПСД доступны на безвозмездной основе для метеорологических, геофизических и гидрологических сообщений при условии, что они также доступны через глобальную систему телесвязи (ГСТ) и доступны для обнаружения в ИСВ. Недостатком является то, что необходим конкретный терминал передачи (ПСД) с небольшим выбором производителей из-за довольно небольшого количества пользователей, а также то, что нормализованные современные телекоммуникационные протоколы (протокол Интернета (IP), протокол передачи файлов (FTP), протокол передачи гипертекстовых файлов (HTTP)) недоступны на уровне ПСД.

Растущее количество коммерческих спутниковых телекоммуникационных услуг основаны либо на геостационарных телекоммуникационных спутниках, либо на низкоорбитальных спутниковых группировках. Помимо голосовых услуг, операторы предлагают услуги по передаче данных, как правило, используя стандартные телекоммуникационные протоколы (на основе IP) и услуги межмашинной связи (M2M). Требуемые модемы предназначены для использования не только в метеорологии, они адаптированы ко многим системам сбора данных и поэтому доступны по довольно низким ценам. Это позволяет спроектировать систему, в которой АМС и передающий модем функционально разделены, что позволяет легко заменять телекоммуникационный модем в течение жизненного цикла системы, например, использовать услуги нового (менее дорогого) телекоммуникационного оператора. Иногда использование услуг телесвязи должно быть оптимизировано для минимизации затрат на передачу, часто связанных с количеством передаваемых данных.

1.2.1.4 **Коммутируемые телефонные сети общего пользования**

КТСОП часто имеются в развитых странах в населенных районах. Они могут легко использоваться для передачи данных при помощи модема, обеспечивая двустороннюю связь с центральной системой. В соединении могут использоваться как аналоговые сигналы (модем генерирует стандартные частоты модуляции для двоичных кодов), так и цифровые (цифровая сеть с интеграцией служб (ЦСИС) (ISDN)). Подключение к центральной системе может осуществляться несколькими способами:

- a) двухточечное соединение, центральная система, имеющая модем или пул модемов на нескольких линиях; может использоваться служба удаленного доступа, позволяющая использовать протоколы на основе IP после установления соединения;
- b) доступ локальной АМС к провайдеру интернет-услуг, что позволяет использовать интернет-канал для подключения к центральной системе; это устраняет необходимость использования центральной системой пула модемов. При использовании интернета необходимо учитывать аспекты безопасности, как со стороны АМС, так и, в частности, со стороны центральной системы.

Многие страны и операторы связи объявляют о неактуальности КТСОП (аналоговой и ЦСИС). Фиксированные сети из кабельных линий не должны быть заброшены и могут использоваться для связи на основе IP с асимметричной цифровой абонентской

линией (ADSL) или других целей. Тем не менее, ADSL должна быть достаточно близко к коммутатору, поскольку неактуальность КТСОП может снизить доступность соединения через фиксированную линию для изолированных точек.

1.2.1.5 **Сотовые сети**

Сотовые сети развиваются все активнее, сигнализируя о неактуальности КТСОП, и в настоящее время они являются наиболее часто предлагаемым видом телесвязи. Необходимая для них инфраструктура стоит дешевле, чем кабельная сеть фиксированных линий. Существует несколько видов услуг передачи данных с увеличением скорости потока (общая услуга пакетной радиосвязи (GPRS), Edge, 3G, 4G и т. д.). Учитывая объем данных метеорологических наблюдений, достаточно иметь низкую скорость, и предпочтительнее иметь лучшее покрытие, чем более высокую скорость передачи данных. Существует много промышленных модемов с низким энергопотреблением и полностью совместимых с солнечными панелями достаточного размера. Необходимо учитывать технические характеристики для работы при высокой и/или низкой температуре, так как модемы обычно устанавливаются в щиток АМС и поэтому подвержены воздействию местных атмосферных условий.

Можно использовать стандартные протоколы на основе IP (протокол управления передачей (TCP), FTP, HTTP и т. п.). Операторы также предлагают специальные услуги для передачи M2M с использованием выделенной ВЧС для клиента.

1.2.1.6 **Удаленное подключение к сети Интернет или ВЧС**

Спутниковые, КТСОП, ЦСИС и сотовые сети могут использоваться для IP-подключения к центральной системе, через Интернет или ВЧС. Можно также использовать любое другое подключение к сети Интернет, например, оптическое волокно, технологию широкополосного доступа в микроволновом диапазоне (WIMAX), телевизионный кабель и тому подобное.

1.2.1.7 **Другие коммуникационные технологии**

Арендованные линии могут использоваться, если требуется постоянное соединение между АМС и выделенным пользователем (например, аэронавигационным пользователем, которому требуется одномоментная передача данных в режиме реального времени). Тем не менее, предложение выделенных двухточечных линий замещается (операторами) IP-соединениями, использующими доступную сеть передачи данных.

В районах, не охваченных КТСОП или сотовой сетью, могут использоваться выделенные радиолинии. Но выделение диапазона частот соответствующими регулирующими органами может быть затруднено из-за конкуренции между пользователями диапазона радиочастот. Имеются специальные диапазоны радиосвязи, зарезервированные для передачи данных, с ограничением мощности радиопередачи, что ограничивает расстояние до нескольких сотен метров или нескольких километров. Такие радиопередачи могут быть пригодны для подключения удаленного прибора к АМС, например, на аэродроме.

Появляются новые технологии маломощных широкомасштабных сетей (LPWANs). LPWAN может использоваться для создания частной беспроводной сети приборов, но также может быть услугой или инфраструктурой, предлагаемой третьей стороной, что позволяет владельцам приборов использовать их в полевых условиях без затрат на технологию шлюзов. Объем передаваемых данных ограничен несколькими десятками или сотнями байт, что сопоставимо с почасовыми метеорологическими наблюдениями (в зависимости от типа файла передаваемых метеорологических данных). Основными преимуществами являются: относительно большая дальность действия (до нескольких километров

при надежной передаче данных), очень низкое энергопотребление передатчиков (долговечность до пяти лет на одном аккумуляторе) и низкая стоимость, как с точки зрения аппаратного обеспечения, так и телекоммуникационного обслуживания.

1.2.2 **Центральная система обработки**

Большинство АМС связаны с центральной системой, которая может функционально разделяться на две части:

- а) платформа сбора, предназначенная для сбора данных с АМС;
- б) платформа обработки, получающая данные с одной или нескольких платформ сбора и функционирующая в качестве интерфейса, обращенного к пользователям данных наблюдений.

Функция сбора и обработки данных для надзора за сетью АМС – стандартные задачи системы надзорного контроля и получения данных (СНКПД). СНКПД используются во множестве промышленных процессов, на фабриках, а также в любой точке, где полевые устройства (приборы) необходимы для осуществления контроля и взаимодействия с производственным процессом. Проблематика наблюдательной сети схожа в подобных системах: наблюдательная сеть состоит из полевых устройств (АМС плюс приборы), инфраструктуры связи, а также сбора и контроля данных (наблюдательной сети). Множество коммерческих пакетов программного обеспечения, которые используются для сбора и мониторинга метеорологических наблюдений, разрабатываются выпускающими СНКПД структурами. Системы разрабатываются производителями гидрометеорологического оборудования и могут быть конкретно ориентированы на их собственные системы получения данных (АМС), а не выпущены с многоцелевого программного обеспечения типа СНКПД, однако они обладают аналогичным функционалом.

1.2.2.1 **Платформа сбора**

Система наземных наблюдений зачастую состоит из нескольких сетей АМС, охватывающих различные потребности и часто установленных в последовательные периоды. Таким образом, редко наборы оборудования однородны; различные типы АМС, средств связи и протоколы носят смешанный характер. Каждое поколение станций (АМС плюс модем) функционально связано с соответствующей платформой сбора. Для каждого использования возможно учитывать, что каждый тип АМС с заданной сетью связи ассоциирован с конкретной платформой сбора. В случае множественных способов телесвязи может иметься набор платформ сбора. В зависимости от требуемого программного обеспечения и оборудования эти платформы сбора могут внедряться в той же системе или по отдельности.

Платформа сбора обладает подключением к используемой сети телесвязи. Когда необходимо использование модемов (а именно – для КТСОП, ISDN, Глобальной системы мобильной связи (ГСМ) и т. п.), осуществляется управление пулом модемов. Модемы могут представлять собой физическое оборудование (один модем – одна единица оборудования), либо логический эквивалент в составе физического оборудования, такой как сервер удаленного доступа (СУД). Когда количество входящих линий меньше числа АМС, с которых необходимо осуществление сбора данных, что, как правило, и происходит, система должна разрабатываться для совместного использования линий. Если АМС инициирует подключение, необходимо следование «профилю телесвязи», включая график вызовов для совместного использования линий с другими станциями. Если подключение инициируется платформой сбора, АМС могут вызываться последовательно платформой сбора. В любом случае платформа сбора должна проферять оперативный статус каждой входящей линии, с тем чтобы выявлять проблемы, такие как бесшумные линии, процент ошибок связи по каждой линии и тому подобное.

Все чаще сети телесвязи используются в качестве порта для локальной сети управляющего сетью (с применением Интернет или предпочтительно туннеля ВЧС через посредство Интернет). Преимуществом в данном случае является тот факт, что платформа сбора не работает с модемами, а это означает, что физический интерфейс с сетью телесвязи управляется оператором телесвязи. Может использоваться стандартный протокол на базе IP, такой как передачи FTP, имейлов и так далее.

Платформа сбора должна осуществлять мониторинг связи с сетью АМС путем проверки фактических подключений в сравнении с ожидаемыми. Должны также выявляться бесшумные АМС. Инструменты надзора должны внедряться для предоставления глобального обзора состояния сети (например, зеленые точки для ожидаемых и полученных АМС, красные – ожидаемых и не полученных) с подробной информацией по каждой станции (такой как метка времени наиболее недавних полученных данных), а также все подключающиеся линии (если таковые имеются).

Если сеть телесвязи имеет возможность установления двусторонней связи, платформа сбора также используется для конфигурации сети и отдельных АМС, в частности с точки зрения графика передач, типа данных для сбора и тому подобное.

Должны устанавливаться средства защиты, с тем чтобы избежать несанкционированного доступа к системе. К ним могут относиться использование сетевого экрана и контроль за адресом IP входящего соединения, либо номер телефона входящего соединения для аутентификации.

1.2.2.2 **Платформа обработки**

Данные, поступающие с одной или нескольких платформ сбора направляются на платформу обработки. Первичная функция этой платформы состоит в том, чтобы предоставлять данные измерений конечным пользователям. Также весьма важно использовать эту платформу для оказания поддержки в вопросах технического управления сетью и обеспечения технического надзора за наблюдательной сетью. Различные индикаторы могут использоваться для оказания содействия управляющему сетью, такие как:

- a) процент отсутствующих данных по всей сети, по каждой станции, за период в один час, за сутки и тому подобное;
- b) оповещения по отсутствующим данным для каждого измеряемого параметра (такого как температура воздуха, скорость и направление ветра, а также давление);
- c) оповещения по сомнительным или ошибочным значениям после применения проверок контроля качества;
- d) напряжение аккумулятора и оповещения по каждой АМС в случае слишком низкого давления (измерения напряжения могут не быть существенными в процессе зарядки аккумулятора, например, от солнечной батареи; необходимо использовать проводимые в ночное время измерения или минимальные дневные значения);
- e) наличие или отсутствие сетевого электроснабжения (если таковое имеется в установке), с тем чтобы выявить сбои, такие как выключение автомата защиты сети, которые могут быть скрыты буферным аккумулятором;
- f) при использовании приборов интеллектуального зондирования зачастую имеются сервисные параметры в дополнение к желаемым метеорологическим переменным. Эти сервисные параметры полезны для выявления или предвосхищения проблем с прибором (таких, как требуемая очистки) и должны приводить к отправке оповещений управляющему техническим обслуживанием.

Стандартные оперативные функции платформы обработки:

- a) контроль качества необработанных данных: алгоритмы контроля могут быть частично разделены между самой АМС и центральной системой;
- b) расчет метеорологических параметров для индивидуальных измерений, например, расчет температуры точки росы по данным измеряемой температуры воздуха и относительной влажности. Этот расчет может совместно использоваться АМС и центральной системой.
- c) Когда обработка данных может осуществляться либо на уровне АМС, либо центрального сервера, рекомендуется выбирать центральный сервер, поскольку в таком случае проще осуществлять разработку и обновление программного обеспечения. Однако некоторый объем обработки данных самой АМС может быть необходим в случае локального использования наблюдений (например, локальный наблюдатель или аэродром), если только используемая сеть телесвязи не считается в достаточной степени совместимой и безопасной для загрузки локальных данных наблюдений из центральной системы в диспетчерский пункт. Локальное аэронавигационное использование представляет собой особый случай использования, когда может потребоваться локальная обработка данных для передачи диспетчерам воздушного движения локальных данных наблюдений, через посредство локальных аэронавигационных сводок.
- d) При кодировке стандартных сообщений для САКС в качестве источника данных обычно используются НМГС; стандартные сообщения в формате, необходимом для распределения по ГСТ, могут также форматироваться в САКС, если не форматироваться напрямую в центральной платформе обработки. Для наземных наблюдений буквенно-цифровые сообщения (SYNOP) заменяются на самостоятельно описывающие коды (таблично ориентированные кодовые формы, ТОКФ). Образцы BUFR были разработаны для наземных наблюдений (ВМО, 2015с).

1.2.3 Приборы

Все современные приборы зондирования подходят для использования с АМС. Приборы описаны в томе I данного Руководства. Некоторые ограничения для их использования с АМС таковы:

- a) Они должны быть надежными и требовать минимального технического обслуживания и очистки, поскольку во множестве точек нет местных сотрудников по технической поддержке.
- b) Они должны быть легко взаимозаменяемыми, и не требовать или требовать лишь незначительных изменений в части конфигурации и калибровки АМС.
- c) Их подключение к АМС должно быть полностью задокументировано с точки зрения кабелей, энергоснабжения (диапазон, потребление электроэнергии с или без обогрева, период нагревания, если включено или выключено энергоснабжение, с тем чтобы снизить потребление электроэнергии, и так далее), а также функции передачи (отношения между параметрами выработки электроэнергии и метеорологическими параметрами).

Приборы с аналоговым выводом, как правило, дают лишь одну измеряемую метеорологическую переменную. Приборы с цифровым выводом дают измеряемую метеорологическую переменную, но также предоставляют дополнительные сервисные параметры, полезные для мониторинга состояния прибора и оптимизации его технического обслуживания. Важно, чтобы сервисные параметры также учитывались системой (АМС плюс центральная система).

Радиометры (пиранометры, пиргелиометры и так далее) представляют собой отдельный случай. В большей части этих приборов используется термопреобразователь, который часто напрямую подключается к АМС. В этой связи калибровочный коэффициент термопреобразователя должен применяться за датчиками, либо на самой АМС, либо в центральной системе сбора данных. Когда радиометр заменяется на площадке (по крайней мере, для регулярной калибровки), связанный с ним калибровочный коэффициент должен меняться соответствующим образом в системе. Опыт показывает, что связанные с человеческим фактором ошибки, порой, случаются (например, замена прибора или чувствительного элемента без одновременного обновления калибровочного коэффициента). Некоторые модели радиометров включают микропроцессор для преобразования аналогового сигнала в численные цифровые значения в самом приборе; калибровочный фактор в таком случае включается для прибора и обновляется после калибровки. Такие приборы в полной мере взаимозаменяемы, и обновление калибровочного коэффициента в системе не требуется, что снижает вероятность связанных с человеческим фактором ошибок.

Измерения ветра (средние значения, порывы) требуют высокой скорости сбора (см. Том I, глава 5, 5.8.2) и расчета средних значений и порывов за более продолжительные периоды (10 минут для синоптического использования, 2 минуты для локального аэронавигационного использования). Расчеты могут производиться на самой АМС, однако множество современных анеометров обладают встроенной функцией расчета параметров ветра. Одним из преимуществ является сокращение интервала получения данных на уровне АМС со стандартными ежеминутными обновлениями данных ветра, а не получения образцов данных по нескольким Гц. При этом получение и архивирование необработанных данных ветра до 1 Гц и выше может быть желательным для некоторых применений, например, в расследовании внештатных и аварийных ситуаций для гражданской авиации.

Настоятельно рекомендуется наличие у подключенных к АМС барометров цифрового вывода, с тем чтобы исключить дополнительную неопределенность при преобразовании аналогового сигнала в барометрические данные. Действительно, использование барометра с аналоговым выводом требует высококачественного преобразователя (ADC) аналогового сигнала в цифровой (А/Ц), с тем чтобы добиться соответствия требованиям в области неопределенности и эффективности измерений, обозначенных в томе I, глава I, дополнение 1.А к настоящему Руководству.

Желательным может быть дублирование (или даже увеличение вдвое) количества некоторых приборов. Такой подход способен свести к минимуму вероятность отсутствующих значений в случае сбоев с приборами и/или обеспечить избыточность данных измерений в системе, с тем чтобы выявлять возможные плавающие значения приборов. Разница в показаниях двух приборов говорит о дрейфе по меньшей мере одного из них; если используются три прибора, возможным становится автоматическое выявление того, какой инструмент в настоящий момент характеризуется плавающими значениями, чтобы эти значения исключить. Эта процедура использования множественных чувствительных элементов применяется в некоторых приборах. Ряд коммерческих моделей барометров оборудован одной, двумя или тремя ячейками.

1.3 АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Существует несколько вариантов комплектации АМС:

- а) отдельно стоящее оборудование, специально разработанное для производства метеорологических измерений. В зависимости от производителя оно разрабатывается, с тем чтобы принимать заданный перечень приборов. В связи с этим его может оказаться сложно использовать или добавлять к нему новые приборы, которые не поддерживаются. Будучи разработанным для производства

метеорологических измерений метеорологической отраслью, оно характеризуется высокой вероятностью того, что все потребности могут быть удовлетворены и, тем самым, ограничение на добавление новых приборов может не быть проблемой.

- b) промышленный регистратор данных, не специфический для производства метеорологических измерений. Преимущество состоит в потенциально большей эксплуатационной адаптируемостью, с аналоговым вводом, счетчиками и тому подобное. Также затраты могут быть ниже, чем на специализированное оборудование. В некоторых случаях, когда метеорологические приборы имеют жесткие характеристики, такие как низкое напряжение на выходе радиометра с использованием термопреобразователя, такие регистраторы данных могут не подойти. Измерения ветра также представляю собой отдельный случай, если регистратор данных должен выводить параметры ветра с замерами по нескольким частотам.
- c) В некоторых комплектациях получение данных разделяется между отдельными электронными блоками; некоторые из них связаны с прибором для оцифровки аналогового выхода, будучи максимально возможно приближенными к прибору. Эти интерфейсные блоки взаимодействуют с центральным процессором.
- d) В других комплектациях цифровые или «умные» приборы и аналоговые приборы, данные которых оцифровываются при помощи электронного интерфейса, непосредственно подключены к ноутбуку, ПК или промышленному ПК, установленному либо в помещении, либо непосредственно в поле. Это позволяет использовать аппаратное обеспечение и программное обеспечение стандартных микрокомпьютеров. Однако кабели и защита от перенапряжения при этом не должны упускаться из виду.
- e) При необходимости взаимодействия специалиста-наблюдателя с АМС, например, для ввода данных визуальных наблюдений, обычно используется локальный ПК, как для вывода информации о данных наблюдений на локальном уровне, так и для редактирования данных визуальных наблюдений. Такой компьютер также может передавать данные наблюдений локальным пользователям, таким как пользователи в сфере авионавигации.

Компоновка АМС обычно включает следующее:

- a) для стандартного района наблюдений (см. том I, глава 1 данного Руководства и ВМО, 2010) – ряд автоматизированных приборов, установленных на рекомендованных позициях и подключенных к одному или нескольким блокам сбора данных при помощи интерфейсов, расположенных так, чтобы избежать помех одного другому, а также соединенных с центральным процессорным блоком (ЦПБ) с помощью экранированных кабелей, линий оптико-волоконной связи или радиосвязи;
- b) ЦПБ для сбора данных от приборов 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;
- c) модем или интерфейс сети телесвязи, который используется для передачи данных в центральную систему;
- d) источник постоянного питания, обеспечивающий энергией различные части станции;
- e) Для конкретных применений дополнительные элементы станции могут включать местные терминалы для ручного ввода и редактирования данных, дисплеи, принтеры, а также регистраторы.

Рациональной практикой является разработка системы на модульной основе, с тем чтобы адаптировать ее к новым приборам, новым переменным, изменениям в сети телесвязи и так далее. Однако высокий уровень модульности может привести к росту затрат на оборудование; в этой связи важно предвосхитить возможные будущие изменения в максимальной степени, с тем чтобы найти оптимальный компромисс между модульностью, в также компактностью и стандартностью компоновки (по всей сети). Ввиду короткого жизненного цикла многих сетей телесвязи настоятельно рекомендуется использовать АМС с модульным терминалом телесвязи.

Для целей обслуживания АМС компоновка должна способствовать работе «в поле» по упредительному и корректирующему техобслуживанию (например, регулярная замена требуется для приборов, которые нуждаются в калибровке). Опять же, модульность представляет собой одно из решений или, как вариант, возможность с легкостью замещать всю АМС, если это – отдельно стоящая станция. Разъемы с закрепленным положением могут быть предпочтительнее проводов, непосредственно подключенных к клеммной колодке.

В состав важнейших частей АМС часто входят компоненты, неправильное функционирование или выход из строя которых серьезно искажают или делают бесполезными выходные данные. Включение схемы для автоматического мониторинга состояния этих компонентов является эффективным средством постоянного контроля их производительности во время работы (*встроенное испытательное оборудование*). Например, детектор сбоя питания, который перезапускает процессор и продолжает работу АМС после сбоя питания; «сторожевой» таймер для контроля правильной работы микропроцессоров; и тестовые схемы для контроля работы подсистем станции, таких как напряжение аккумулятора и работа зарядное устройство, аспираторы (если используются экраны с вентиляцией по температуре и влажности), преобразователи ADCs и нагреватели. Информация о состоянии также должна отслеживаться и передаваться на центральный сервер для автоматического контроля качества и обслуживания.

1.3.1 **Центральный процессорный блок**

Ключевым элементом автоматической метеорологической станции является ЦПБ. Конфигурация его аппаратного обеспечения зависит от сложности и общего объема функций, возложенных на станцию. 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 приборов, 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 устройства могут выполнять различные функции ЦПБ. 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. Устройства работают по схеме главный–подчиненный, при этом устройство обработки данных является главным. Примером могут быть устройства сбора данных, установленные в районе, близком к приборам, и соединенные с устройством обработки или передачи данных ЦПБ одной или несколькими телефонными линиями, использующими цифровую передачу данных. Также могут использоваться беспроводные каналы с низким энергопотреблением, и некоторые

диапазоны частот выделяются для передачи данных без конкретной процедуры санкционирования, поскольку предполагается маломощный сигнал. Эти устройства могут состоять из одного прибора (например, интеллектуальный прибор, такой как лазерный облакомер), ряда аналогичных датчиков (например, термометров) или ряда различных приборов, таких как аналоговые приборы, подключенные к регистратору данных в поле.

Аппаратное обеспечение по обработке данных является средоточием ЦПБ. Его основные функции состоят в том, чтобы действовать в качестве основного средства контроля входных/выходных данных из и в ЦПБ, а также осуществлять надлежащую обработку всех входных данных путем соответствующего программного обеспечения.

Первые АМС были оборудованы 8-битными микропроцессорами и имели ограниченный объем памяти (32 to 64 килобит). Системы, использовавшие 16-, 32- или 64-битные микропроцессоры с существенным объемом жесткой памяти на настоящее время являются привычным явлением. Эти АМС предоставляют больше средств ввода/вывода, которые функционируют на гораздо больших скоростях обработки данных и способны производить сложные вычисления. Наряду с этим аппаратным обеспечением применяется сложное программное обеспечение. В дополнение к запоминающим устройствам с произвольной выборкой (ЗУПВ) для данных многие системы имеют доступ к постоянным запоминающим устройствам (ПЗУ). Часть спектра ПЗУ включает программируемое постоянное запоминающее устройство (ППЗУ) для хранения программ. ЦПБ часто использует постоянный ЗУПВ (ЭСППЗУ, также известное как флеш-память). Постоянные системной конфигурации могут модифицироваться, а данные безопасно храниться в случае перебоев с энергоснабжением. Программное обеспечение АМС может загружаться при помощи локального подключения, либо даже из центральной системы. Размер имеющейся памяти в настоящее время достаточно велик для запоминания данных наблюдений за десятки или сотни дней.

Часы реального времени: ЦПБ АМС должен быть оснащен круглосуточными часами реального времени на аккумуляторе, которые обеспечивали бы отсчет времени даже в случае отключения электричества. Соблюдение точности фактических часов АМС требует особого внимания к обеспечению корректного считывания, интервалов выборки и меток времени. Стабильность показаний часов с точностью до секунды за 24-часовой период рекомендуется и достижимо. Часы в режиме реального времени также должны быть синхронизированы с сигналом GPS или централизованными эталонными часами, имеющимися в сети телесвязи (такими как сервер времени через посредство Интернета).

1.3.2 Интерфейс приборов измерения

Как правило, аппаратное обеспечение для сбора данных включает:

- a) аппаратное обеспечение формирования сигнала, предотвращающее нежелательные помехи от внешних источников, искажающих первичные сигналы прибора, 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.

Низкочастотное фильтрование: фильтры используются для отделения желаемых от нежелательных сигналов. Нежелательные сигналы – это шум, наводки со стороны линии переменного тока, помехи от радио и телевизионных станций, а также сигналы с частотами выше половины частоты основного сигнала. Обычно для подавления нежелательных источников ошибки используется низкочастотный фильтр, исключающий ту часть частотного спектра, в которой не бывает желаемых сигналов. Эти фильтры могут реализовываться либо путем применения аналоговых методов (электроника), либо цифровых фильтров.

Усилители: сигналы аналогового прибора могут варьироваться по амплитуде в широком диапазоне. А/Ц преобразователь при этом требует сигнала высокого уровня для максимальной эффективности. Во многих случаях усилительный модуль используется для усиления возможных сигналов низкого уровня до желательной амплитуды. Усилительные модули иногда используются также для стандартизации выходного напряжения всех датчиков и приведения к общему уровню напряжения постоянного тока, например 0–5 В, с тем чтобы использовать обычные высокопроизводительные А/Ц преобразователи.

Сопротивления: специальные модули используются для преобразования сопротивлений, например, платиновых термометров, в выходное напряжение сигнала, обеспечивая необходимые выходные токи. Измерение температуры особенно чувствительно к способу преобразования из сопротивления в температуру. В низкокачественных системах могут использоваться двух- или трехпроводный подход, в то время как в более усовершенствованных комплектациях используется четырехпроводный метод и переключение направления измерения. Это позволяет компенсировать любое сопротивление выводов.

Функция сбора данных: функция сбора данных заключается в сканировании выходов приборов или формирующих модулей приборов с заранее заданной скоростью и преобразовании сигналов в формат, пригодный для считывания компьютером.

Для размещения метеорологических приборов 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 приборов и определяется типом применения.

Аналоговые входы: число аналоговых каналов зависит от базовой конфигурации оборудования. Обычно базовая конфигурация может быть расширена за счет дополнительных модулей, которые дают большее количество каналов ввода. Особое значение имеют аналоговые входные каналы, поскольку большинство обычно используемых метеорологических приборов, таких как приборы для измерения температуры и влажности, а также радиометры, дают сигнал напряжения либо непосредственно, либо прошедший через формирующие модули датчика.

Задачи по сбору данных представляют собой сканирование каналов и их А/Ц преобразование. Сканер является лишь устройством для переключения, который позволяет обслуживать несколько каналов аналогового ввода с помощью одного А/Ц преобразователя. Программное обеспечение может контролировать эти переключатели для отбора любого из каналов для обработки в конкретный момент времени. В некоторых конфигурациях АМС отдельный А/Ц преобразователь используется для каждого канала. А/Ц преобразователь преобразует исходную аналоговую информацию в пригодную для считывания компьютером (цифровую, бинарный код). Разрешение А/Ц выражается в битах. Разрешение А/Ц 12 бит соответствует примерно 0,025 %, 14 бит – 0,006 %, а 16 бит – 0,0015 % полномасштабного диапазона А/Ц. В первом поколении АМС замещение и дополнение усилителей и А/Ц преобразователей должно было корректироваться при помощи потенциометров. В современной электронике используются стационарные, стабильные и точные эталонные элементы, не допускающие каких-либо ручных корректировок электронной цепи.

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 приборов с параллельным цифровым выводом (например, флюгеры с выводом в коде Грея).

Импульсы и частоты: обычно количество каналов ограничено, поскольку лишь несколько приборов дают такие сигналы. Типичными приборами являются анемометры и дождемеры (с опрокидывающимся сосудом). Используются счетчики с низкой и

высокой скоростью, накапливающие импульсы в памяти ЦПБ. Счетчики должны использовать аналоговые или цифровые фильтры для исключения нежелательных импульсов, таких как электромагнитные выбросы.

Последовательные цифровые порты: это отдельные асинхронные последовательные каналы вход/выход для связи с интеллектуальными приборами. Порты обеспечивают протокольную связь между устройствами на короткие (рекомендованный стандарт 232 (РС-232), несколько метров) и длинные (РС-422/485, несколько километров) расстояния. Иногда на одной линии и входном порте могут быть различные приборы или измерительные системы, и каждый из приборов поочередно запрашивается с помощью кодовых слов. К сожалению, универсальная стандартизация диалогового протокола с приборами отсутствует, за исключением протоколов или форматов, которые определяются некоторыми производителями для их собственного оборудования. SDI-12 (серийный цифровой интерфейс на 1200 бод) представляет собой асинхронный последовательный протокол телесвязи для интеллектуальных датчиков, при помощи которых осуществляется мониторинг данных окружающей среды, которые поддерживаются некоторыми приборами и АМС.

Соединение Ethernet: некоторые приборы весьма автономны и могут осуществлять связь либо с АМС, либо даже с центральной системой (ИБ) с использованием протоколов IP.

1.3.3 Кабельное подключение и защита от перенапряжения

Подключения: кабели и механическая коммутационная система необходимы для подключения приборов к электронным устройствам сбора данных. Кабели могут подключаться непосредственно к системе сбора данных через посредство клеммной колодки с привинченными, спаянными или самофиксирующимися соединителями. Сальниковые уплотнения часто используются перекрестно на коробке корпуса АМС. Еще одно решение – использование парных соединителей, один из которых крепится на коробку корпуса (и подключается к электронному оборудованию). Преимущество состоит в возможности с легкостью разблокировать прибор и его кабель для замены. Тип подключения и местоположения возможных соединителей должны выбираться для содействия оперативной деятельности на местах, памятуя об ожидаемой периодичности замены приборов (например, для целей регулярной калибровки).

Кабели прибора: электрические сигналы от приборов, 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. 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 грозовых разрядов. Модули защиты от перенапряжения должны легко поддаваться замене. Они зачастую представляют собой однократную защиту, в связи с чем их состояние должно легко поддаваться тестированию, оптимальным решением является визуальная метка их состояния. Основное правило для рациональной защиты от перенапряжения состоит в том, чтобы обеспечивать эквипотенциальное соединение различных электрических масс системы, включая экран кабелей. Заземляющие соединения должны быть как можно короче, чтобы облегчить прохождение пиков высокого напряжения через эти соединения, а не через электронное оборудование. Заземление АМС и ее периферийных устройств (включая приборы) должно быть

подключено к наземной сети площадки (при наличии). При отсутствии, должен быть установлен местный заземляющий электрод и соответствующая скрытая заземляющая сеть, чтобы обеспечить оптимальный путь для всплесков тока.

Цифровая изоляция: электрические модули используются для получения входных цифровых сигналов с одновременным разрывом гальванического соединения между источником сигнала и измерительной аппаратурой. Эти модули (модемы) не только изолируют, но также трансформируют входные сигналы в стандартные уровни напряжения, которые можно считывать с помощью оборудования для сбора данных. Гальваническая изоляция позволяет избежать использования кабельных линий для реализации эквипотенциального соединения между удаленными точками (медные провода и прокладка на протяжении сотен метров весьма затратны). Тем не менее, защита от перенапряжения цифровой линии остается необходимой, поскольку высокочастотные всплески способны проходить через трансформаторы даже с гальванической изоляцией.

1.3.4 Энергообеспечение

Конструкция и технические возможности АМС в значительной мере зависят от используемого способа энергопитания. Наиболее важной характеристикой энергообеспечения АМС является работа с высокой устойчивостью и без помех. С учетом безопасности, широкого распространения и доступности аккумуляторных батарей в 12 В следует уделить внимание использованию источника энергообеспечения постоянного тока в 12 В. Там, где имеется питание от сети, аккумуляторы могут находиться в режиме непрерывного подзаряда от сети. Преимуществом такой системы является автоматическое резервирование энергопитания в случае отказа электросети. Энергоемкость буферных аккумуляторов зависит от средней потребляемой мощности системы (АМС плюс приборы, включая обогрев плюс модем) и допустимой продолжительности перебоев сетевого питания.

Автоматические метеорологические станции, расположенные в удаленных местах, где нет электросети, должны обходиться аккумуляторами, практически всегда подпитываемыми солнечными фотоэлементами или иными источниками питания, такого как дизельный, либо ветровой или водяной генератор. Однако такие системы с недостаточным питанием, как правило, не могут обеспечивать работу более сложных приборов, например, датчиков измерения высоты нижней границы облаков и видимости, для которых требуется большое количество энергии. Более того, АМС с дополнительным оборудованием, таким как подогреватели (например, в анемометрах, дождемерах) и вентиляторы, могут также потреблять значительный объем энергии, что соответственно ограничивает установку таких 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 энергопитание, либо по крайней мере часы системы, процессор и какое-либо запоминающее устройство, где могут содержаться последние данные, необходимые для перезапуска станции на автоматический режим. Также рациональной практикой является отключение системы при снижении напряжения в аккумуляторах ниже определенного порогового уровня для их защиты, поскольку такие аккумуляторы не выдержат глубокой разрядки.

Важно, чтобы система была спроектирована для измерения и отчетности о состоянии источника питания, например о напряжении батареи, зарядном токе, передаваемом солнечными батареями, а также о наличии или отсутствии сетевого питания. Эти параметры состояния должны быть переданы в центральную систему, чтобы оптимизировать операции технического обслуживания и оповестить обслуживающий персонал о любых проблемах. Питание от сети защищено автоматическим выключателем, который может отключиться в случае скачка напряжения. На изолированной площадке перемещение персонала только для повторного включения автоматического выключателя может быть весьма затратным и занимать много времени, поэтому может быть полезной

установка автоматического выключателя с возможностью его повторной активации с помощью дистанционной команды, если только отключение не связано с электрической цепью по умолчанию, которую требуется исправить.

1.3.5 **Защита корпуса**

Электронная часть АМС должна быть защищена от внешней атмосферы, если она не установлена внутри здания. Настоятельно рекомендуется защитная коробка. Она должна быть достаточно большой для простоты доступа к расположенному внутри нее оборудованию, если только конфигурация системы не предполагает замены всего оборудования, включая защитную коробку, в случае сбоя.

Защита от воды и конденсата должна быть обеспечена одним из двух следующих методов:

- а) Защитная коробка полностью герметична и не предназначена для вскрытия в полевых условиях. В ней также должно быть предусмотрено наличие внутреннего мешка гигроскопических солей.
- б) Защитная коробка проветривается при помощи жалюзи, обладающими дополнительной защитой от проникновения насекомых. Коробка должна быть спроектирована таким образом, чтобы при открытии дверцы в нее не попадала вода.

Материал следует выбирать таким образом, чтобы избежать коррозии, особенно если площадка находится близко к морю. Металлическая коробка помогает защитить электронное оборудование от скачков напряжения.

1.3.6 **Конструкция установки**

При установке на открытом воздухе коробка(и) АМС, приборы, а также распределение терминалов сети питания или солнечные батареи должны устанавливаться на несущей конструкции. Конструкцией установки нельзя пренебрегать ввиду того, что она может быть весьма затратной. Рациональной практикой является определение стандартных сопутствующих элементов для установки АМС и ее компонентов. Вспомогательные конструкции могут быть предложены производителем АМС. Важно убедиться, что приборы и другое оборудование не создают друг другу помех; в частности, правила оформления, описанные в классификации размещения (см. том I, глава 1, дополнение 1.D к настоящему Руководству), должны сопровождаться разработкой несущей конструкции.

Может быть необходимым бетонное основание. Альтернативой может быть использование металлических заземляющих винтов, предназначенных для поддержки опор, ограждений и тому подобного.

Следует учитывать потребность в локальном заземляющем электроде и скрытой системе заземления.

В зависимости от местоположения станции и сопутствующих рисков (например, животные и люди) может потребоваться ограждение зоны производства наблюдений.

1.4 **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

Три основных конфигурации АМС имеют различные схемы программного обеспечения:

- а) В отдельно стоящих АМС используется специальное программное обеспечение, разрабатываемое производителем АМС. Конечный пользователь может вносить ограниченное количество изменений, либо не может вносить изменений вообще, за

исключением некоторых настроек конфигурации. Однако АМС часто поставляются уже готовыми к использованию. Изменение в функциональных настройках АМС должны вноситься самими производителями.

- b) Промышленный регистратор данных обычно разрабатывается на командном языке, с тем чтобы дать пользователям возможность настраивать оборудование в соответствии со своими приборами и потребностями (конечно, в пределах, допускаемых конфигурацией регистратора данных). Конфигурация программного обеспечения может быть более сложной и реализованной дистрибьютором регистратора данных, сторонним интегратором, либо самими пользователями.
- c) Программное обеспечение ноутбука или промышленного ПК с подключенными к нему цифровыми приборами в меньшей степени зависит от аппаратного обеспечения и может позволить использовать более стандартные инструменты и языки. Некоторые НМГС разрабатывают свое собственное программное обеспечение с такой конфигурацией АМС.

Программное обеспечение представляет собой важную часть АМС. 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 приборе, 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 аппаратного обеспечения и включающим все программное обеспечение, необходимое для разработки и отладки прикладного программного обеспечения.

Подготовка алгоритмов для синоптических АМС содержится в публикации ВМО (WMO, 1987), а для обработки данных о приземном ветре – в публикации ВМО (WMO, 1991). Информация об алгоритмах, используемых Членами имеется в публикации ВМО (WMO, 2003).

1.4.1 **Операционная система**

Операционная система отдельно стоящей АМС и регистратора данных обычно в значительной степени адаптирована под конкретное программное обеспечение и опирается на промышленную встроенную операционную систему реального времени (так называемое микропрограммное обеспечение), что делает ЦПБ своего рода «черным ящиком». Иногда операционные системы носят более стандартный характер, например, системы на базе Unix. Пользователь может выполнять только заранее определенные команды и вследствие этого полностью зависит от изготовителя в случае неисправностей или модификаций.

При использовании ноутбука или промышленного ПК в качестве ЦПБ операционная система носит более стандартный характер, например, система на базе Unix, либо операционная система Windows. В связи с чем имеется полный спектр инструментов администрирования и коммуникационных слоев. Однако такая система более уязвима для взлома, и необходима установка защиты в области безопасности ИТ, а также регулярное применение обновлений и улучшений программного обеспечения.

1.4.2 Прикладное программное обеспечение

Функции обработки, которые должны выполняться ЦПБ, внешними приборами, 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 прибора, преобразование выходных сигналов прибора 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. Контроль качества можно осуществлять на различных уровнях: сразу же после проверки, после получения метеорологических переменных, после ручного ввода данных и форматирования сводки, либо в центральной системе (функция контроля качества зачастую разделяется между самой АМС и центральной системой). 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 прибора 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.

1.4.2.1 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 программного обеспечения прежде всего требуется наличие ряда конкретных параметров, которые связаны со станцией: параметров станции (кодовый номер, высота, широта и долгота), даты и времени, физического адреса прибора в разделе сбора данных, типов и характеристик модулей согласования приборов. Преобразование и линеаризация для преобразования выходных данных прибора в метеорологические величины, а также границы абсолютных значений и скорости изменения величин для целей контроля качества данных, места файла буферизаций данных также включаются. 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 наиболее недавнем 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. Центральная система (обычно платформа сбора) должна быть в состоянии сообщать о полном наборе параметров инициализации по каждой АМС, для управления сетью и техническим обслуживанием.

1.4.2.2 Выборка и фильтрация

Выборку представляет собой процесс получения дискретной пространственной последовательности измерений количества. Для обработки сигналов метеорологического прибора в цифровой форме возникает вопрос, как часто следует делать выборку выходных данных прибора. Важно обеспечить, чтобы последовательность выборок адекватно представляла существенные изменения измеряемой атмосферной переменной. Общепринятым неписаным правилом является один отсчет на временном интервале, равном постоянной времени прибора. Однако в связи с тем, что некоторые метеорологические переменные имеют высокую изменчивость, сначала производят необходимое фильтрование или сглаживание посредством подбора приборов с

подходящей постоянной времени или с помощью методов фильтрации и сглаживания в модулях формирования сигнала (более подробная информация содержится в томе V, глава 2 настоящего Руководства).

Приборы, для которых требуется высокая частота выборки, часто имеют собственный встроенный микропроцессор для расчета соответствующих метеорологических параметров, за счет чего уменьшается количество задач АМС. Типичным примером является анемометр с рекомендуемой выборкой с частотой в несколько Гц.

Естественная мелкомасштабная изменчивость атмосферы; внедрение шума в процесс измерений с использованием электронных устройств и, в особенности, использование приборов с короткими постоянными времени; использование усреднения в качестве наиболее желательного процесса для снижения неопределенности сообщаемых данных. В томе I, глава 1, дополнение 1.А настоящего Руководства содержится рекомендация о том, чтобы за «мгновенные» значения большинства метеорологических переменных принимались усредненные за одну минуту значения (кроме ветра и видимости).

1.4.2.3 ***Преобразование необработанных данных***

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

Важно учитывать то, что некоторые приборы являются по своему существу нелинейными; т. е. их выходные сигналы не являются прямо пропорциональными измеряемым атмосферным переменным (например, термометр сопротивления). Другие результаты измерений включают в себя компоненты нелинейного воздействия других переменных (например, некоторые приборы давления и влажности подвержены влиянию температуры). Хотя сами приборы могут быть линейными или включать в себя цепи линеаризации, непосредственно измеряемые переменные и измеряемая атмосферная переменная находятся в нелинейной зависимости (например, коэффициент ослабления, а не видимость или коэффициент пропускания, представляет собой надлежащую переменную, которая подлежит усреднению для получения оценочных значений осредненной видимости). Как следствие, 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 прибора 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. Более подробная информация представлена в томе V, главе 3 этого Руководства.

Знание о значениях необработанных данных может быть весьма ценным для обслуживающего персонала; в этой связи следует учитывать передачу значений некоторых необработанных данных в центральную систему. Типичным примером является использование аналоговых приборов относительной влажности. Если используется гигрометр с выходными показателями 0-1 В, 0 В означает 0 %, а 1 В — 100 % относительную влажность, максимальное операционное значение. Однако такой гигрометр может выдавать необработанное значение выше 1 В, например, 1.03 В. Разумеется, это — не операционное значение 103 % относительной влажности, однако речь может идти о дрейфовании прибора или значении в пределах допустимых для прибора. В преобразовании в метеорологические единицы, эти 1.03 В должны быть ограничены 100 % с пороговым предельным значением (таким как значение выше 1.05 В, которое

рассматривается как неприемлемое). Однако для процесса технического обслуживания важно знать о том, что эти 1.03 В сообщены гигрометром и могут считаться признаком дрейфа прибора.

1.4.2.4 ***Ручной ввод данных наблюдений***

Ряд приложений требует разработки интерактивных терминальных процедур, позволяющих наблюдателю вводить и редактировать результаты визуальных или иных субъективных наблюдений, для которых на станции не предусматриваются автоматические приборы. Обычно сюда относят характеристики текущей и прошедшей погоды, видимость, облачные слои, состояние поверхности земли и другие особые погодные явления. Если в системе установлены некоторые приборы для этих параметров, то их следует рассматривать как подспорье наблюдателю в периоды наблюдений, производимых человеком. Это означает, что терминальная система (часто ПК), используемая для ручного ввода, должна также отображать измеренные параметры для местного наблюдателя.

1.4.2.5 ***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. Например, приведение данных представляет собой расчет 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 за определенные периоды времени от минут до суток (например, количества осадков), средние за различные сроки (например, климатологические данные) и интегрированные значения (например, радиация). Эти переменные или количественные характеристики можно рассчитать на АМС или в центральной процессинговой платформе на основе мгновенных данных или экстремальных значений, а также общих сумм, рассчитанных за небольшие периоды (например, за один час). Тенденция в области последних систем, в которых телекоммуникационная сеть позволяет это, заключается в централизованном сборе одномоментных данных (мгновенные значения и метеорологические переменные, вычисляемые каждую минуту; например, параметры ветра) и обрабатывать эти данные в центральной процессинговой платформе. Это позволяет более гибко разрабатывать и модернизировать программное обеспечение для обработки, а также упрощает программное обеспечение АМС. Одномоментные данные могут в значительной степени помочь бригаде техобслуживания обнаружить и определить возможные проблемы с измерениями (см. 1.2.2.1).

Алгоритмы, используемые на АМС для получения значений, так же важны, как и выбор прибора. С течением времени могут вноситься небольшие и незаметные изменения, которые впоследствии могут оказать значительное влияние. Перечень алгоритмов, а также версий программного обеспечения должен храниться в составе метаданных для АМС. В тех случаях, когда алгоритм создается собственными силами, целесообразно документировать процесс и разрабатывать наборы тестовых данных, чтобы в будущем можно было последовательно проверять изменения в программном обеспечении.

Комиссия по приборам и методам наблюдений (КПМН) занимается регулярной программой обзора и стандартизации алгоритмов для всех переменных. Результаты опубликованы в публикации ВМО (WMO, 2003). Подробности о метеорологических переменных см. также в соответствующих главах тома I настоящего Руководства.

1.4.2.6 **Локальное хранение данных**

При нормальных условиях метеорологические данные регулярно передаются в центральную систему. Тем не менее, в процессе сбора данных может произойти сбой в телекоммуникационной схеме или потеря данных. Поэтому важно, чтобы локальная АМС имела локальное хранилище данных и соответствующую процедуру доступа к данным. Локальное хранение данных больше не является проблемой для компонентов флеш-памяти. Программное обеспечение АМС, как правило, управляет данными в круговой памяти в течение определенного периода, заменяя старые данные на новые. Размеры хранилища данных должны быть совместимы с доступностью места наблюдения, до нескольких месяцев для очень изолированного места. Это может быть тот же самый набор данных, который обычно передается на платформу сбора. При необходимости, для уменьшения объема памяти и/или облегчения процедуры восстановления данных, почасовые мгновенные переменные и почасовые статистические переменные (экстремумы, суммарные значения) также могут храниться локально.

Процедурой доступа к локальным данным может быть:

- a) передача старых данных, когда телекоммуникационная инфраструктура снова становится доступной;
- b) локальная передача данных с помощью портативного терминала, локально подключенного к АМС во время проведения технического обслуживания;
- c) локальное восстановление карты памяти (например, карты флеш-памяти) во время технического обслуживания.

Процедура восстановления должна сопровождаться механизмом дополнения центральной базы данных старыми восстановленными данными.

1.4.2.7 **Кодирование сообщений**

Функциональные требования зачастую предусматривают кодирование метеорологических сообщений в соответствии с публикацией ВМО (2011, 2015с). Внедрение алгоритмов кодирования сообщений не нужно недооценивать; не только их разработка, но и обновление при изменении форматов в соответствии с международными, региональными и национальными правилами могут потребовать значительных усилий. Переход от буквенно-цифровых кодов (обычно SYNOP) к ТОКФ (BUFR или CREX) облегчает обновление содержания сообщений, содержащих данные наблюдений.

Кодировать стандартные сообщения, как правило, проще в центральной процессинговой платформе, где больше вычислительных мощностей, а также доступно больше стандартных программных средств (бесплатное программное обеспечение для кодирования BUFR доступно из нескольких источников). Поэтому большинство сетей АМС предназначены для централизованного кодирования в стандартных кодах. Формат сообщений между АМС и платформой сбора варьируется. Он также должен быть основан на принципе табличного кода, позволяющего обновлять передаваемые переменные без необходимости внесения изменений в уровни передачи. В дополнение к запрашиваемым метеорологическим переменным следует кодировать и передавать дополнительные служебные данные, такие как служебные данные от интеллектуальных приборов, напряжение батареи и необработанные данные от некоторых приборов (например, необработанное значение 0-1 В, выводимое гигрометром, как описано в п. 1.4.2.3). Поскольку такие параметры очень специфичны для конструкции АМС и не перечислены в таблицах BUFR, это является дополнительной причиной для кодирования стандартных сообщений ВМО на центральном уровне.

1.4.3 **Дистанционная диагностика и обслуживание**

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 параметров системы, испытания телесвязи, введения новых коэффициентов калибровок и т. п. Обычно ремонт и калибровка производятся в неоперативном режиме работы станции при временном прекращении ее нормальной работы.

Некоторые из этих функций также могут быть доступны в режиме онлайн через систему сбора данных. Любая функция, позволяющая проводить дистанционную диагностику, должна поощряться при проектировании системы для снижения затрат на техническое обслуживание. На практике транспортировка обслуживающего персонала к измерительному участку составляет огромный процент от стоимости обслуживания, и любая онлайн возможность приветствуется (например, передача сервисных параметров, перезагрузка автоматического выключателя и загрузка новой версии программного обеспечения для АМС или одного из ее компонентов).

1.5 **КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА**

Цель контроля качества на АМС — свести к минимуму количество недостоверных данных 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 всех расчетных данных измерений получается из достаточно большого числа прошедших контроль качества выборок данных. Таким образом, выборки с крупными случайными ошибками можно изолировать и исключить, и расчеты могут быть далее продолжены без влияния 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 современных АМС результаты процедур контроля качества данных, выявляющих причины, по которым измерение является сомнительным или ошибочным, и самоконтроль аппаратного обеспечения посредством встроенных средств контроля находятся в соответствующих устройствах хранения информации о состоянии станции. Передача этих результатов и визуальное отображение этих показателей состояния представляет собой очень удобное средство для постоянного мониторинга сети, а также полевых или дистанционных работ по обслуживанию АМС. Крайне рекомендуемым подходом к поддержанию технического обслуживания метеорологического оборудования является передача содержимого устройств хранения информации о состоянии станций в виде приложения к обычным наблюдательным сводкам, отдельной сводки, 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 приложении VI.2 *Руководства по Глобальной системе наблюдений* (ВМО, 2010) и в главе 1 тома V настоящего Руководства. Ниже приводится краткое резюме руководящих принципов, содержащихся в публикации ВМО (2010).

Проверки внутри прибора: Каждая выборка от прибора проходит проверку на самой ранней стадии обработки с учетом динамических характеристик прибора и формирования сигнала для вероятного значения величины и вероятной скорости ее изменения. Возможно проведение некоторых дополнительных тестов, например:

- a) Если используются барометры с двумя или тремя преобразователями давления, то разница между ними может вызвать сигнал тревоги, если эта разница превышает заданный порог (например, 0,3 гПа).
- b) Если относительная влажность измеряется гигрометром, то можно рассчитать максимальное суточное значение, указанное прибором (см. 1.4.2.3). Этот параметр, анализируемый в течение длительного времени, может помочь выявить признаки возможного смещения в точке насыщения (100 %).

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 приборов и аппаратного обеспечения для получения данных. Могут также применяться дополнительные проверки по границам диапазона изменения, которые являются функциями географического района, сезона и времени года. Такие проверки помогают определять ошибочные или сомнительные значения.

Вероятная скорость изменения: это проверка на вероятную скорость изменения от предшествующего приемлемого уровня. Настройки такой проверки зависят от наблюдаемого параметра и атмосферных явлений, которые могут на него влиять. Также они зависят от характеристик прибора (например, постоянной времени и устойчивости).

Минимальная требуемая изменчивость мгновенных значений: проверка того, что прибор все еще реагирует на атмосферные изменения. Длительный период без существенного изменения измеренных данных является признаком неисправности (например, заклинило чашечно-крыльчатый анемометр). Колебания и время срабатывания зависят от измеряемого параметра и характеристики прибора.

Максимальная допустимая изменчивость мгновенных значений: идентично предыдущему.

Количество действительных выборок за период: определяет обоснованность среднего значения и его пригодность для использования в дальнейших расчетах.

Проверки согласованности приборов: можно провести контроль внутренней согласованности измеряемой переменной с другими измеряемыми переменными, основываясь на определенных физических или метеорологических принципах, например: точка росы не может превышать температуру окружающей среды; осадки над местом наблюдения при отсутствии облаков или сразу после их прохождения маловероятны; ненулевая скорость ветра при отсутствии колебаний направления ветра предполагает проблему с датчиком направления ветра; нулевая средняя скорость ветра при ненулевых колебаниях направления (дисперсия) убедительно указывают на неисправность датчика скорости ветра.

Технический мониторинг: технический мониторинг всех жизненно важных компонентов АМС.

Проверка сообщений: для АМС с программным обеспечением для прямого кодирования и передачи сообщений по ГСТ 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.

Для АМС, связанных с центральной системой сбора и обработки данных, проверка качества разделена между программным обеспечением АМС и центральным программным обеспечением. Если образцы необработанных данных не передаются в центральную систему, то внутри АМС должны выполняться только проверки с использованием образцов необработанных данных. При централизованной передаче одноминутных данных в центральной процессинговой системе должны быть реализованы другие проверки качества.

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

Надлежащее размещение АМС является довольно сложным вопросом, и в этой области предстоит провести большую исследовательскую работу. Общий принцип размещения 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 содержатся в томе I, главе 1, приложении 1.D настоящего Руководства, а также в других публикациях ВМО (2010; 2014, 2017b).

Окружающая территория и препятствия вблизи приборов не должны снижать репрезентативность измерений. Классификация площадок, определенная в томе I, главе 1, приложении 1.D настоящего Руководства, должна помочь в выборе репрезентативного места: идеальным расположением должна быть площадка класса 1 для всех измерений, но иногда необходим компромисс, так как критерии и другие факторы влияния не идентичны для всех атмосферных параметров. Проектировщик сети должен определить максимальные классы, допустимые для выбора участка, и процедуру отступления в случае особых затруднений при поиске участка по критериям выбранных классов. Можно было бы также рассмотреть вопрос о разделении станции на несколько станций с децентрализацией приборов, что является относительно простым вариантом с учетом имеющихся в настоящее время технологий (см. 1.2.1).

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. При выборе площадки следует также учитывать наличие средств телесвязи. Необходимо обеспечивать меры безопасности (от ударов молний, наводнений, воровства, вандализма и т. п.), а станции должны противостоять суровым метеорологическим условиям. Расходы по обеспечению систем, способных работать при всех условиях, которые можно предусмотреть, высоки и могут оказаться неприемлемыми, и поэтому важно иметь полное представление о предполагаемой среде функционирования АМС до получения технического задания или до начала ее проектирования. 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.

1.7 **ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ**

Стоимость обслуживания сети АМС 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 приборов, становится главным фактором технического обслуживания.

Адаптивное техническое обслуживание вызывается необходимостью учета быстрых изменений в технологии и наличия запасных частей после нескольких лет эксплуатации АМС. 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, так как точные замены (например, при желании перенести программы и операционные системы из одного процессора в другой, ввести модульные изменения для обеспечения надежности системы, сделать соединения с новыми системами телесвязи и т. д.) встречаются редко. 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.

Установка сети АМС не должна рассматриваться как одноразовая инвестиция. Важно организовать техническое обслуживание в соответствии с рациональным планом, в котором будут подробно описаны все функции, и организовать техническое обслуживание и ремонт таким образом, чтобы свести к минимуму расходы без негативного влияния на производительность. Модульная структура многих современных АМС 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 приборов АМС или других модулей в полевых условиях, поскольку условия могут быть неблагоприятны для эффективной работы. Рекомендуется, чтобы техническое обслуживание с устранением неисправностей на месте эксплуатации производилось специальным техническим персоналом из регионального или национального центра в зависимости от размера страны. Простое профилактическое или корректирующее обслуживание может быть выполнено местным наблюдателем (при наличии) или местным оператором проектирования. Для обеспечения быстрого реагирования на неисправности весьма желательная практика заключается в том, чтобы АМС регулярно передавали диагностическую информацию самопроверки.

Региональный центр: в региональном центре должен быть технический персонал для замены или ремонта модулей и приборов, 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 приборов для выполнения технического обслуживания и ремонта станций в своей зоне. Им также требуется необходимый доступ через сеть телесвязи к АМС, магистральной сети и, возможно, центральным серверам. 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 высококвалифицированный технический персонал, который способен обнаруживать и устранять сложные неисправности в приборах, 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 крайне важно 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.

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 НМГС 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 томе V, глава 1.

1.7.1 Уровни обслуживания

Уровень технического обслуживания должен определять максимальную задержку при диагностике проблемы и максимальную задержку при ее устранении. Пример таких максимальных задержек, используемых одной НМГС, приведен ниже:

- a) четыре часа на очень большом аэродроме; это означает, что местная бригада техобслуживания доступна 24 часа в сутки, а запасные части — на месте;
- b) пятнадцать часов на важном аэродроме или синоптической станции; пятнадцать часов — это быстрое техническое обслуживание в день обнаружения неисправности или на следующее утро, если неисправность возникла вечером или ночью. Это означает, что обслуживающий персонал доступен вблизи объекта (например, менее чем в 2—3 часах езды), в рабочее время и с имеющимися на месте запасными частями, каждый день недели;
- c) два или три дня на других станциях; это позволяет тратить больше времени на дорогу и/или получать запасные части из удаленного места (например, из национального центра), а наличие персонала возможно только в рабочие дни;
- d) пять дней для менее приоритетных станций.

Уровни обслуживания должны устанавливаться в ходе определения характеристик сети с учетом потребностей пользователей, организации технического обслуживания, расстояний между центрами технического обслуживания и станциями наблюдений, трудностей с организацией перевозок и стоимости запасных частей. Результатом обязательно станет компромисс между ожиданиями пользователей и человеческими и текущими затратами. Для разных станций могут быть определены различные уровни обслуживания.

1.7.2 Калибровка и поверка на площадке

У приборов, особенно у приборов АМС с электрическими выходами, со временем возникает дрейф показаний, 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 неопределенностью. При международных взаимных сравнениях приборов ВМО также даются некоторые объективные показатели дрейфа приборов, 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. Более подробную информацию о методах и технике калибровки см. в различных главах тома I и в томе V, глава 4, настоящего Руководства.

Первичная калибровка: необходимые средства для калибровки и приборное обеспечение должны быть в наличии до закупки и установки АМС, с тем чтобы можно было 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 приборов АМС является их периодическая замена и сравнение 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 неопределенность намного ниже, чем соответствующий прибор станции, и в течение всего процесса сравнений должны находиться в таких же условиях среды, что и приборы, в течение достаточно длительного периода времени. Поскольку модули формирования сигнала и оборудование для сбора данных, такое как АЦП, также могут иметь дрейф, следует использовать соответствующие эталонные источники напряжения и многошкальные электроизмерительные приборы для обнаружения мест аномалий. Период между поверочными визитами должен определяться характеристиками дрейфа приборов. По мере накопления опыта работы с приборами может быть оправдана корректировка графика проверок на месте.

До и после проведения проверок на месте транспортируемые эталоны и опорные источники необходимо поверять по рабочим эталонам калибровочной лаборатории. При обнаружении отклонений в неопределенности необходимо как можно скорее информировать об этом службу технического обслуживания и ремонта.

Поверки на местах также должны использоваться для контроля за состоянием пункта наблюдений:

- а) Окружающая среда площадки (такие препятствия, как деревья, растительность, здания и т. п.), для выявления возможных изменений в ее классификации (см. том I, глава I, приложение 1.D настоящего Руководства); фотографии чрезвычайно полезны для мониторинга изменений на площадке;

- b) состояние растительности на приборном поле и ее срезание при необходимости;
- c) состояние всей инфраструктуры: ограждение, несущие конструкции АМС и приборы (например, коррозия);
- d) состояние системы электропитания: очистка солнечных батарей, периодическая замена батарей;
- e) состояние защиты от перенапряжения;
- f) чистка инструментов, по мере необходимости;
- g) любое другое задание, которое должно быть определено в зависимости от обстоятельств (в соответствии с руководством по эксплуатации оборудования, предоставленным изготовителем).

Администратор сети должен организовать регулярный выездной осмотр каждые 6–12 месяцев, в зависимости от установленных на сети приборов, доступности пунктов наблюдений и организации обслуживания.

Лабораторная калибровка: приборы, у которых заканчивается срок калибровки; приборы, имеющие отклонения в неопределенности выше дозволённых пределов в течение полевой инспекции, а также приборы, отремонтированные службой технического обслуживания и ремонта, должны возвращаться в лабораторию калибровки для их повторного использования. Калибровка приборов должна проводиться в кондиционируемой среде (в камере искусственного климата) с использованием соответствующих рабочих эталонов и четко определенных процедур. Эти рабочие эталоны должны сравниваться и периодически калиброваться по вторичным эталонам, а также прослеживаться до международных стандартов. Подробное описание стратегии обеспечения прослеживаемости содержится в приложении 1.В главы 1 тома I настоящего Руководства.

1.7.3 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 приборов, цифровых и микропроцессорных методов обработки или компьютеров. Может потребоваться наем нового персонала, обладающего такими знаниями. Необходимо иметь персонал, компетентный в различных областях работы АМС, задолго до установки сети АМС (см. WMO (1997) и главу 5 тома V, настоящего Руководства).

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.

1.8 РАССМОТРЕНИЕ ВОПРОСА СПЕЦИФИКАЦИЙ И СТОИМОСТИ СИСТЕМЫ

Установка новой сети АМС или переход от неавтоматических станций к автоматическим является сложным делом, и им следует управлять как проектом:

- a) Должна быть создана проектная группа, обладающая необходимыми управленческими навыками.
- b) Потребности пользователей должны быть четко определены и переведены в функциональные и технические спецификации.
- c) Необходимо определить и задокументировать будущие процессы закупок, выбора площадок, первоначальной установки и технического обслуживания в течение всего срока службы системы.
- d) Должны быть определены четкие цели в области качества:
 - i) целевая неопределенность измерений, с пониманием того, что она может быть компромиссом между современным уровнем техники и доступными затратами, с соответствующей периодичностью калибровки;
 - ii) целевая классификация площадок для наблюдений и принятые компромиссы в случае трудностей с поиском площадок класса 1 (см. том I, часть 1, приложение 1.D настоящего Руководства);
 - iii) целевая доступность данных как в реальном времени, так и с задержкой;
 - iv) определение принятого уровня обслуживания (например, максимальная задержка для устранения проблемы на месте);
 - v) определение продолжительности жизни сети;
 - vi) определение резервирования системы (измерение, телесвязь, система центрального блока);
- e) Необходимо определить и выбрать доступные сети телесвязи.
- f) Необходимо идентифицировать существующее оборудование, подлежащее или не подлежащее повторному использованию (приборы, центральный процессор, площадки, инфраструктура площадки и т. д.).
- g) Необходимо определить правила осуществления закупок, которым необходимо следовать, первоначальный бюджет и текущие расходы.
- h) Спецификации для всей системы должны быть составлены в письменном виде, и должна быть выбрана процедура закупки (тендер, внутренняя разработка, внешняя или внутренняя установка и обслуживание и т. п.).

- i) Необходимо определить и провести процесс закупки, приемочные испытания первого оборудования и приемочные испытания серийного оборудования.
- j) Первые установки на месте и связь с центральной системой (платформа сбора, платформа обработки) должны быть подтверждены.
- k) Должны быть развернуты инструменты и методы для станций и центрального надзора с соответствующими показателями.
- l) Следует планировать регулярное инспектирование площадки.
- m) Достигнутые результаты должны быть измерены, сопоставлены с поставленной целью, а затем, соответственно, должны быть приняты корректирующие и предупреждающие меры.

Следует понимать, что АМС обладают многими преимуществами, но не устраняют необходимости в хорошо отлаженной организации их использования и обслуживания.

Расходы на сеть АМС распределяются между многими частями, а расходы на саму АМС составляют небольшой процент от общих расходов, которые включают в себя:

- a) стоимость самой площадки наблюдений: участок земли, ограждение и возможная траншея для линий электропередач или телесвязи;
 - b) стоимость оборудования: АМС, приборы, телекоммуникационный модем или интерфейс;
 - c) стоимость установки и монтажа конструкций на месте;
 - d) стоимость разработки и внедрения центральных систем сбора и обработки данных;
 - e) текущие расходы на связь;
 - f) текущие расходы на обслуживание и калибровку.
-

ПРИЛОЖЕНИЕ. НЕДОРОГОСТОЯЩИЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

1. ВВЕДЕНИЕ

Исторически измерение погодных явлений осуществлялось профессиональными метеорологическими организациями, однако в последние 10 лет на рынке постоянно растет число недорогостоящих АМС. Недорогостоящие АМС варьируются в цене от 50 до, как правило, 7 000 долларов США, и поставляются в различных исполнениях и конфигурациях.

Существуют некоторые общие черты недорогостоящих АМС, в том числе:

- a) относительно низкая цена;
- b) низкое или очень низкое энергопотребление;
- c) передача данных в реальном времени (с регистрацией или без регистрации);
- d) часто небольшой размер и компактность.

Существуют три основных класса недорогостоящих АМС: компактные, моноблоки и автономные (Интернет вещей (IoT)).

Компактные АМС состоят из мачты, подставки или столба с монтажными кронштейнами для различных приборов и, как правило, шкафа для размещения регистратора или процессора, блока питания и других модулей (рис. 1.А.1). Эти АМС похожи на профессиональные метеорологические станции; обычно в них используются отдельные приборы для каждой переменной, и приборы могут быть откалиброваны. Приборы также можно настраивать и заменять по отдельности. Эта АМС может иметь некоторые гибкие возможности регистрации и передачи данных, позволяющие адаптировать передачу сообщений к существующей системе приема данных.

Технологическое решение «моноблок», как правило, относится к инструментальному компоненту недорогостоящей АМС (рис. 1.А.2). Наиболее распространенная конфигурация моноблоков включает приборы для измерения температуры, относительной влажности и давления с возможностью добавления дополнительных приборов. Некоторые из них могут производить одно или несколько дополнительных измерений, таких как: скорость ветра, направление ветра, осадки и солнечная радиация. Существуют также блоки, измеряющие явления текущей погоды, такие как град и грозы. Обычно они сконструированы как единое целое и монтируются на небольшом

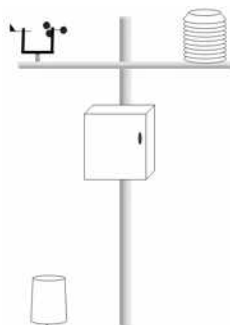


Рисунок 1.А.1. Пример компактной АМС

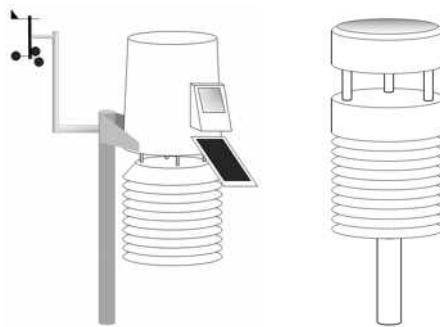


Рисунок 2.А.2. Примеры АМС «моноблок»

столбе или мачте. Некоторые модели включают регистратор данных и аккумуляторную батарею, которая обеспечивает питание всю систему, включая передачу ограниченных объемов данных. Однако чаще они представляют собой дополнительные компоненты и статьи расходов.

Автономные приборы — это быстро развивающаяся технология, которую обычно называют IoT-устройствами. В этих системах используется сеть отдельных интеллектуальных приборов, передающих информацию с использованием маломощных и низкоскоростных интерфейсов Wi-Fi, Bluetooth или Интернет на серверы централизованной обработки (ВМО, 2012). Также растет количество дополнительных устройств к мобильным телефонам, которые измеряют метеорологические параметры.

2. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

В зависимости от назначения, каждая из этих категорий имеет свои преимущества и недостатки.

Системы «моноблок» просты в установке и эксплуатации. Однако такой вариант исполнения, как правило, приводит к снижению качества собираемой информации. Не все приборы, находящиеся в одном маленьком блоке, могут быть правильно установлены, а некоторые могут снижать точность измерения других. Обычно они также имеют небольшие радиационные экраны, что может привести к искажению взаимодействия прибора с окружающей средой, например, значительное завышение наблюдаемой температуры днем и умеренное ее занижение ночью. Такое искажение также приводит к значительным всплескам температуры. Недостатком систем «моноблок» также является то, что при выходе из строя одного прибора часто требуется ремонт или замена всего блока. Калибровка этих устройств затруднена, и для некоторых переменных это может быть выполнено только производителем. Исследования, проведенные Королевским нидерландским метеорологическим институтом (КНМИ) (Vega, 2017) и Астонским университетом (Bell et al., 2015), показывают, что эти приборы демонстрируют значительные расхождения в измерениях. Например, исследование Астонского университета показало среднее ежечасное отклонение температуры на $+0,7$ °C летом и $+0,4$ °C зимой. Кроме того, исследования КНМИ продемонстрировали резкие скачки температуры воздуха от 1 °C до 2 °C и общую недооценку осадков (62 % потерь).

Прочность также является ограничением этих универсальных установок. Блоки, как правило, изготовлены из серийно производимых пластмассовых компонентов, которые разрушаются при воздействии на них элементов. Их монтажные системы также могут быть легкими по весу. При продаже устройства часто включают в себя аккумулятор, дополненный небольшим солнечным элементом. Хотя в теплом климате этого достаточно, при отрицательных температурах аккумулятор часто выходит из строя. Обычно в этих устройствах не предусмотрена возможность использования внешнего источника питания.

Преимущество компактных АМС состоит в том, что в них могут использоваться коммерческие готовые приборы, что дает возможность замены неисправных приборов и позволяет улучшить конфигурацию размещения. Мачты и общая инфраструктура легче по весу и менее прочны, чем профессиональные метеостанции, и с большей вероятностью могут выйти из строя во время суровых погодных явлений. Преимуществом многих моноблоковых и компактных АМС является то, что они поставляются с программным обеспечением для локального сбора, распространения и отображения данных. Все чаще поставщики предоставляют облачные услуги, в которых они собирают и отображают данные, а также предоставляют сетевую статистику через интерфейс веб-браузера и API для взаимодействия с другими системами обработки данных. Преимуществом этого является доступность информации из любого места в любое время и для многих пользователей одновременно. Однако это программное обеспечение и системы управления данными сокращают возможности пользователей по расширению сетей. Большинство из этих систем АМС не будут взаимодействовать с другими марками компактных и моноблоковых АМС.

Системы IoT позволяют оптимизировать расположение и выбор отдельных приборов. Однако эксплуатация и управление этими сетями может усложниться. Эта технология распределенных систем является гораздо более новой и не так хорошо зарекомендовала себя, как компактные и моноблоковые системы. Профессиональные производители метеорологических приборов еще не начали создавать приборы специально для этого рынка. В результате многие из имеющихся на рынке приборов являются недорогими и производятся компаниями—интеграторами электроники без большого опыта в области метеорологических измерений. Большинство производимых устройств имеют потребительский класс, а это означает, что текущее качество данных очень быстро становится неизвестным.

3. СООБРАЖЕНИЯ ВЫБОРА

При выборе недорогой АМС необходимо учитывать широкий круг вопросов, чтобы обеспечить соответствие системы поставленным целям. Одним из наиболее важных соображений является определение требований пользователей, а затем создание соответствующей спецификации для АМС. Большинство производителей предоставляют спецификацию сенсорного элемента, которая опирается на испытания в лабораторных условиях, без экранов или других интерфейсов с окружающей средой. Кроме того, могут существовать ограничения по способу испытания прибора для достижения спецификации. Например, спецификация для приборов относительной влажности часто приводится для прибора, испытываемого при одной температуре в лаборатории. Это не включает в себя такие соображения, как влияние полного диапазона температур, которые прибор может испытывать в полевых условиях. Некоторые приборы могут включать в себя тестирование в определенном диапазоне температур, но не во всем диапазоне рабочих температур.

В связи с низкой затратностью, может вообще не быть никаких приемочных испытаний или калибровки и настройки производителя, вместо этого при представлении всех произведенных единиц он будет полагаться на конструкцию и разработку спецификаций. Все это означает, что при выборе АМС необходимо тщательно следить за тем, чтобы спецификации различных производителей были действительно сопоставимы. Например, если указанная неопределенность измерений мала по сравнению с указанной другими производителями, это может означать, что она применима только в более узком диапазоне условий. С другой стороны, спецификация может быть только одним стандартным отклонением, а не неопределенностью с доверительным интервалом 95 %.

При рассмотрении таких систем, как моноблоки, в спецификации обычно не учитывается влияние корпусов, например, экрана на прибор в поле. Маловероятно, что они включают в себя влияние таких эффектов, как турбулентность, на измерения ветра или осадки, а также влияние прибора, который не устанавливается на стандартной высоте.

Маловероятно, что они включают в себя влияние таких эффектов, как турбулентность, на измерения ветра или осадков, а также влияние прибора, который не устанавливается на стандартной высоте.

В случае системы «моноблок» покупатели должны искать АМС с симметричным дизайном. Такая симметрия минимизирует влияние турбулентности и затенения на приборы. Некоторые системы имеют значительное количество электроники, которая может влиять на показания приборов температуры и влажности. Поэтому рекомендуется выбирать устройства с некоторым разделением между электроникой и экраном. В идеале экран должен находиться в нижней части цилиндрической системы, тем самым минимизируя передачу тепла от других частей моноблока.

Важны также материалы, из которых изготовлена система. Металлические экраны могут оказывать значительное влияние на измеряемую температуру (Warne, 1998), также как и размер и цвет экрана. Экраны диаметром значительно меньше 200 мм и высотой 250 мм приведут к снижению производительности, значительно нагреваясь под воздействием инсоляции и немного охлаждаясь в ночное время из-за радиационного охлаждения по сравнению со стандартной установкой (Warne, 1998). В целом, чем меньше экран, тем сильнее влияние. Важен даже цвет экрана в видимом и инфракрасном диапазоне: там, где это возможно, следует использовать «белый». Некоторые производители могут предоставить подходящий экран, но они при этом предлагают большие конструкции, такие как черные или темно-серые осадкомеры, которые действуют как тепловые массы и близлежащие источники излучения, влияющие на другие датчики (Bell et al., 2015).

4. **ДРУГИЕ СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ РАСХОДОВ**

Использование компактных технологий, технологий «моноблок» или IoT в качестве средства получения недорогих наблюдений не обязательно является простым. В зависимости от качества требуемых данных и затрат на человеческие ресурсы эти решения могут не представлять собой оптимального соотношения цены и качества. Приборы АМС «моноблок» более склонны к дрейфу и выходу из строя, и поэтому больше нуждаются в обслуживании. Для стран, где расходы на рабочую силу являются наиболее значительными, это может привести к тому, что расходы на техническое обслуживание (включая калибровку) будут превосходить первоначальную экономию от вложений в оборудование. Если, однако, предполагаемое использование заключается в обеспечении повышенной плотности наблюдений в густонаселенных местах, то эти системы могут быть наиболее экономичным решением. При заявленных производителем характеристиках дрейфа эти системы могут потребовать трех-семикратной замены за десятилетний период, а также обслуживания или калибровки дважды в год для поддержания их в соответствии с заявленными производителем спецификациями.

Компактные системы и системы IoT, в которых используются высококачественные приборы, снижают затраты на техническое обслуживание. Однако если ценность системы заключается в их вкладе в регистрацию экстремальных погодных явлений, то экономия на инвестициях в инфраструктуру может быть потрачена впустую, если системы будут потеряны или повреждены во время экстремального события. В настоящее время многие из приборов IoT ориентированы на любительский и домашний рынок и как таковые не подходят для использования НМГС.

Недорогостоящие АМС могут занять свое место в многоуровневой сети и могут принести значительную пользу, если известны их пределы производительности и эксплуатационные ограничения. С другой стороны, существенное сокращение оперативных расходов может быть достигнуто при эксплуатации сетей профессиональных стандартных АМС благодаря знанию их рабочих показателей, которые достигаются сетью, и факторов, определяющих расходы на поддержание требуемых показателей. Существенная экономия может быть достигнута за счет оптимизации работы сети. Анализ проверок до и после калибровки, сбоя систем в полевых условиях, анализ первопричин и эффективное управление активами обеспечивают доказательства, необходимые для оптимизации

затрат на эксплуатацию сети. Важно, чтобы сетевые менеджеры задавали такие вопросы, как: «Обслуживаются ли наши системы чрезмерно или недостаточно?»; «Правильно ли проводится профилактика?»; «Имеет ли персонал необходимую подготовку?»; «Имеется ли у нас надлежащая инфраструктура для среды, в которой функционирует АМС?». В странах, где затраты на рабочую силу высоки, оптимизация обслуживания может принести более существенную экономию, чем снижение качества и надежности капитальных вложений. В странах, где капитальные затраты на инвестиции высоки, а затраты на рабочую силу относительно низки, следует тщательно рассмотреть вопрос о том, что следует автоматизировать.

Причины введения недорогостоящих АМС в профессиональную метеорологическую сеть различны. Это может быть увеличение плотности пунктов наблюдений, создание гибкости и подвижности сети или снижение стоимости операций. Важно понимать, что только потому, что эти альтернативные системы имеют более низкую начальную цену, они не могут быть «дешевым» решением в долгосрочной перспективе. Вопросы, касающиеся требований пользователей к доступности и качеству данных, стоимости рабочей силы для обслуживания, эксплуатации и мониторинга, а также капитальной стоимости оборудования необходимо учитывать при планировании общей сети и ее эксплуатации. Часто более низкая начальная цена может обернуться более высокими затратами.

СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Всемирная метеорологическая организация, 1992: *Международный метеорологический словарь* (ВМО-№ 182). Женева.
- , 1993: *Руководство по Глобальной системе обработки данных* (ВМО-№ 305). Женева.
- , 2010 (обновлено в 2017 г.): *Руководство по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 488). Женева.
- , 2014: *Руководство по системам метеорологических наблюдений и распространения информации для авиационного метеорологического обслуживания авиации* (ВМО-№ 731). Женева.
- , 2015a (обновлено в 2018 г.): *Технический регламент* (ВМО-№ 49), том I — Общие метеорологические стандарты и рекомендуемые практики. Женева.
- , 2015b (обновлено в 2017 г.): *Наставление по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО* (ВМО-№ 1160). Женева.
- , 2015c (обновлено в 2017 г.): *Наставление по кодам* (ВМО-№ 306), том I.2 — Международные коды. Женева.
- Bell, S., D. Cornford and L. Bastin, 2015: How good are citizen weather stations? Addressing a biased opinion. *Weather*, 70(3):75–84.
- Gifford, M.D., G.M. Pearson and K. Hegg, 2000: Operation of automated surface observing systems in harsh climatological environments. In: *Papers Presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2000)* (WMO/TD-No. 1028). Beijing, 23–27 October 2000. Instruments and Observing Methods Report No. 74. Geneva.
- United Nations Environment Programme, 2017: Minamata Convention on Mercury, https://www.mercuryconvention.org/sites/default/files/documents/information_document/Minamata-Convention-booklet-Sep2019-EN.pdf.
- Vega, S., 2017: The Quality of Low-cost Weather Stations. Report by KNMI and The Hague University of Applied Sciences.
- Warne, J., 1998: A Preliminary Investigation of Temperature Screen Design and their Impacts on Temperature Measurements. Instrument Test Report 649. Melbourne, Bureau of Meteorology.
- , 2017: Desktop analysis of commercially available "All-in-One" and "Compact" weather stations – How well can we do it? In: *Papers Presented at the WMO International Conference on Automatic Weather Stations (ICAWS-2017)*. WMO International Conference on Automatic Weather Stations (ICAWS-2017), "Automatic Weather Stations for environmental intelligence – the AWS in the 21st century". Offenbach am Main, Germany, 24–26 October 2017. Instruments and Observing Methods Report No. 127, https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=20023#.XOUzGa6Wapo.
- World Meteorological Organization, 1987: Some General Considerations and Specific Examples in the Design of Algorithms for Synoptic Automatic Weather Stations (D.T. Acheson) (WMO/TD-No. 230). Instruments and Observing Methods Report No. 19. Geneva.
- , 1991: Guidance on the Establishment of Algorithms for Use in Synoptic Automatic Weather Stations: Processing of Surface Wind Data (D.J. Painting) (WMO/TD-No. 452). Instruments and Observing Methods Report No. 47. Geneva.
- , 1995: *Papers Presented at the International Workshop on Experiences with Automatic Weather Stations on Operational Use within National Weather Services* (WMO/TD-No. 670). Vienna, 15–17 May 1995. Austria, ZAMG.
- , 1997: Guidance on Automatic Weather Systems and their Implementation (WMO/TD-No. 862). Instruments and Observing Methods Report No. 65. Geneva.
- , 2003: Algorithms Used in Automatic Weather Stations: Evaluation of Questionnaire (M.D. Gifford) (WMO/TD-No. 1160). Instruments and Observing Methods Report No. 78. Geneva.
- , 2017a: WMO Observing Systems Capability Analysis and Review Tool (OSCAR), <https://www.wmo-sat.info/oscar/>.

- , 2017b: Papers Presented at the WMO International Conference on Automatic Weather Stations (ICAWS-2017). WMO International Conference on Automatic Weather Stations (ICAWS-2017), “Automatic Weather Stations for environmental intelligence – the AWS in the 21st century”. Offenbach am Main, Germany, 24–26 October 2017. Instruments and Observing Methods Report No. 127, https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=20023#XOuzGa6Wapo.
- , 2017c: *Challenges in the Transition from Conventional to Automatic Meteorological Observing Networks for Long-term Climate Records* (WMO-No. 1202). Geneva.
-