

ГЛАВА 3. ОБРАБОТКА ДАННЫХ

3.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В данной главе в общем виде рассматриваются процедуры для обработки и/или преобразования данных, получаемых непосредственно с помощью приборов, в данные, используемые потребителями метеорологической информации, особенно для обмена между странами. Официальные правила для обработки данных, которые подлежат международному обмену, рекомендуются ВМО; они изложены в ВМО (2015). В [томе I](#), глава 1, настоящего Руководства содержится несколько соответствующих рекомендаций и определений.

3.1.1 Определения

При обсуждении использования контрольно-измерительных приборов, связанных с измерением атмосферных величин, стало полезным классифицировать данные наблюдений в соответствии с уровнями данных. Эта схема была введена в связи с системой обработки данных для Программы исследований глобальных атмосферных процессов и также определена в ВМО (2015, 2017).

Данные уровня I — это, как правило, показания приборов, выраженные в соответствующих физических единицах и привязанные к географическим координатам. Их необходимо перевести в обычные метеорологические величины (определяемые в [томе I](#), глава 1). Во многих случаях собственно данные уровня I получают путем обработки электрических сигналов, таких как значения напряжения, передаваемых в качестве необработанных данных. Примерами таких данных служат спутниковые данные излучений и давления водяного пара.

К данным, признанным метеорологическими величинами, относятся данные уровня II. Их можно получить непосредственно с помощью приборов (как в случае со многими видами простых приборов) или же рассчитать по данным уровня I. Так, например, датчик не может измерить видимость, которая представляет величину уровня II; вместо этого датчики измеряют коэффициент ослабления, который является величиной, относящейся к уровню I.

К данным уровня III относятся данные, содержащиеся в комплектах внутренне согласующихся данных, обычно в форме узловых точек сетки. Они не рассматриваются в настоящем Руководстве.

Данные, которыми обмениваются на международном уровне, — это данные уровня II или уровня III.

3.1.2 Требования к метеорологическим данным

Станции наблюдений во всем мире обычно осуществляют регулярные наблюдения в стандартных форматах, пригодных для обмена высококачественной информацией, получаемой с помощью единых методов наблюдений, несмотря на различие типов приборов, используемых во всем мире или даже в отдельных государствах. Для достижения такого положения в течение многих лет затрачивались значительные ресурсы на стандартизацию содержания данных, их качества и формата представления. По мере того, как автоматизированные наблюдения за атмосферой становятся все более преобладающими, сохранение этой стандартизации и разработка дополнительных стандартов для перевода необработанных данных в данные уровня I, а также необработанных данных и данных уровня I в данные уровня II приобретают все более важное значение.

3.1.3 Процесс обработки данных

Задача датчика состоит в измерении атмосферной величины и переводе ее в количественном виде в полезный сигнал. Однако датчики могут обладать дополнительными реакциями на окружающую среду, как, например, температурная зависимость калибровочных характеристик, и их выходные сигналы подвержены различного рода ошибкам, таким как систематическое отклонение и шум. После надлежащей выборки данных с помощью системы приема данных выходной сигнал следует масштабировать и линеаризовать в соответствии с общей калибровкой системы и затем отфильтровать или осреднить. На этом этапе, или даже раньше, он переходит в категорию необработанных данных. Затем данные следует перевести в значения измерений физических величин, регистрируемые датчиком, которые соответствуют данным уровня I или же уровня II, если дальнейшие преобразования не требуются. Для некоторых применений необходимо получать дополнительные параметры. На различных этапах в процессе обработки данные могут быть скорректированы с учетом внешних воздействий, таких как экспозиция, и подвергаться контролю качества.

Поэтому данные, получаемые с обычных метеостанций и АМС, следует подвергать многим операциям, прежде чем они станут пригодными для использования. Весь этот процесс известен как обработка данных и состоит из осуществления ряда операций, включая некоторые или все из нижеперечисленных:

- a) преобразование атмосферных величин;
- b) формирование выходных сигналов датчика;
- c) получение и выборка данных;
- d) применение информации о калибровке;
- e) линеаризация выходных сигналов датчика;
- f) определение статистических характеристик, таких как среднее значение;
- g) получение соответствующих переменных;
- h) введение поправок;
- i) проверка качества данных;
- j) регистрация и хранение данных;
- k) составление метаданных;
- l) форматирование сообщений;
- m) проверка содержания сообщений;
- n) передача сообщений.

Порядок, в котором осуществляются эти операции, является лишь приблизительно последовательным. Разумеется, первые и последние из вышеперечисленных операций всегда должны выполняться первыми и последними. Линеаризация может осуществляться непосредственно или внутри датчика, однако она должна предшествовать определению среднего значения. На различных уровнях процесса предварительной обработки данных может проводиться специальный контроль качества и введение поправок. В зависимости от назначения станции могут работать в упрощенном режиме без осуществления всех этих операций.

В контексте настоящего Руководства важные операции в процессе обработки данных состоят в выборе надлежащих процедур измерений, применении информации о калибровке, линеаризации, когда она требуется, фильтрации и/или осреднении, в расчете соответствующих величин, введении поправок, контроле качества и в составлении метаданных. Все эти вопросы рассматриваются в данной главе. Более подробная информация по менеджменту качества приводится в настоящем томе, [глава 1](#), а в отношении методов измерения, фильтрации и осреднения — в настоящем томе, [глава 2](#).

После того, как данные обработаны, их необходимо предоставлять посредством кодирования, передачи и приема, отображения и архивации, что является темами других наставлений и руководств ВМО. Система наблюдений является неполной, если она не соединена с другими системами, которые обеспечивают доставку данных потребителям. Качество данных определяется как наиболее слабое звено. На каждой стадии необходимо применять контроль качества.

Большинство существующих методов и стандартизированных методик обработки данных персоналом могут также использоваться АМС, которые, однако, требуют особых подходов. В АМС входят различные датчики, стандартные расчеты для получения элементов сообщений и сам формат сообщения. Не все датчики легко совмещаются с автоматизированным оборудованием. Аналитические выражения для расчетов, представленным в виде таблиц, необходимо восстанавливать или создавать. Правила для кодирования сообщений должны быть выражены на языках компьютера с уровнями точности, завершенности и ясности, не требующимися в указаниях на обычном языке, подготавливаемых для наблюдателей. Более того, некоторые обязанности наблюдателя, такие как определение типов облаков, в настоящее время не могут быть автоматизированы с использованием существующих методик или их модификаций.

Вопросы получения данных и программного обеспечения обработки данных для АМС довольно подробно рассмотрены в [томе III](#), глава 1, в достаточной степени в общем виде для любых применений электрических датчиков в метеорологии. Некоторые общие рассуждения и конкретные примеры построения алгоритмов для синоптических АМС приведены в публикации ВМО (WMO, 1987).

При обработке метеорологических данных обычно осуществляется одна корректная процедура, алгоритм или подход, при этом может быть много аппроксимаций, от удовлетворительных до малоприменимых по своей эффективности. Опыт убедительно показывает, что подобный подход обычно наиболее эффективен в перспективном плане. Он является непосредственным, требует минимального уровня квалификации и, будучи однажды применен, не нуждается в дальнейшем обслуживании. Поэтому последующие параграфы в основном ограничены одним корректным приближением к рассматриваемой проблеме при наличии существующих точных решений.

3.2 **ДИСКРЕТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ**

Полное рассмотрение вопроса дискретизации измерений см. в настоящем томе, [глава 2](#). Ниже следует краткое изложение основных выводов.

Необходимо признать, что из-за постоянно существующей турбулентности атмосферные величины быстро и неоднородно изменяются, и выходные сигналы датчика не в полной мере воспроизводят значения атмосферных величин вследствие их несовершенных динамических характеристик, таких как ограниченная способность реагировать на быстрые изменения. Как правило, для датчиков требуется оборудование, чтобы увеличить или сохранить их выходные сигналы и/или перевести одну форму сигнала в другую, например, сопротивление в напряжение. Используемые для этого схемы могут также сглаживать процесс или отфильтровывать низкие частоты сигнала. Имеется

предельная частота, выше которой не происходит значительных изменений, поскольку таких изменений не существует в атмосфере и/или датчик или схема улучшения сигнала удаляют их.

Важным конструктивным соображением является вопрос о том, как часто следует измерять выходные сигналы датчика. Определенный ответ состоит в следующем: с равномерной скоростью, по меньшей мере, в два раза чаще, чем предельная частота выходного сигнала датчика. Однако обычно удовлетворяется более простое и равнозначное правило: интервалы измерения не должны превышать наибольших постоянных времени всех приборов и схем, предшествующих системе получения данных. Если частота измерения меньше удвоенной предельной частоты, то непременно возникают ошибки в данных и во всех производных величинах и статистических характеристиках. Несмотря на то, что такие увеличения интервалов измерений могут быть приемлемы в отдельных случаях, в других они не допустимы. Надлежащие измерения всегда обеспечивают минимальную дисперсию.

Для надежной конструкции может потребоваться включение низкочастотного фильтра с постоянной времени, примерно равной интервалу измерения в системе получения данных. Это также является профилактической мерой, чтобы свести к минимуму влияние шума, особенно помехи в 50 или 60 Гц от источников питания по кабелям, соединяющим датчики с процессорами, и за счет утечки через источники питания.

3.3 ПРИМЕНЕНИЕ КАЛИБРОВКИ

Регламентными документами ВМО (2015) предписывается, чтобы станции были оборудованы надлежащим образом откалиброванными приборами и неукоснительно соблюдались адекватные методы наблюдений и измерений для обеспечения точности измерений, достаточной для удовлетворения требований метеорологических дисциплин. Преобразование необработанных данных, получаемых с помощью приборов, в соответствующие метеорологические параметры достигается посредством применения операций калибровки. Надлежащее использование процедур калибровки и любых других систематических поправок является наиболее важным моментом для получения данных, удовлетворяющих заданным требованиям точности.

Определение операций калибровки должно основываться на калибровке всех компонентов цепи измерений. В принципе, на практике для некоторых метеорологических величин, таких как давление, калибровка полевых приборов должна быть выполнена посредством сравнения с международным эталонным прибором с помощью непрерывной цепи сравнений между полевым прибором и несколькими или всеми из серий эталонных приборов, таких как переносной эталон, рабочий эталон, вторичный эталон и национальный эталон (см. [том I](#), глава 1, в отношении определений).

В каждой из соответствующих глав [тома I](#) содержится описание процедур калибровки и систематических поправок, касающихся каждой из основных метеорологических переменных.

Полевые приборы должны быть откалиброваны экспертом с учетом соответствующих изменений в операциях калибровки. Недостаточно полагаться на данные калибровки, предоставляемые вместе с оборудованием. Оборудование для калибровки поставщика часто содержит неизвестную зависимость по отношению к национальному эталону и в любом случае следует ожидать изменения калибровки во время транспортировки, хранения и использования приборов. Изменения в калибровке должны отражаться в файлах метаданных станции.

3.4 ЛИНЕАРИЗАЦИЯ

Если выходные сигналы датчика не строго пропорциональны измеряемой величине, следует линеаризовать сигнал с использованием калибровки прибора. Это необходимо осуществить перед фильтрованием или осреднением сигнала. Последовательность операций «осреднять, затем линеаризовать» приводит к результатам, отличающимся от результатов последовательности «линеаризовать, затем осреднять», когда сигнал не является постоянным в течение периода осреднения.

Нелинейность может возникать следующими тремя путями (WMO, 1987):

- a) многие датчики изначально нелинейны, т. е. их выходной сигнал не пропорционален измеряемой атмосферной переменной. Простым примером является термистор;
- b) несмотря на то, что в датчик можно включить линейные преобразователи, измеряемые переменные могут не быть линейно связаны с интересующей атмосферной переменной. Так, например, фотодетектор и преобразователь угла передачи облакомера с вращающимся лучом являются линейными устройствами, однако выходной сигнал облакомера (интенсивность отраженного светового сигнала как функция угла) нелинейно связан с высотой облаков;
- c) преобразование данных из уровня I в уровень II может не быть линейным. Например, коэффициент ослабления, а не видимость или коэффициент пропускания, является подходящей переменной для осреднения, чтобы получить значения осредненной видимости.

В первом из этих случаев часто используется полиномиальная функция калибровки. Тогда весьма желательно иметь стандартные датчики с едиными коэффициентами калибровки, чтобы избежать проблем, возникающих при смене датчиков в поле. В двух других случаях обычно подходящей является аналитическая функция, которая описывает режим работы датчика.

3.5 ОСРЕДНЕНИЕ

Естественная мелкомасштабная изменчивость атмосферы вызывает необходимость проведения сглаживания или осреднения в целях получения репрезентативных наблюдений и обеспечения совместимости данных от различных приборов. Для международного обмена и многих оперативных применений требуется, чтобы передаваемое измерение было репрезентативным за предыдущие 2 или 10 минут для ветра и, в основном, от 1 до 10 минут для других величин. Практика использования одномоментных измерений возникает, в частности, в результате того, что некоторые обычные метеорологические датчики имеют постоянную времени порядка 1 минуты и одно показание теоретически является одномоментным средним или сглаженным значением. Если постоянная времени прибора значительно меньше, то необходимо делать отсчеты и фильтровать или осреднять их. Это — тема настоящего тома, [глава 2](#). Для получения представления о требованиях к периодам осреднения, типичным для оперативных метеорологических измерительных систем, см. [том I](#), глава 1, (приложение 1.A).

Обычно используются два типа осреднения или сглаживания: арифметический и экспоненциальный. Арифметическое осреднение соответствует осреднению в обычном смысле и легко выполняется расчетным путем; это блок узкополосных фильтров, описанный в настоящем томе, глава 2. Экспоненциальное осреднение — это выходной сигнал элементарного низкочастотного фильтра, представляющий простейшую реакцию датчика на атмосферные изменения, и его более удобно осуществить в аналоговой схеме, чем арифметическое осреднение. В случаях, когда постоянная времени простого фильтра

приблизительно равна половине времени измерения, по которому рассчитывается среднее, значения арифметического и экспоненциального сглаживания практически близки (см. настоящий том, [глава 2](#), а также работу Acheson (1968)).

Выходные сигналы быстродействующих датчиков быстро изменяются, что приводит к необходимости более высокой частоты дискретных измерений для оптимального (минимум неопределенности) осреднения. Для уменьшения требуемой частоты дискретных измерений и для обеспечения в этом случае оптимального цифрового осреднения можно линеаризовать выходной сигнал датчика (когда это необходимо), экспоненциально сгладить его с использованием аналоговой схемы с постоянной времени t_c , а затем произвести отсчеты в цифровом виде с интервалами t_c .

Для специальных применений используется много других видов сложных фильтров с цифровым выходом.

Осреднение нелинейных величин создает определенные трудности в тех случаях, когда они изменяются в течение периода осреднения, поэтому важно выбирать соответствующую линейную переменную для расчета среднего значения. В таблице, представленной в [3.6](#), перечислены некоторые конкретные примеры элементов синоптического наблюдения, регистрируемых в качестве средних, с соответствующей линейной переменной, которую следует использовать.

3.6 ВЗАИМОСВЯЗАННЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В зависимости от целей наблюдения, кроме осредненных данных, должны определяться также экстремальные и другие переменные, которые репрезентативны для конкретных периодов времени. Примером являются измерения порыва ветра, для которых требуется более высокая частота отсчетов.

По осредненным данным следует также определять другие величины, такие как среднее давление на уровне моря, видимость и точка росы. На обслуживаемых персоналом станциях обычного типа используют таблицы перевода. В соответствии с обычной практикой принято встраивать таблицы в АМС и предусматривать процедуры интерполяции или включать основные формулы или их аппроксимации. В отношении применения преобразования данных см. различные главы [тома I](#), а также [том III](#), глава 1, по применению АМС.

Величины, для которых необходимо преобразовывать данные при расчете средних значений

<i>Регистрируемая величина</i>	<i>Осредняемая величина</i>
Скорость и направление ветра	Декартовы компоненты
Точка росы	Абсолютная влажность
Видимость	Коэффициент ослабления

3.7 ПОПРАВКИ

При измерении многих метеорологических величин вводятся поправки либо к необработанным данным, либо к данным уровня I или уровня II, чтобы откорректировать различные влияния. Такие поправки описываются в главах по различным метеорологическим элементам в [томе I](#). Поправки к необработанным данным, на аддитивную и мультипликативную составляющие ошибки, или на температуру, силу тяжести и другие получают при калибровке и по характеристикам прибора. К другим

типам поправок или коррекций, применяемым к необработанным данным или к данным более высокого уровня, относятся сглаживание, подобное тому, которое применяется к измерениям высоты облаков и к аэрологическим профилям, и коррекции на экспозицию, например такие, которые иногда применяют к наблюдениям за температурой, ветром и осадками. В некоторых случаях алгоритмы для таких типов поправок основаны на исследованиях, еще не полностью завершенных; таким образом, несмотря на то что они, несомненно, улучшают точность данных, в дальнейшем сохраняется возможность получения различных алгоритмов. В таком случае может возникнуть необходимость в восстановлении первичных неоткорректированных данных. Поэтому рекомендуется детально описывать алгоритмы.

3.8 МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА

Вопрос о менеджменте качества обсуждается в настоящем томе, [глава 1](#). Официальные требования излагаются в публикации ВМО (2015), а общие процедуры рассматриваются в ВМО (2010).

Процедуры контроля качества следует осуществлять на каждом этапе преобразования необработанных выходных сигналов датчиков в метеорологические величины. Сюда относятся операции, связанные с получением данных, а также с приведением их к данным уровня II.

В процессе получения данных контроль качества должен быть нацелен на уменьшение как систематических, так и случайных погрешностей измерений, и исключения ошибок в результате отклонения от технических стандартов, ошибок при неправильной установке приборов и субъективных ошибок наблюдателя.

Контроль качества во время обработки и преобразования данных должен быть направлен на устранение ошибок, возникающих в результате используемых методов преобразования или используемых процедур расчетов. В целях улучшения качества получаемых данных при высокой частоте отсчетов, которые могут вырабатывать увеличенный шум, используются методы фильтрации и сглаживания. Они описаны ранее в этой главе, а также в настоящем томе, [глава 2](#).

3.9 СОСТАВЛЕНИЕ МЕТАДАННЫХ

Метаданные рассматриваются в [томе I](#), глава 1; в настоящем томе, [глава 1](#), а также в других главах, касающихся различных метеорологических величин. Метаданные следует сохранять для того, чтобы:

- a) можно было восстановить первичные данные для возобновления работы в случае необходимости (например, с различным фильтрованием или коррекциями);
- b) пользователь мог легко оценить качество данных, а также условия, при которых они были получены (такие как экспозиция);
- c) потенциальные пользователи могли узнать о существовании данных.

Поэтому необходимо записывать все процедуры, используемые в вышеописанных операциях обработки данных, характерные для каждого типа данных и отдельно для каждой станции и типа наблюдений.

СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Acheson, D. T. An Approximation to Arithmetic Averaging for Meteorological Variables. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* **1968**, 7 (4), 548–553. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1968\)007<0548:AATAAF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1968)007<0548:AATAAF>2.0.CO;2).
- D.T. Acheson. *Some general considerations and specific examples in the design of algorithms for synoptic automatic weather stations* (WMO/TD-No. 230), Report No. 19; World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 1987.
- World Meteorological Organization (WMO) 2010. *Guide to the Global Observing System* (WMO-No. 488), Geneva, 2010 (updated in 2017).
- World Meteorological Organization (WMO) 2015. *Manual on the Global Observing System* (WMO-No. 544), Volume I. Geneva. 2015 (updated in 2017).
- World Meteorological Organization (WMO) 2017. *Manual on the Global Data-processing and Forecasting System* (WMO-No. 485), Geneva, 2017.
-