СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 6
1.1 Метеорологические наблюдения 6
1.1.1 Общие сведения 6
1.1.2 Репрезентативность 7
1.1.3 Метаданные 8
1.2 Системы метеорологических наблюдений 9
1.3 Общие требования к метеорологической станции. 9
1.3.1 Автоматические метеорологические станции 10
1.3.2 Наблюдатели 10
1.3.3 Размещение и установка приборов 11
1.3.3.1 Выбор места размещения 11
1.3.3.2 Координаты станции. 13
1.3.3.3 Эксплуатация оборудования в экстремальных условиях окружающей среды 13
1.3.4 Замены приборного обеспечения и однородность показаний приборов 13
1.3.5 Инспекция и обслуживание 14
1.3.5.1 Инспекция станций. 14
1.3.5.2 Обслуживание 14
1.4 Общие требования к приборам 15
1.4.1 Желательные характеристики 15
1.4.2 Самописцы 16
1.5 Эталоны измерений и их определения 16
1.5.1 Определения эталонов измерений. 16
1.5.2 Процедуры стандартизации. 18
1.5.3 Условные обозначения, единицы измерения и константы 18
1.5.3.1 Условные обозначения и единицы измерения 18
1.5.3.2 Константы 20
1.6 Погрешность измерений. 20
1.6.1 Метеорологические измерения 20
1.6.1.1 Общие сведения 20
1.6.1.2 Источники и оценки погрешности 21
1.6.2 Определения измерений и погрешностей измерений 22
1.6.3 Характеристики приборов 24
1.6.4 Погрешности измерения одного прибора 25
1.6.4.1 Статистические распределения данных наблюдений 25
1.6.4.2 Оценка действительного значения 26
1.6.4.3 Выражение погрешности. 28
1.6.4.4 Измерения дискретных значений 28
1.6.5 Требования к точности. 29
1.6.5.1 Общие сведения 29
1.6.5.2 Требуемая и достижимая эффективность 29

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.A. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЦЕНТРЫ ПО ПРИБОРАМ 31

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.B. КЛАССИФИКАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ПЛОЩАДОК ДЛЯ СТАНЦИЙ ПРИЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА СУШЕ 34

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.C. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ СТАНЦИИ 48

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.D. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ 50

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.E. ТРЕБОВАНИЯ К ОПЕРАТИВНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ И РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБОРОВ 55

СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА 66

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

1.1.1 Общие сведения

Метеорологические (и соответствующие экологические и геофизические) наблюдения проводятся в силу целого ряда причин. Данные таких наблюдений используются для подготовки в режиме реального времени метеорологических анализов, прогнозов и предупреждений о неблагоприятной погоде, для исследования климата, в текущей деятельности отраслей экономики, зависящих от погоды (например, обеспечение полетов воздушных судов с местных аэродромов, строительных работ на суше и на море), для целей гидрологии и сельскохозяйственной метеорологии и для проведения научных исследований в области метеорологии и климатологии. Цель *Руководства по метеорологическим приборам и методам наблюдений* заключается в оказании поддержки этой деятельности посредством предоставления рекомендаций по эффективной практике при проведении метеорологических измерений и наблюдений.

Существует много других источников дополнительных рекомендаций, и пользователям следует обращаться к справочной литературе, помещенной в конце каждой главы, для ознакомления с библиографией теории и практики, связанной с приборами и методами наблюдений. Справочная литература содержит также ссылки на национальные виды практики, на национальные и международные стандарты и на конкретную литературу. Она включает также доклады, опубликованные Всемирной метеорологической организацией (ВМО) от Комиссии по приборам и методам наблюдений (КПМН), касающиеся технических конференций, приборного обеспечения и международных сравнений приборов. Многие другие наставления и руководства, выпущенные ВМО, посвящены конкретным применениям данных метеорологических наблюдений (см., в частности, публикации, посвященные Глобальной системе наблюдений (ВМО, 2010*c*; 2010*e*), авиационной метеорологии (ВМО, 2014), гидрологии (ВМО, 2008), сельскохозяйственной метеорологии (ВМО, 2010*b*) и климатологии (ВМО, 2011*a*).

Особое значение для инструментальных измерений имеют обеспечение и поддержание качества. На всем протяжении настоящего Руководства содержатся многочисленные рекомендации с тем, чтобы были удовлетворены заявленные требования к техническим характеристикам. В частности, часть IV настоящего Руководства посвящена вопросам обеспечения качества и менеджмента систем наблюдений. Признается, что исключительно важное значение имеют менеджмент качества и профессиональная подготовка специалистов по приборам. В этой связи по рекомендации КПМН[1] несколько региональных ассоциаций ВМО учредили региональные центры по приборам (РЦП) для сохранения стандартов и проведения консультаций по метеорологическим измерениям. Круг обязанностей этих центров и места их нахождения приводятся в приложении 1.A. Кроме того, по рекомендации Совместной технической комиссии ВМО/МОК по океанографии и морской метеорологии[2] (ВМО, 2010*a*) была создана сеть региональных центров по морским приборам (РЦМП) для выполнения аналогичных функций, связанных с морской метеорологией и другими соответствующими океанографическими измерениями. Круг их обязанностей и места их нахождения представлены в части II, глава 4, приложение 4.A.

Определения и стандарты, изложенные в настоящем Руководстве (см. раздел 1.5.1), соответствуют стандартам, принятым на международном уровне. Базовыми документами,

---

[1] Рекомендовано Комиссией по приборам и методам наблюдений на ее девятой сессии (1985 г.), рекомендация 19 (КПМН-IX).

[2] Рекомендовано Совместной технической комиссией ВМО/МОК по океанографии и морской метеорологии на ее третьей сессии (2009 г.), рекомендация 1 (СКОММ-III).

к которым необходимо обращаться, является *Международный метеорологический словарь* (ВМО, 1992) и *Международный словарь по метрологии — Основные и общие понятия и соответствующие термины (VIM)* (ОКРМ, 2012) .

1.1.2 **Репрезентативность**

Репрезентативность данных наблюдений — это та степень точности, с которой они описывают значение переменной величины, требуемой для конкретной цели. В этой связи это не зафиксированное качество любых данных наблюдений, а результаты совместной оценки приборов, интервала измерений и размещения приборов по сравнению с требованиями определенного конкретного применения. Например, данные синоптических наблюдений должны быть, как правило, репрезентативными для района размером до 100 км вокруг станции, однако для мелкомасштабных или местных применений рассматриваемый район может иметь размер соответствующей территории в 10 км или меньше.

В частности, применения обладают своими собственными предпочтительными временными масштабами и пространственными масштабами для осреднения, плотности станций и разрешающей способности явления погоды — небольшими для сельскохозяйственной метеорологии, большими для глобального долгосрочного прогнозирования. Масштабы прогнозирования тесно связаны с временными масштабами данного явления; таким образом, краткосрочные метеорологические прогнозы требуют проведения более частых наблюдений более плотной сетью на ограниченной территории с тем, чтобы обнаруживать любые мелкомасштабные явления и их быстрое развитие. На основе использования различных источников (ВМО, 2001; 2010*e*; Orlanski, 1975) горизонтальные метеорологические масштабы могут быть классифицированы следующим образом, при этом коэффициент погрешности равен двум:

a) микромасштаб (менее 100 м) для сельскохозяйственной метеорологии, например испарение;

b) топографический или местный масштаб (100 м – 3 км), например загрязнение воздуха, торнадо;

c) мезомасштаб (3–100 км), например грозы, морской и береговой бриз;

d) крупный масштаб (100–3 000 км), например фронты, различные циклоны, облачные скопления;

e) планетарный масштаб (более 3 000 км), например длинные волны в верхней тропосфере.

В разделе 1.6 рассматриваются требуемые и достижимые погрешности измерительных систем. Установленные достижимые погрешности могут быть получены с помощью эффективных систем приборов, которые эксплуатируются должным образом, но на практике это происходит не всегда. Надлежащая практика наблюдений требует навыков и профессионального мастерства, учебной подготовки, оборудования и поддержки, которые не всегда имеются в достаточной степени. Необходимые интервалы измерений меняются в зависимости от применения: минуты — для авиации, часы — для сельского хозяйства и сутки — для описания климата. Организация хранения данных представляет собой компромисс между имеющимися возможностями и потребностями пользователей.

Трудно выполнимой задачей является правильная установка приборов, которая репрезентативна для масштабов от нескольких метров до 100 км (см. раздел 1.3). Погрешности, связанные с нерепрезентативной установкой приборов, могут быть гораздо более значительными, чем погрешности, ожидаемые от отдельно стоящих приборов. Данные со станции, размещенной в горной или прибрежной местности, являются, вероятно, нерепрезентативными в крупном масштабе или мезомасштабе. Однако хорошая

однородность данных наблюдений во времени может позволить пользователям применять для целей климатических исследований данные, полученные даже от нерепрезентативных станций.

В приложении 1.B рассматривается более подробно вопрос о репрезентативности места размещения и даются руководящие указания относительно классификации наземных наблюдательных площадок на суше, с тем чтобы указать их репрезентативность для измерения различных переменных величин. Настоящая классификация преследует несколько целей:

a) усовершенствовать выбор площадки и расположения датчика на площадке с тем, чтобы оптимизировать репрезентативность путем применения ряда объективных критериев;

b) оказывать помощь в построении сети и выборе площадок для нее:

   i) не только для метеорологического обслуживания, но также, например, для целей дорожно-эксплуатационного обслуживания;

   ii) во избежание неправильного размещения приборов;

c) обосновывать репрезентативность площадки при помощи простого в использовании критерия:

   i) очевидно, что одна величина недостаточна для полного описания окружающей среды и репрезентативности площадки. Необходима дополнительная информация, такая как схема, снимки или описание окружающей обстановки;

   ii) несмотря на численное значение, классификация площадки не является только системой ранжирования. Площадки класса 1 предпочтительны, однако площадки других классов все равно представляют ценность для многих других применений;

d) оказывать помощь пользователям извлекать пользу из метаданных при использовании данных наблюдений. Если метаданные слишком сложны, они могут препятствовать надлежащему использованию.

1.1.3 **Метаданные**

Целью настоящего Руководства и соответствующих публикаций ВМО является обеспечение надежности данных наблюдений посредством стандартизации. Однако местные ресурсы и обстоятельства могут являться причиной отклонений от согласованных стандартов средств измерений и их установки. Характерным примером является пример регионов с обильными снегопадами, где приборы устанавливаются выше, чем обычно, с тем чтобы они могли быть полезными зимой, а также летом.

Пользователям данных метеорологических наблюдений часто необходимо знать фактическую установку, тип и состояние оборудования, а также условия его эксплуатации и, вероятно, обстоятельства проведения наблюдений. Это имеет особенно важное значение при изучении климата, когда необходимо подробно изучать историю станций. Следует сохранять метаданные (данные о данных), касающиеся всех вопросов, связанных с созданием и функционированием станций, описанных в разделе 1.3, и происходящих изменениях, включая историю калибровки приборов и их обслуживания, а также изменений в местах их установки и в составе персонала (WMO, 2003). Метаданные особенно важны для величин, которые особенно чувствительны к влиянию внешних факторов, таких как осадки, ветер и температура. Одной из основных форм метаданных является информация о доступности, наличии и качестве метеорологических данных и метаданных о них.

1.2 СИСТЕМЫ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Обеспечение потребностей в результатах наблюдений достигается путем использования измерений *in situ* или систем дистанционного зондирования (включая космические системы) в соответствии со способностью различных сенсорных систем проводить измерения необходимых величин. В публикации ВМО (2010*e*) дается описание потребностей с точки зрения глобальных, региональных и национальных масштабов и в соответствии с районом применения. Глобальная система наблюдений, разработанная для удовлетворения этих потребностей, состоит из наземной и космической подсистем. В наземную подсистему входит множество станций (пунктов наблюдений) различного типа в зависимости от конкретного вида применения (например, наземная синоптическая станция, аэрологическая станция, климатологическая станция и т. д.). Космическая подсистема включает ряд космических аппаратов, осуществляющих зондирование из космоса, и связанный с ними наземный комплекс для управления, контроля и приема данных. Последующие пункты и главы настоящего Руководства посвящены наземной подсистеме и, в меньшей степени, космической подсистеме. Для выведения данных в результате определенных космических наблюдений автоматизированными системами, например данных о текущей погоде, необходимо так называемая концепция «мультисенсора», когда используется алгоритм для расчета результата по выходным данным нескольких датчиков.

1.3 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

В публикации ВМО (2010*e*) подробно изложены требования в отношении тех величин, за которыми должны проводиться наблюдения в соответствии с типом станции наблюдательной сети. В настоящем разделе рассматриваются требования к наблюдениям, проводимым типовой климатологической или синоптической станцией наземной сети наблюдений.

На станции, предназначенной для приземных наблюдений, проводятся наблюдения за следующими величинами (указаны главы части I Руководства):

Текущая погода (глава 14)
Прошедшая погода (глава 14)
Направление и скорость ветра (глава 5)
Облачность (количество облаков) (глава 15)
Тип облачности (глава 15)
Высота нижней границы облаков (глава 15)
Видимость (глава 9)
Температура воздуха (глава 2)
Относительная влажность (глава 4)
Атмосферное давление (глава 3)
Осадки (глава 6)
Снежный покров (глава 6)
Солнечное сияние и/или солнечное излучение (главы 7, 8)
Температура почвы (глава 2)
Испарение (глава 10)

Существуют приборы, с помощью которых можно измерить все эти величины, за исключением формы облаков. Однако при наличии современной технологии приборы для наблюдения за текущей и прошедшей погодой, количеством и высотой облаков, а также снежным покровом, не могут осуществлять наблюдения за всем спектром данных явлений, в то время как это могут сделать наблюдатели.

На некоторых метеорологических станциях проводятся аэрологические измерения (часть I, главы 12 и 13), измерения влажности почвы (часть I, глава 11), озона и состава атмосферы (часть I, глава 16), а на некоторых из них используются системы специальных приборов, описанные в части II настоящего Руководства.

Подробные сведения о методах наблюдения и необходимом приборном обеспечении содержатся в последующих главах настоящего Руководства.

1.3.1 Автоматические метеорологические станции

Большинство метеорологических величин, необходимых для синоптических, климатологических и аэронавигационных целей, могут быть измерены при помощи автоматического приборного обеспечения (часть II, глава 1).

По мере расширения возможностей автоматических систем постоянно увеличивается соотношение между полностью автоматизированными метеорологическими станциями и метеорологическими станциями, обслуживаемыми наблюдателями (с автоматическим приборным обеспечением или без него). Изложенные в последующих пунктах рекомендации относительно размещения и установки приборов, замены приборного обеспечения, а также выполнения инспекций и обслуживания, применимы в равной мере как к автоматическим метеорологическим станциям, так и к метеорологическим станциям, обслуживаемым персоналом.

1.3.2 Наблюдатели

Услуги наблюдателей-метеорологов необходимы по ряду следующих причин:

a) проведение с помощью соответствующих приборов синоптических и/или климатологических наблюдений с необходимой степенью неопределенности и репрезентативности;

b) поддержание в хорошем состоянии приборов, документации метаданных и пунктов наблюдения;

c) кодирование и передача результатов наблюдений (при отсутствии автоматических систем кодирования и связи);

d) обслуживание регистрирующих устройств на местах, включая замену, при необходимости, регистрационных лент;

e) подготовка или сбор недельных и/или месячных сводок климатологических данных в случае отсутствия или неадекватности автоматических систем;

f) обеспечение дополнительных или дублирующих наблюдений в тех случаях, когда автоматическое оборудование не позволяет проводить наблюдения за всеми необходимыми величинами или когда оно выходит из строя;

g) реагирование на запросы населения и специалистов.

Наблюдатели должны пройти профессиональную подготовку и/или быть аттестованы уполномоченной метеорологической службой для констатации их компетенции проводить наблюдения в соответствии с требуемыми стандартами. Они должны быть способны интерпретировать инструкции по использованию приборного обеспечения и ручных методов работы, применяемых к их собственным конкретным системам наблюдений. Руководящие указания относительно требований к профессиональной подготовке наблюдателей в области использования приборного обеспечения будут изложены в части IV, глава 5.

1.3.3 Размещение и установка приборов

1.3.3.1 *Выбор места размещения*

Метеорологические станции организуются таким образом, чтобы репрезентативные измерения (или наблюдения) можно было проводить в соответствии с типом данной станции. Так на станции, входящей в синоптическую сеть, должны проводиться наблюдения для удовлетворения потребностей в данных в синоптическом масштабе, в то время как на авиационной метеорологической наблюдательной станции должны проводиться наблюдения, дающие описания конкретных условий для местного пункта (аэродрома). В тех случаях, когда станции используются для нескольких целей, например для целей авиации, синоптических и климатологических целей, то наиболее строгое требование будет диктовать точное положение места наблюдений и соответствующих средств измерений. Подробное исследование вопроса о размещении и установке приборов содержатся в публикации ВМО (WMO, 1993).

В качестве примера приводятся следующие соображения, касающиеся требований к выбору места размещения и установки приборов на типовой синоптической или климатологической станции в региональной или национальной сети:

a) метеорологические приборы следует устанавливать на ровном участке земли желательно размером не менее 25 м x 25 м, на котором имеется множество установок, однако в тех случаях, когда имеется относительно небольшое число установок (как на рисунке 1.1), данная площадка может быть меньшей, например 10 м x 7 м (огороженное место). Участок должен быть покрыт короткотравьем или иметь поверхность, характерную для данной местности, и быть окруженным оградой открытого типа или дощатым забором, исключающими проникновение посторонних лиц. Внутри огороженного пространства участок оголенной земли размером примерно 2 м x 2 м резервируется для проведения наблюдений за состоянием поверхности почвы и за ее температурой на глубинах равных или менее 20 см (часть I, глава 2) (температура почвы на глубинах более 20 см измеряется за пределами этого оголенного участка земли). Пример плана-схемы подобной станции приводится на рисунке 1.1 (взято из публикации ВМО, 2010*c*);

b) поблизости не должно быть крутых склонов и само данное место не должно находиться в низине. Если эти условия не соблюдаются, то данные наблюдений могут отражать особенности, имеющие только локальное значение;

c) месторасположение должно находиться далеко от деревьев, зданий, стен или других препятствий. Расстояние от любого такого препятствия (включая ограждение участка) до осадкомера должно быть как минимум в два раза, а предпочтительно в четыре раза больше высоты данного объекта над краем осадкомера;

d) гелиограф, осадкомер и анемометр должны устанавливаться в соответствии с их техническими требованиями, предпочтительно на той же площадке, что и другие измерительные приборы;

e) следует отметить, что огороженный участок может не быть наиболее хорошо подготовленным местом для оценки скорости и направления ветра; требуемым может оказаться выбор еще одного наблюдательного пункта, который более открыт для воздействия ветра;

f) наиболее открытые места, которые являются удовлетворительными для большинства измерительных приборов, не подходят для осадкомеров. В таких местах количество попавших в осадкомер осадков уменьшается в условиях иных, нежели слабый ветер, и поэтому необходимо наличие определенной защиты для осадкомера;

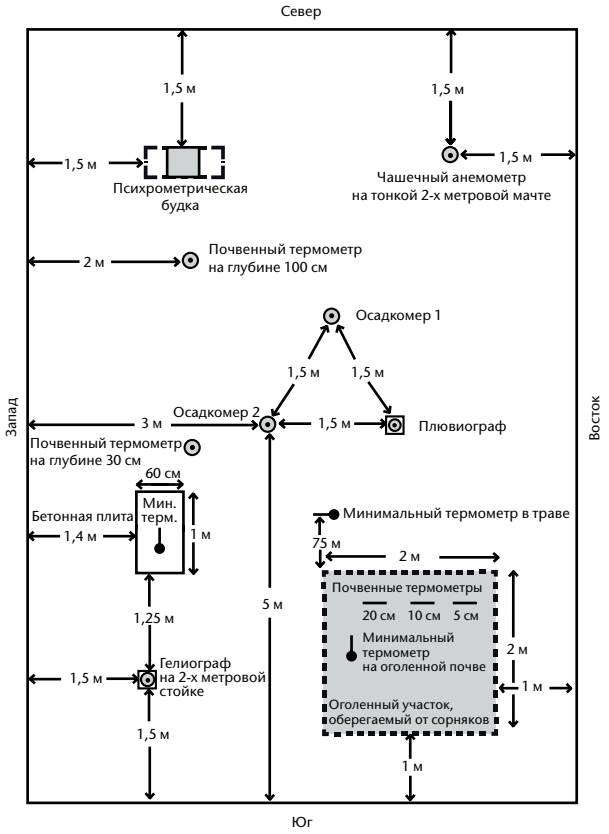


Рисунок 1.1. Схема планировки размещения приборов на наблюдательной метеорологической площадке станции в северном полушарии и минимальные удаления между установками

g) если рядом с оградой площадки на некотором расстоянии расположены такие объекты, как деревья или здания, в значительной мере закрывающие горизонт, следует выбрать альтернативные пункты обзора для проведения наблюдений за солнечным сиянием или излучением;

h) позиция, используемая для наблюдений за облаками и видимостью, должна быть как можно более открытой и обеспечивать максимально возможный обзор неба и окружающей местности;

i) в случае прибрежных станций желательно, чтобы на станции обеспечивался обзор открытого моря. Однако станция не должна находиться слишком близко от края обрыва, поскольку завихрения ветра, создаваемые этим обрывом, будут влиять на результаты измерений ветра и количества осадков;

j) наблюдения за облачностью и видимостью в ночное время лучше всего проводить из места, не затронутого посторонним освещением.

Очевидно, что некоторые из вышеприведенных соображений являются несколько противоречивыми и требуют компромиссных решений. В последующих главах приводится подробная информация, касающаяся конкретных приборов и измерений.

1.3.3.2 *Координаты станции*

Месторасположение станции, ссылка на которое делается во Всемирной геодезической системе 1984 г. (ВГС-84) и ее Геодезической модели Земли 1996 г. (ГМ96), должно быть точно известно и зарегистрировано[3]. Координатами станции являются (в соответствии с требованиями публикации ВМО, 2010*c*):

a) широта в градусах, минутах и целых секундах;

b) долгота в градусах, минутах и целых секундах;

c) высота станции над средним уровнем моря[4], т. е. расстояние по вертикали от этого уровня до станции, определенная с точностью до метра (до двух десятичных знаков).

Эти координаты относятся к тому участку земли, на котором проводятся наблюдения, и они могут не совпадать с координатами города, деревни или аэродрома, по которым названа данная станция. Если требуется более высокое разрешение координат, то можно использовать ту же практику, что применяют к высоте, как это объясняется ниже.

Высота станции определяется как расстояние по вертикали между средним уровнем моря того участка земли, на котором установлен осадкомер, или, если осадкомер отсутствует, то участком, на котором размещена метеорологическая будка. Если нет ни осадкомера, ни метеорологической будки, то это средний уровень территории вблизи станции. Если со станции поступает информация о давлении, то должна конкретно указываться высота, на которой определяется атмосферное давление на станции. Это тот уровень, к которому относятся значения барометрического давления на станции; такие барометрические величины называются «давление на уровне станции» и означают ссылку на данный уровень с целью сохранения непрерывности рядов данных по атмосферному давлению (WMO, 2010*f*).

Если станция находится на аэродроме, то должны также указываться другие высоты (см. часть II, глава 2, и WMO, 2014). Определения мер высоты и среднего уровня моря даны в публикации ВМО (1992).

1.3.3.3 *Эксплуатация оборудования в экстремальных условиях окружающей среды*

Непрерывные наблюдения во время и после экстремальных гидрометеорологических явлений имеют исключительную важность как для поддержки деятельности по восстановлению, так и для обеспечения готовности к будущим явлениям. Стратегии смягчения последствий для наиболее распространенных опасных явлений описаны в приложении 1D.

1.3.4 Замены приборного обеспечения и однородность показаний приборов

Характеристики места для проведения наблюдений, как правило, со временем меняются, например в результате роста деревьев или возведения зданий на соседних участках. Эти места следует выбирать таким образом, чтобы по возможности свести к минимуму эти воздействия. В качестве компонента метаданных следует вести и регулярно обновлять документацию по географии данного места и его подверженности воздействиям (см. приложение 1.C и WMO, 2003).

---

[3] Объяснение ВГС-84 и вопросы регистрации, см. ИКАО (ICAO, 2002).

[4] Средний уровень моря (СУМ) определяется в публикации ВМО (1992). Фиксированным исходным уровнем СУМ должен быть хорошо определенный геоид, такой как Геодезическая модель Земли 1996 г. ВГС-84 (ГМ96) [Геоид: эквипотенциальная поверхность гравитационного поля Земли, которая лучше всего совпадает с глобальным СУМ, рассчитанному по методу наименьших квадратов].

Особенно важно свести к минимуму последствия замен приборов и/или изменений в размещении конкретных приборов. Хотя статические характеристики новых приборов могут быть, вероятно, хорошо известны, при оперативном размещении приборов они могут внести очевидные изменения в климатологию места размещения. Для того, чтобы предотвратить подобную возможность, данные наблюдений от новых приборов следует сравнивать на протяжении длительного периода времени (по меньшей мере не менее одного года; см. *Руководство по климатологической практике* (ВМО, 2011*a*)) с данными старой системы измерений, перед тем как последняя будет снята с эксплуатации. То же правило применяется, когда происходит смена места для проведения наблюдений. В тех случаях, когда практически невозможно осуществить данную процедуру во всех местах проведения наблюдений, весьма важно проводить сравнения в выбранных репрезентативных местах, с тем чтобы попытаться уменьшить погрешности в данных измерений, которые могут быть следствием изменения технологии или вынужденной смены места наблюдений.

1.3.5 Инспекция и обслуживание

1.3.5.1 *Инспекция станций*

Все синоптические наземные станции и основные климатологические станции следует инспектировать не реже одного раза в два года. Агрометеорологические и специальные станции следует инспектировать с достаточно короткими интервалами, с тем чтобы обеспечить поддержание высокого качества наблюдений и правильного функционирования приборов.

Основная цель таких инспекций заключается в том, чтобы установить следующие факты:

a) местоположение и установка приборов известны и приемлемы и должным образом задокументированы;

b) приборы являются утвержденными образцами, находятся в хорошем состоянии и, при необходимости, регулярно поверяются по соответствующим эталонам;

c) соблюдается единообразие в методах наблюдений и в процедурах расчета количественных значений данных наблюдений;

d) наблюдатели обладают соответствующей квалификацией для выполнения своих обязанностей;

e) информация, входящая в состав метаданных, актуализирована.

Дополнительная информация о стандартизации приборов приведена в разделе 1.5.

1.3.5.2 *Обслуживание*

Места и приборы для проведения наблюдений должны обслуживаться на регулярной основе, с тем чтобы качество наблюдений заметно не ухудшалось в интервалах между инспекциями станций. Графики планового (профилактического) обслуживания включают регулярную «уборку» в местах проведения наблюдений (например, стрижку травы и очистку подверженных воздействиям поверхностей приборов) и рекомендованные производителем проверки работы автоматических приборов. Плановые проверки в рамках контроля качества, проводимые как на самой станции, так и в центральном пункте, следует проводить таким образом, чтобы дефекты в работе оборудования обнаруживались на самой ранней стадии их появления. В зависимости от характера дефектов или типа станции корректирующее обслуживание (замена оборудования или ремонт) должно проводиться в соответствии с согласованными приоритетами и временными масштабами. В отношении метаданных особенно важно регистрировать

в журнале дефекты приборов, изменения в установке приборов и предпринятые корректирующие действия в тех случаях, когда данные наблюдений используются для климатологических целей.

Дополнительную информацию об инспекции и менеджменте станций можно найти в публикации ВМО (2010*c*).

1.4 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРИБОРАМ

1.4.1 Желательные характеристики

Наиболее важные требования к метеорологическим приборам касаются следующих их характеристик:

a) погрешность, в соответствии с установленным требованием для конкретной переменной;

b) надежность и стабильность;

c) удобство эксплуатации, калибровки и обслуживания;

d) простота конструкции (в соответствии с требованиями);

e) долговечность;

f) приемлемая стоимость прибора, расходных материалов и запчастей;

g) безопасность для персонала и окружающей среды.

В отношении первых двух характеристик важно, чтобы прибор обеспечивал заданную точность в течение длительного времени. Это намного лучше, чем когда высокий уровень исходной точности (означающий малую погрешность) невозможно сохранить в условиях последующей длительной эксплуатации.

Первоначальные калибровки приборов выявляют, как правило, отклонения от идеального результата, что ведет к необходимости введения поправок в данные в ходе обычных операций. Важно, чтобы сведения о таких поправках поставлялись вместе с приборами и хранились вместе с ними в пункте наблюдения, а также чтобы для наблюдателей были обеспечены четкие руководящие инструкции по их использованию.

Простота и прочность конструкции, удобство в эксплуатации и обслуживании приборов являются важными их характеристиками, поскольку большинство метеорологических приборов могут использоваться весьма продолжительное время и при этом находиться далеко от мест ремонта. Прочность конструкции особенно желательна для тех приборов, которые полностью или частично находятся под воздействием погодных условий. Обеспечение перечисленных характеристик приборов обычно позволяет уменьшить затраты на проведение качественных наблюдений и компенсировать таким образом первоначальные вложения средств.

При использовании приборов, содержащих опасные химические вещества, должны применяться соответствующие правила техники безопасности (см., в частности, руководящие указания по ртути (часть I, глава 3, 3.2.7) и опасным химическим веществам (часть II, глава 8, 8.5 и 8.6). В октябре 2013 г. вступила в силу Минаматская конвенция по ртути Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП), которая окажет значительное влияние на использование ртути для метеорологических применений.

1.4.2 Самописцы

Во многих моделях самописцев, применяемых в метеорологии, реакция чувствительного элемента усиливается рычагами, заставляющими перо передвигаться по ленте, закрепленной на барабане с часовым механизмом. При работе таких самописцев следует обеспечивать максимально возможное отсутствие трения, причем не только в подшипниках, но также между пером и бумагой. Следует предусмотреть определенные технические возможности для регулирования давления пера на бумагу, однако это давление должно сводиться к минимуму, обеспечивающему непрерывный четкий след от чернил (пасты) на ленте. Следует также предусмотреть возможность нанесения на лентах самописцев отметок времени. При конструировании самописцев для использования в холодном климате особое внимание следует уделять тому, чтобы на эффективности их работы не сказывалось влияние сильных холодов и влажности и чтобы плановые процедуры (нанесение отметок времени и т. д.) могли бы выполняться наблюдателями в перчатках.

Необходимо регулярное сравнение работы самописцев с работой приборов прямого считывания.

Все шире используются электронные самописцы с магнитной лентой или микросхемами на полупроводниках. Многие из вышеприведенных требований, касающихся подшипников, трения и обслуживания в холодную погоду, относятся и к механическим компонентам таких приборов.

1.5 ЭТАЛОНЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1.5.1 Определения эталонов измерений

Термин «эталон» и другие аналогичные термины означают различные приборы, методы и шкалы, используемые для установления неопределенности измерений. Номенклатура эталонов измерений приводится в *Международном словаре по метрологии — Основные и общие понятия и соответствующие термины (VIM)*, который был подготовлен совместно Международным бюро мер и весов (МБМВ), Международной электротехнической комиссией (МЭК), Международной федерацией клинической химии и лабораторной медицины (МФКХ), Международной кооперацией по аккредитации лабораторий (ИЛАК), Международной организацией стандартизации (ИСО), Международным союзом чистой и прикладной химии (МСЧПХ), Международным союзом чистой и прикладной физики (МСЧПФ) и Международной организацией законодательной метрологии (МОЗМ), и был опубликован Объединенным комитетом по руководствам в метрологии (ОКРМ). Существующим в настоящее время вариантом является публикация ОКРМ 200:2012, имеющаяся по адресу: http://www.bipm.org/en/publications/guides/vim.html. Ниже приводятся некоторые из определений:

Эталон измерения: реализация определения заданного количества с установленной оценкой количества и связанной с ними неопределенностью измерений, служащие в качестве образца.

Пример 1: Эталон измерения массы 1 кг с соответствующей погрешностью измерений эталоном в 3 мкг.

Пример 2: Эталонный резистор измерений номиналом в 100 Ом с соответствующей погрешностью эталонного измерения в 1 мкОм.

Международный эталон измерений (международный эталон): эталон измерений, признанный сторонами, подписавшими международное соглашение, и предназначенный для использования в мировом масштабе.

Пример 1: Международный прототип килограмма.

Национальный эталон измерений (национальный эталон): эталон измерений, признанный национальным органом в государстве или экономике в качестве основы для установления количественных значений для других эталонов измерений для соответствующего вида количества.

Первичный эталон измерений (первичный эталон): эталон измерений, установленный с использованием процедуры первичных эталонных измерений или созданный в качестве артефакта, и выбранный в соответствии с соглашением.

Пример 1: Первичный эталон измерений концентрации количества вещества, подготовленной путем растворения известного количества вещества химического компонента в известном объеме раствора.

Пример 2: Первичный эталон измерений для давления, основанный на отдельных измерениях силы и площади.

Вторичный эталон измерений (вторичный эталон): эталон измерений, установленный путем калибровки относительно первичного эталона измерений для количества того же типа.

Образцовый эталон измерений (образцовый эталон): эталон измерений, предназначенный для калибровки других эталонов измерений для количеств данного типа в конкретной организации или в конкретном месте.

Рабочий эталон измерений (рабочий эталон): эталон измерений, который используется на плановой основе для калибровки или проверки измерительных приборов или измерительных систем.

Примечания:
1. Рабочий эталон измерений обычно калибруется путем сравнения с образцовым эталоном измерений.
2. В отношении верификации также иногда используются термины «проверочный эталон» или «контрольный эталон».

Переходное средство измерений (переходное средство): средство, используемое в качестве промежуточного для сравнения эталонов измерений.

Примечание: В некоторых случаях эталоны измерений используются в качестве переходных средств.

Транспортируемый эталон измерений (транспортируемый эталон): эталон измерений, имеющий иногда специальную конструкцию и предназначенный для транспортировки между различными пунктами.

Групповой эталон: набор аналогичных физических величин или измерительных приборов, выполняющих при их совместном использовании роль эталона.

Пример: Всемирный радиометрический справочник.

Примечания:
1. Групповой эталон обычно предназначается для установления единственного значения количества.
2. Величина, определяемая групповым эталоном, является соответствующим результатом усреднения величин, измеренных отдельными приборами.

Прослеживаемость: свойство результата измерений или значения эталона, благодаря которому они могут быть соотнесены с установленными образцами, обычно национальными или международными эталонами, на основе непрерывной цепи сравнений, которые все обладают установленными погрешностями.

Метрологическая прослеживаемость: свойство результата измерений, благодаря которому данный результат может быть соотнесен с образцом благодаря документированной непрерывной цепи калибровок, при этом каждый из них вносит вклад в погрешность измерений.

Калибровка: операция, которая при определенных условиях устанавливает в первую очередь соотношение между количественными величинами с погрешностями измерений, обусловленных эталонами измерений и соответствующими указаниями связанных с этими погрешностями измерений, и, во вторую очередь, использует эту информацию для установления соотношения с целью получения результата измерений из определенного показания.

Примечания:

1. Результат калибровки может быть выражен в виде заявления, функции калибровки, диаграммы калибровки, кривой калибровки или таблицы калибровки. В некоторых случаях она может заключаться в дополнительной или мультипликативной поправке показания с соответствующей погрешностью измерения.
2. Калибровку не следует путать с корректировкой системы измерений, которую часто ошибочно называют «самокалибровкой», а также с верификацией калибровки.

1.5.2 Процедуры стандартизации

Для того чтобы эффективно контролировать стандартизацию метеорологических приборов в национальном и международном масштабах, ВМО была принята система национальных и региональных эталонов. Стандартизация метеорологических измерений и связанных с ними измерений параметров окружающей среды и обеспечение прослеживаемости эталонов отдельных Членов ВМО к Международной системе единиц (СИ) могут быть поддержаны региональными центрами по приборам (приложение 1.A). Места нахождения региональных эталонов для измерения атмосферного давления и солнечной радиации указаны в главе 3 части I (приложение 3.B) и главе 7 части I (приложение 7.C) соответственно. Как правило, региональные эталоны назначаются региональными ассоциациями, а национальные эталоны — отдельными Членами ВМО. Если специально не оговорено иное, приборы, принятые в качестве региональных и национальных эталонов, должны сравниваться посредством транспортируемых эталонов сравнения, по меньшей мере, один раз каждые пять лет. Приборы, используемые в качестве транспортируемых эталонов сравнения, не обязательно должны обладать погрешностью первичных или вторичных эталонов; они должны быть, тем не менее, достаточно прочными и устойчивыми, чтобы выдерживать транспортировку без изменения своей калибровки.

Аналогичным образом приборы, используемые на оперативной основе в Службе, должны периодически сравниваться, прямо или косвенно, с национальными эталонами. Сравнения приборов внутри Службы проводят по мере возможности в момент поступления приборов на станцию и потом в ходе каждой регулярной инспекции на станции, как это рекомендовано в разделе 1.3.5. Переносные эталонные приборы, используемые инспекторами, должны сличаться с эталонными приборами Службы до и после каждой инспекции.

Оперативные приборы с различными конструкциями (или принципами действия) должны сопоставляться друг с другом, с тем чтобы обеспечить однородность данных измерений по времени и пространству (см. раздел 1.3.4).

1.5.3 Условные обозначения, единицы измерения и константы

1.5.3.1 *Условные обозначения и единицы измерения*

Результатом приборных измерений являются цифровые величины. Цель этих измерений заключается в получении физических или метеорологических количественных значений,

отражающих состояние атмосферы в конкретном месте. Для целей метеорологической практики показания приборов отражают такие переменные величины, как «атмосферное давление», «температура воздуха» или «скорость ветра». Переменная величина с условным обозначением a обычно представляется в виде $a = \{a\} \cdot [a]$, где $\{a\}$ означает цифровое значение и [a] — условное обозначение данной единицы. Общие принципы, касающиеся количеств, единиц измерения и условных обозначений, констатируются в публикациях ISO (2009) и IUPAP (1987). Международной системой единиц следует пользоваться в качестве системы единиц измерения для оценки метеорологических величин, включенных в доклады о международном обмене. Эта система публикуется и обновляется BIPM (2006). Руководства по использованию системы СИ выпускаются Национальным институтом стандартов и технологии (NIST, 2008) и ISO (2009). С переменными величинами, не определенными в качестве международного условного обозначения в Международной системе количественных величин (ISQ), но широко применяемыми в метеорологии, можно ознакомиться в *Международных метеорологических таблицах* (ВМО, 1966) и соответствующих главах настоящего Руководства.

При проведении метеорологических наблюдений следует использовать следующие единицы:

a) атмосферное давление, p, в гектопаскалях (гПа);[5]

b) температура, t, в градусах Цельсия (°C) или T в кельвинах (K);

Примечание: шкалы температур в градусах Цельсия и кельвинах должны соответствовать действующему определению Международной шкалы температур (МШТ-90, см. BIPM, 1990).

c) скорость ветра, как при приземных, так и при аэрологических наблюдениях, в метрах в секунду ($м \cdot с^{-1}$);

d) направление ветра в градусах по часовой стрелке от направления на истинный север или по шкале 0–36, где 36 — это ветер истинного северного направления и 09 — это ветер истинного восточного направления (°);

e) относительная влажность, U, в процентах (%);

f) осадки (общее количество) в миллиметрах (мм) или килограммах на квадратный метр ($кг \cdot м^{-2}$);[6]

g) интенсивность осадков, R_i, в миллиметрах в час ($мм \cdot ч^{-1}$) или килограммах на квадратный метр в секунду ($кг \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$);[7]

h) эквивалент снеговой воды в килограммах на квадратный метр($кг \cdot м^{-2}$);

i) испарение в миллиметрах (мм);

j) видимость в метрах (м);

k) энергетическая освещенность в ваттах на квадратный метр и энергетическая экспозиция в джоулях на квадратный метр($Вт \cdot м^{-2}$, $Дж \cdot м^{-2}$);

l) продолжительность солнечного сияния в часах (ч);

m) высота облаков в метрах (м);

---

[5] Единица измерения «паскаль» является производной единицей СИ для величины давления. Данная единица и условное обозначение (бар) — это единица измерения вне системы СИ; в любом документе, в котором она используется, эта единица измерения (бар) должна определяться по отношению к системе СИ. Ее постоянное использование не рекомендуется. По определению, 1 мбар (миллибар) = 1 гПа (гектопаскаль).

[6] Предполагает, что 1 мм равен 1 $кг \cdot м^{-2}$ независимо от температуры.

[7] Рекомендация 3 (КОС-XII), приложение 1, принята резолюцией 4(ИС-LIII).

n) количество облаков в октантах;

o) геопотенциал, используемый в аэрологических наблюдениях, в стандартных геопотенциальных метрах (гп. м).

Примечание: высота, уровень или расстояние уровня представлены относительно определенного эталона. Характерными эталонами являются средний уровень моря (СУМ), высота станции и уровень давления 1 013,2 гПа.

Стандартный геопотенциальный метр определяется как 0,980 665 динамического метра; для уровней в тропосфере геопотенциал примерно соответствует в численном выражении высоте, выраженной в метрах.

1.5.3.2 ***Константы***

Для использования в метеорологии приняты следующие константы:

a) абсолютная температура замерзания T_0 = 273,15 K (t = 0,00 °C);

b) абсолютная температура тройной точки воды T = 273,16 K (t = 0,01 °C), по определению ИТС-90;

c) ускорение свободного падения (g_n) = 9,806 65 м·с$^{-2}$;

d) плотность ртути при 0 °C = 1,359 51·10^4 кг·м$^{-3}$.

Величины других констант приведены в публикациях ВМО (1966, 2011*b*).

1.6 ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

1.6.1 Метеорологические измерения

1.6.1.1 ***Общие сведения***

В настоящем разделе рассматриваются определения, относящиеся к оценке точности и неопределённости измерения погрешностей, при физических измерениях, и в заключении в нем излагаются заявления о требуемых и достижимых погрешностях в метеорологии. Прежде всего в нем рассматриваются некоторые вопросы, которые возникают конкретно при метеорологических измерениях.

Термин *измерение* подробно определяется в разделе 1.6.2, однако в большинстве случаев в настоящем Руководстве он используется в менее строгом смысле для обозначения процесса измерения или его результата, который может также называться данными «наблюдений». Примером является единичное измерение, обычно одно из ряда точечных или мгновенных показаний системы датчиков, из которых получают осредненное или сглаженное значение, используемое в качестве данных наблюдений. Более теоретический подход к настоящему обсуждению см. часть IV, главы 2 и 3.

Термины *точность*, *ошибка*, *погрешность* и *неопределенность* подробно определены в разделе 1.6.2, в котором объясняется, что точность является понятием качества, численным выражением которого является погрешность. Это является эффективной практикой и формой, которой придерживаются в настоящем Руководстве. Ранее общепринятое и менее точное понятие точности определялось как «точность ±x», которое следует понимать как «погрешность x».

1.6.1.2 ***Источники и оценки погрешности***

В последующих главах настоящего Руководства рассматриваются конкретно источники погрешностей при различных метеорологических измерениях, однако в целом можно считать, что они накапливаются по всей цепи получения результатов измерений, начиная от приборных ошибок и заканчивая условиями измерения.

Рассматривая вопрос о том, как возникают погрешности, удобно в качестве примера взять температуру воздуха; но при этом нетрудно адаптировать приводимые ниже аргументы к атмосферному давлению, ветру и другим метеорологическим величинам. В случае температуры источниками погрешности при индивидуальных измерениях являются следующие факторы:

a) погрешности в международных, национальных и рабочих эталонах и при сравнениях между ними. Эти погрешности можно практически не принимать в расчет для метеорологических применений;

b) погрешности, возникающие в ходе проведения сравнений между рабочими эталонами, транспортируемыми эталонами и/или эталонами проверки и полевыми приборами в лаборатории или в водяных термостатах в полевых условиях (если прослеживаемость обеспечивается именно таким образом). Если все действия производятся надлежащим образом, то эти погрешности незначительны (например, погрешность ±0,1 K при уровне достоверности 95 %, включая погрешности, указанные в пункте «a», однако они могут и легко возрасти в зависимости от квалификации оперативного работника и качества оборудования;

c) нелинейность, дрейф, повторяемость и воспроизводимость в используемом термометре и его преобразовательном механизме (в зависимости от типа элемента термометра);

d) эффективность теплообмена между элементом термометра и воздухом в метеорологической будке, которая должна обеспечивать тепловое равновесие между термометром и воздухом (в зависимости от системы временной константы или коэффициента запаздывания). В хорошо сконструированной, вентилируемой психрометрической будке эта погрешность будет совсем незначительной, однако в противном случае она может быть серьезной;

e) эффективность психрометрической будки, которая должна обеспечивать равенство температуры воздуха внутри нее и температуры воздуха, непосредственно окружающего будку. В хорошо сконструированной будке эта погрешность невелика, однако в конкретных обстоятельствах разница температур в эффективной и неэффективной будках может достигать 3 °C и даже больше;

f) установка будки, которая должна обеспечивать ее размещение в репрезентативных температурных условиях того региона, который подлежит мониторингу. Наличие поблизости источников и поглотителей тепла (здания, другие нерепрезентативные поверхности ниже и вокруг будки) и топография (холмы, границы между сушей и водой) могут вызвать значительные погрешности. Метаданные станции должны содержать четкое и регулярно обновляемое описание установки (см. приложение 1.C) для информирования пользователей данных о возможных погрешностях, связанных с установкой.

Как систематические, так и случайные погрешности, возникают на всех вышеупомянутых этапах. Воздействие источников погрешностей (d)–(f) может быть сведено к минимуму, если операции проводятся весьма осторожно и имеется подходящая территория для размещения приборов; в противном случае эти источники погрешностей могут способствовать возникновению весьма значительной погрешности. В то же время они иногда упускаются из вида при обсуждении погрешности, как будто при лабораторной калибровке датчика могут быть выявлены все погрешности полностью.

В метеорологии установление действительного значения является трудной задачей (Linacre, 1992). Хорошо продуманные сравнения приборов в полевых условиях дают возможность определить характеристики приборов, с тем чтобы дать правильную оценку погрешности, возникающей на указанных выше стадиях (a)–(e). Если организация станции была документирована должным образом, последствия неудачного выбора метеорологической площадки могут корректироваться систематически по определенным параметрам (например, ветер; см. WMO, 2002), и они должны оцениваться для других параметров.

Сравнение результатов наблюдений станций с результатами численного анализа полей, полученных на основе использования данных соседних станций, является эффективной оперативной процедурой контроля качества, если в данном регионе имеются достаточно надежные станции. Расхождения между данными отдельных наблюдений на станции и значениями, полученными путем интерполяции проанализированных полей, объясняются погрешностями интерполяции метеорологических величин, а также эффективностью работы самой станции. Однако для определенного периода средняя погрешность в каждой точке проанализированного поля может считаться равной нулю, если окружающие станции подходят для тщательного анализа. В таком случае может быть рассчитано среднее и стандартное отклонение различий между данными станции и проанализированного поля, и эти данные могут быть приняты в качестве погрешностей измерения станции (включая воздействия в результате установки приборов). В результате этого погрешность в оценке среднего значения измеряемой величины за продолжительный период времени может быть весьма незначительной (если не изменяются условия измерений на данной станции), и эти соображения лежат в основе исследований изменения климата.

1.6.2 Определения измерений и погрешностей измерений

Нижеследующая терминология, касающаяся точности измерений, основана на публикации ОКРМ (2012), в которой содержатся многие определения, применимые к практике метеорологических наблюдений. Очень полезное и подробное практическое руководство по расчету и выражению погрешности в измерениях содержится в ISO/IEC (2008)/JCGM (2008).

Измерение: процесс получения экспериментальным путем одного или более значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны физической величине.

Примечание: данные действия могут проводиться автоматически.

Результат измерения: совокупность значений величины, приписываемых измеряемой величине, вместе с любой другой доступной соответствующей информацией.

Примечания:

1. При указании результата следует четко разъяснить, относится ли он к показанию прибора, неоткорректированному или откорректированному результату, и был ли он получен осреднением нескольких значений.
2. Полное сообщение о результате измерения включает информацию о погрешности измерения.

Откорректированный результат: результат измерения после внесения поправки на систематическую ошибку.

Значение (физической величины): число и обозначение, выражающие вместе размер физической величины.

Пример: длина стержня: 5,34 м.

Действительное значение (физической величины): значение величины, соответствующее определению физической величины.

<истинное значение>=<измеренное значение>±<неопределенность>

Примечания:

1. Это то значение, которое будет получено при безупречно проведенном измерении.
2. Истинные значения по своему характеру не поддаются определению.

Точность (измерения): качественная характеристика, относящаяся к степени близости совпадения между измеренным значением величины и истинным значением измеряемой физической величины. Под точностью измерения иногда подразумевается степень близости совпадения между измеренными значениями величины, которые приписывают измеряемой величине. Можно говорить о приборе или измерении как имеющих высокую точность, однако количественная мера точности выражается в терминах неопределенности.

Неопределенность: неотрицательный параметр, характеризующий дисперсию значений величины, приписываемых измеряемой величине на основе использованной информации.

Повторяемость: степень совпадения показаний приборов или измеренных значений величины, полученных на одних и тех же или подобных объектах в совокупности условий, которые включают одинаковую процедуру измерений, тех же операторов, ту же систему наблюдений, те же условия эксплуатации и то же местонахождение, и повторные измерения в течение короткого промежутка времени.

Примечание: соответствующие статистические термины содержатся в публикациях ISO (1994*a*) и ISO (1994*b*).

Воспроизводимость: степень совпадения показаний приборов или измеренных значений величины, полученных на одних и тех же или подобных объектах в совокупности условий, которые включают различные местонахождения, операторов и системы измерений, и повторные измерения.

Погрешность (измерения): значение измеренной величины за вычетом опорного значения величины.

Приборные погрешности: среднее значение повторных показаний приборов за вычетом опорного значения величины.

Случайная погрешность: составляющая погрешности измерения, которая в повторных измерениях изменяется непредсказуемым образом.

Примечания:

1. Случайная погрешность измерения равна погрешности измерения за вычетом систематической погрешности измерения.
2. Опорное значение величины для случайной погрешности измерения представляет собой среднее значение, которое могло бы быть получено в результате бесконечного числа повторных измерений одной и той же измеряемой величины.

Систематическая погрешность: составляющая погрешности измерения, которая в повторных измерениях остается постоянной или изменяется предсказуемым образом.

Примечания:

1. Систематическая погрешность равна погрешности измерения за вычетом случайной погрешности измерения.
2. Как и в случае с действительным значением, невозможно получить полное представление о систематической погрешности и ее причинах.

Поправка: компенсация оцененного систематического эффекта.

Некоторые определения для удобства повторяются в части IV, глава 4.

1.6.3 **Характеристики приборов**

Ниже на основании публикации ОКРМ (2012) приведены некоторые другие свойства приборов, которые необходимо знать, оценивая их погрешность.

Чувствительность: отношение изменения в показаниях измерительной системы и соответствующего изменения в значении измеряемой величины.

Примечание: чувствительность измерительной системы может зависеть от значения измеряемой величины.

Порог реагирования: наибольшее изменение в значении измеряемой величины, которое не вызывает обнаруживаемых изменений в соответствующем показании прибора.

Разрешение: наименьшее изменение в измеряемой величине, которое вызывает ощутимое изменение в соответствующем показании прибора.

Гистерезис: свойство измерительного прибора реагировать на измеряемую величину в зависимости от того, каковы были ее предыдущие значения.

Стабильность (прибора): свойство измерительного прибора, благодаря которому его метрологические характеристики остаются постоянными с течением времени.

Дрейф: непрерывное или ступенчатое изменение показаний во времени вследствие изменения метрологических характеристик измерительного средства.

Время отклика при скачкообразном воздействии: время от момента, когда значение величины на входе средства измерений или измерительной системы скачкообразно изменяется между двумя определенными значениями постоянной величины, до момента, когда соответствующее показание прибора устанавливается в заданных пределах в районе своего конечного значения.

В метеорологии также часто используются следующие определения:

Указания на время ответной реакции: часто приводится период времени, необходимый для 90 % ступенчатого изменения. Иногда указывается на период времени, необходимый для 50 % ступенчатого изменения, в качестве половины времени.

Расчет времени ответной реакции: в большинстве простых систем ответная реакция на какое-либо ступенчатое изменение рассчитывается следующим образом:

$$Y = A\left(1 - e^{-t/\tau}\right) \tag{1.1}$$

где Y — величина изменения за истекшее время t; A — применяемая амплитуда ступенчатого изменения; t — время, прошедшее после ступенчатого изменения; τ — характеристический параметр системы, имеющий размерность времени.

Параметр τ называют постоянной времени или коэффициентом задержки. Он соответствует периоду времени, необходимому прибору для достижения $1/e$ от конечного постоянного значения после ступенчатого изменения.

В других системах ответная реакция носит более сложный характер и не рассматривается в настоящем документе (см. также часть IV, глава 2).

Погрешность задержки: погрешность, которая может быть присуща совокупности измерений в результате того, что для ответной реакции измерительного прибора необходимо определенное ограниченное время.

1.6.4 Погрешности измерения одного прибора

Для выражения и расчета неопределенностей следует воспользоваться публикацией ISO/IEC (2008)/JCGM (2008). Она содержит подробное практическое описание определений и методов представления информации, а также всеобъемлющее описание подходящих статистических методов с многочисленными иллюстративными примерами.

1.6.4.1 *Статистические распределения данных наблюдений*

Для определения погрешности любого отдельного измерения необходимо в первую очередь решить вопрос о статистическом подходе. С этой целью указываются следующие определения (ISO/IEC (2008)/JCGM (2008), ОКРМ, 2012):

a) стандартная погрешность;

b) расширенная погрешность;

c) дисперсия, стандартное отклонение;

d) статистический интервал охвата.

Если проведено n сравнений оперативного прибора, при которых измеряемая переменная величина и все другие значимые переменные остаются постоянными, если наилучшая оценка действительного значения устанавливается путем использования образцового эталона, и если измеряемая переменная величина имеет гауссово распределение[8], то результат можно представить в том виде, как это сделано на рисунке 1.2.

На этом рисунке T — это действительная величина; $\bar{O}$ — среднее значение, вычисленное по n значениям величины O, измеренным одним прибором; и σ — среднеквадратическое отклонение наблюдаемых величин от их средних значений.

В данном случае могут быть определены следующие характеристики:

a) систематическая погрешность, часто именуемая смещением, дается алгебраической разностью $\bar{O} - T$. Систематические погрешности невозможно исключить, но часто их можно уменьшить. Для компенсации систематического воздействия может применяться поправочный коэффициент. Обычно для исключения систематических погрешностей датчиков следует проводить надлежащие калибровки и корректировки. Систематические погрешности, вызванные воздействием условий окружающей среды или местом размещения, могут быть лишь уменьшены;

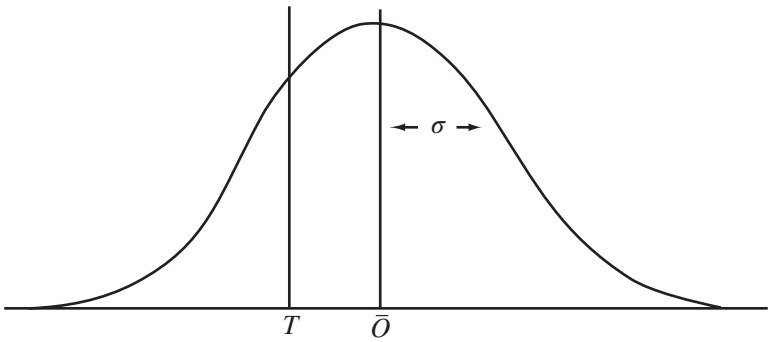


Рисунок 1.2. Распределение данных при инструментальном сравнении.

[8] Отметим, однако, что несколько метеорологических переменных не соответствуют гауссову распределению. См. раздел 1.6.4.2.3.

b) случайная погрешность, которая возникает в результате непредсказуемых или стохастических временных и пространственных колебаний. Степень этого случайного воздействия может быть выражена стандартным отклонением σ, определенным после проведения n измерений, где n должно быть достаточно большим. В принципе σ является мерой для неопределенности $\bar{O}$;

c) точность измерения, которая представляет собой степень совпадения результата измерения и действительного значения измеряемой величины. Точность измеряющего прибора — это способность давать ответы, близкие к истинному значению. Отметим, что понятие «точность» является качественным понятием;

d) погрешность измерения, которая представляет параметр, связанный с результатом измерения, характеризует дисперсию значений, которые могли бы быть разумно приписаны измеряемой величине. Неопределенности, связанные со случайными и систематическими воздействиями, которые порождают погрешность, могут оцениваться, с тем чтобы выразить погрешность измерения.

1.6.4.2 ***Оценка действительного значения***

В обычной практике данные наблюдений используются для того, чтобы оценить действительное значение. Если систематическая погрешность отсутствует или была исключена из данных, то оценкой для действительного значения может приблизительно служить среднее значение результатов большого числа правильно выполненных независимых измерений. В случае, когда число выполненных измерений невелико, их среднее значение имеет свое собственное распределение, и можно указать лишь на определенные пределы, внутри которых может находиться действительное значение. Для того чтобы сделать это, необходимо выбрать статистическую вероятность (уровень достоверности) для этих пределов и знать распределение погрешности средних значений.

Очень полезное и четкое описание оценки действительного значения и тесно связанных с ней вопросов представлено в работе Natrella (1966). Дальнейшее обсуждение этого вопроса содержится в работе Eisenhart (1963).

1.6.4.2.1 **Оценка действительного значения при большом *n***

В случае, когда число наблюдений n велико, распределение средних значений образцов является нормальным (гауссовым), даже если сами погрешности наблюдений таковыми не являются. В этом случае, а также когда известно, что распределение средних значений выборок является нормальным (гауссовым) в силу других причин, пределы, внутри которых может находиться действительное значение средней величины, получают из следующих уравнений:

верхний предел: $$L_U = \bar{X} + k \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{1.2}$$

нижний предел: $$L_L = \bar{X} - k \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{1.3}$$

где $\bar{X}$ — среднее из наблюдений $\bar{O}$, откорректированное на значение систематической погрешности; σ — среднеквадратическое отклонение для генеральной совокупности; k — коэффициент, соответствующий выбранному уровню достоверности, который может быть рассчитан при помощи функции нормального распределения.

Можно привести некоторые значения k:

Уровень достоверности	*90 %*	*95 %*	*99 %*
k	1,645	1,960	2,575

Уровень достоверности, использованный в приведенной выше таблице, определен для условия, когда действительное значение не превысит по величине ни один из конкретных пределов (верхний или нижний), которые должны быть рассчитаны. При указании уровня достоверности, при котором действительное значение будет находиться в интервале между двумя пределами, необходимо рассматривать обе зоны, находящиеся за верхним и нижним пределами. Учитывая это, видно, что k принимает значение 1,96 при вероятности 95 %, и что действительное значение средней величины находится между пределами L_U и L_L.

1.6.4.2.2 **Оценка действительного значения при небольшом *n***

В случае, когда n невелико, средние значения выборок соответствуют t-распределению Стьюдента при условии, что погрешности наблюдений имеют гауссово или близкое к гауссовому распределение. В этом случае, и для выбранного уровня достоверности, можно получить верхний и нижний пределы следующим образом:

верхний предел:
$$L_U \approx \bar{X} + t \cdot \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \tag{1.4}$$

нижний предел:
$$L_L \approx \bar{X} - t \cdot \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \tag{1.5}$$

где t — это коэффициент (t Стьюдента), который зависит от выбранного уровня достоверности и от числа измерений n; и $\hat{\sigma}$ — оценочное значение стандартного отклонения для генеральной совокупности, полученное на основе результатов измерений при помощи следующего уравнения:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \bar{X}\right)^2}{n-1} = \frac{n}{n-1} \cdot \sigma_0^2 \tag{1.6}$$

где X_i — отдельное значение O_i, откорректированное с учетом систематической погрешности.

Ниже приводятся некоторые значения t:

Уровень достоверности	*90 %*	*95 %*	*99 %*
df			
1	6,314	12,706	63,657
4	2,132	2,776	4,604
8	1,860	2,306	3,355
60	1,671	2,000	2,660

где df — это степени свободы, связанные с числом измерений следующим образом: $df = n - 1$. Уровень достоверности, используемый в данной таблице, определен для случая, когда действительное значение не превосходит по величине ни один из конкретных пределов (ни верхний, ни нижний), которые должны быть рассчитаны. Когда нужно указать доверительный уровень, при котором действительное значение находится между этими двумя пределами, необходимо поступить так же, как и в случае с большим n. С учетом этого становится ясно, что n принимает значение 2,306 при вероятности 95 % того, что действительное значение находится между пределами L_U и L_L, если для получения оценки проведено девять измерений ($df = 8$).

По мере увеличения n значения t приближаются к значениям k, и можно видеть, что значения k очень близки к значениям t, когда df равно 60. По этой причине в случаях, когда число измерений среднего значения превышает 60, нередко используются таблицы значений k (предпочтительнее, чем таблицы значений t).

1.6.4.2.3 **Оценка действительного значения — дополнительные замечания**

Исследователям следует учитывать, является ли распределение погрешностей гауссовым или нет. Распределение самих переменных величин, таких как солнечное сияние, видимость, влажность и высота нижней границы облачности, не является гауссовым, и их математическое описание должно основываться на правилах, действительных для каждого конкретного типа распределения (Brooks и Carruthers, 1953).

На практике данные наблюдений содержат как случайные, так и систематические ошибки. В каждом конкретном случае полученное в результате наблюдений среднее значение должно быть откорректировано с учетом систематической погрешности, если она известна. Когда это сделано, оценка действительного значения все же остается неточной из-за случайных погрешностей, как показано в уравнениях, и из-за неизвестной составляющей систематической погрешности. Для получения общей погрешности необходимо установить пределы для погрешности систематической погрешности и объединить их с пределами для случайных погрешностей. Однако до тех пор, пока неопределенность систематической погрешности не выражена в понятиях вероятности и подходящим образом не скомбинирована со случайной погрешностью, мы не можем знать уровень достоверности. Желательно, следовательно, чтобы систематическая погрешность была определена полностью.

1.6.4.3 ***Выражение погрешности***

Если случайные или систематические воздействия признаются, однако их уменьшение или поправки невозможны или не применяются, следует провести оценку итоговой погрешности измерения. Эта погрешность устанавливается после оценки погрешности, возникающей в результате случайных воздействий и несовершенной поправки результата систематических воздействий. Обычной практикой является выражение погрешности в качестве «суммарной погрешности» в связи со «статистическим интервалом охвата». Для того, чтобы соответствовать общепринятой в метрологии практике, 95 % доверительный уровень или $k = 2$ следует использовать для всех типов измерений, а именно:

$$<\textit{суммарная погрешность}> = k \cdot \sigma = 2 \cdot \sigma \qquad (1.7)$$

В результате этого действительное значение, определенное в разделе 1.6.2, будет выражено в следующем виде:

$$<\textit{действительное значение}> = <\textit{измеряемая величина}> \pm <\textit{суммарная погрешность}> = <\textit{измеряемая величина}> \pm 2\sigma$$

1.6.4.4 ***Измерения дискретных значений***

Хотя состояние атмосферы может быть хорошо описано при помощи физических переменных или количественных значений, ряд метеорологических явлений выражаются посредством дискретных значений. Характерными примерами подобных значений являются определение солнечного сияния, осадков или молнии, а также переохлажденных осадков. Все эти параметры могут быть выражены только словами «да» или «нет». В отношении ряда параметров, которые все являются членами группы существующих метеорологических явлений, существует несколько возможностей. Например, при передаче сообщений о текущей погоде требуется проведение различия между изморозью, дождем, снегом, градом и их сочетаниями. Для практики подобных видов неприемлемыми являются расчеты погрешности, аналогичные тем, о которых говорилось выше. Некоторые из этих параметров связаны с цифровым пороговым значением (например, обнаружение солнечного сияния с использованием интенсивности прямой радиации) и определение погрешности любой производной переменной (например, продолжительность солнечного сияния) можно рассчитать исходя из оценочной неопределенности переменной источника (например интенсивность прямой радиации). Однако этот метод применяется только для производных параметров, а не для типичных явлений текущей погоды. Несмотря на невозможность использования простого численного подхода, имеется целый ряд статистических методов для определения качества данных подобных

наблюдений. Подобные методы основаны на сравнениях двух комплектов данных, при этом один комплект определяется в качестве эталона. Результатом подобного сравнения является матрица сопряженности, представляющая перекрестные частоты взаимных явлений. В своей самой простой форме, когда переменная величина представляет собой булевулогическую переменную («да» или «нет»), подобная матрица представляет собой матрицу 2 x 2 с рядом равных событий в элементах по диагональной оси и «промахов» и «ложных тревог» в других элементах. Подобная матрица позволяет выводить проверочные показатели или индексы, которые должны отражать качество данных наблюдений. Этот метод описан Murphy and Katz (1985). Его обзор дается Kok (2000).

1.6.5 Требования к точности

1.6.5.1 *Общие сведения*

Погрешность, с которой должна измеряться какая-либо метеорологическая величина, зависит от той конкретной цели, для которой требуется измерение. В целом пределы эффективности измерительного устройства или системы будут определяться изменчивостью того параметра, который должен измеряться в пространственном и временном масштабах, подходящих для данного применения.

Результат любого измерения можно разложить на две составляющие — сигнал и шум. Сигнал предстоит определить, а шум — это составляющая, не имеющая отношения к измеряемой величине. Шум может возникать по нескольким причинам: в результате погрешности в данных наблюдений, из-за того, что наблюдения проводятся в неправильный срок и в неподходящем месте, или в связи с тем, что для наблюдаемой физической величины характерны короткопериодные или мелкомасштабные неоднородности, которые не имеют отношения к проводимым наблюдениям и поэтому должны быть сглажены. Если предположить, что ошибка в наблюдениях может быть устранена по желанию, то шум, связанный с другими причинами, обусловит предел для точности измерений. Дальнейшее совершенствование методов наблюдения позволит улучшить измерение шума, однако не приведет к значительному улучшению результатов по сигналу.

С другой стороны, прибор, погрешность которого превышает амплитуду самого сигнала, может дать мало информации об истинной величине или не дать ее совсем. Таким образом, амплитуды шума и сигнала служат соответственно для того, чтобы определить:

a) пределы эффективности, вне которых усовершенствование приборов не является необходимым;

b) пределы эффективности, ниже которых полученные данные не будут приниматься в расчет.

Эта тема о выявлении и определении вышеупомянутых пределов (a) и (b) была подробно рассмотрена для аэрологических данных в публикации ВМО (WMO, 1970). Однако требования к точности формулируются, как правило, не на основе подобных доводов, а на основе представлений, с одной стороны, о практически достижимой эффективности и, с другой стороны, о потребностях пользователей данных.

1.6.5.2 *Требуемая и достижимая эффективность*

Понятие эффективности измерительной системы охватывает ее надежность, капитальные и текущие расходы в течение срока ее службы, а также пространственное разрешение, однако рассматриваемая в настоящем документе эффективность ограничивается погрешностью измерений (включая пространственное разрешение) и разрешением по времени.

Существуют различные формулировки требований к эффективности, при этом как потребности, так и возможности изменяются со временем. Приведенные в приложении 1.E формулировки являются наиболее авторитетными на момент написания настоящей работы и могут быть приняты в качестве полезных рекомендаций для дальнейших разработок, хотя и не носят окончательного характера.

Требования в отношении переменных величин, наиболее часто используемых в синоптической, авиационной и морской метеорологии, а также в климатологии, представлены в обобщенном виде в приложении 1.E[9]. Перечисленные в нем требования касаются только приземных измерений, данные которых участвуют в международном обмене. В публикации ВМО (2010*d*) приводятся подробности о требованиях к данным наблюдений для центров Глобальной системы обработки данных и прогнозирования. Требование к погрешности при измерениях параметров ветра приведено отдельно для скорости и для направления ветра, поскольку в таком виде сообщаются данные о ветре.

Способность отдельных датчиков и систем наблюдения удовлетворять указанные потребности постоянно изменяется по мере развития приборного обеспечения и технологии наблюдений. Характеристики типичных датчиков или систем, которые используются в настоящее время, представлены в приложении 1.E[10]. Следует отметить, что во многих случаях достижимая оперативная погрешность не удовлетворяет указанным требованиям. Для некоторых из физических величин такие показатели погрешности достижимы лишь при наличии высококачественного оборудования и надлежащих процедур.

Требования, касающиеся погрешности при аэрологических измерениях, рассматриваются в части I, глава 12.

---

[9] Разработано Группой экспертов КОС по потребностям в данных с автоматических метеорологических станций (2004 г.) и утверждено президентом КПМН для включения в настоящее издание Руководства после консультации с президентами других технических комиссий.

[10] Разработано Группой экспертов КПМН по технологии приземных наблюдений и методам измерений (2004 г.) и утверждено президентом КПМН для включения в настоящее Руководство.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.A. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЦЕНТРЫ ПО ПРИБОРАМ

1. Учитывая необходимость регулярной калибровки и обслуживания метеорологических приборов в целях удовлетворения все возрастающих потребностей в высококачественных метеорологических и гидрологических данных, необходимость создания иерархии прослеживаемости измерений в соответствии со стандартами Международной системы единиц (СИ), потребности стран-членов в стандартизации метеорологических и соответствующих приборов для измерения параметров окружающей среды, необходимость в международных сравнениях и оценках приборов в поддержку всемирной совместимости и однородности данных, необходимость в профессиональной подготовке специалистов по приборам, а также ту роль, которую играют региональные центры по приборам (РЦП) в работе Глобальной системы систем наблюдений за Землей, Программе по предотвращению опасности и смягчению последствий стихийных бедствий и других междисциплинарных программах ВМО, было рекомендовано следующее:[1]

A. **Региональные центры по приборам, полностью оборудованные и выполняющие все функции,** должны обладать следующими возможностями для выполнения своих соответствующих функций:

Возможности:

a) РЦП должен иметь необходимые технические средства и лабораторное оборудование и иметь доступ к ним, с тем чтобы выполнять функции, необходимые для калибровки метеорологических и соответствующих приборов для измерения параметров окружающей среды;

b) РЦП должен обслуживать комплект стандартных метеорологических приборов и обеспечивать согласованность своих собственных стандартов измерений и измерительных приборов с системой единиц СИ;

c) РЦП должен иметь квалифицированный управленческий и технический персонал, обладающий необходимым опытом для выполнения своих функций;

d) РЦП должен разработать свои индивидуальные технические процедуры для калибровки метеорологических и соответствующих приборов для измерения параметров окружающей среды, пользуясь калибровочным оборудованием, применяемым РЦП;

e) РЦП должен разработать свои индивидуальные процедуры обеспечения качества;

f) РЦП должен участвовать в межлабораторных сравнениях стандартных калибровочных приборов и методов или организовывать эти сравнения;

g) РЦП должен, в необходимых случаях, использовать ресурсы и возможности Региона, согласно наивысшим интересам данного Региона;

h) РЦП должен, по мере возможности, пользоваться международными стандартами, применяемыми для калибровочных лабораторий, такими как ИСО/МЭК 17025;

i) авторитетный орган должен оценивать работу РЦП как минимум раз в пять лет для проверки его возможностей и эффективности.

---

[1] Рекомендовано Комиссией по приборам и методам наблюдений на ее четырнадцатой сессии, проведенной в 2006 г.

Соответствующие функции:

j) РЦП должен оказывать помощь странам-членам Региона в проведении калибровки их национальных метеорологических эталонов и соответствующих приборов для мониторинга окружающей среды;

k) РЦП должен участвовать в проводимых ВМО и/или региональных взаимных сравнениях приборов или организовывать их, следуя соответствующим рекомендациям КПМН;

l) согласно соответствующим рекомендациям относительно структуры менеджмента качества ВМО РЦП должен вносить позитивный вклад в деятельность стран-членов, связанную с качеством измерений;

m) РЦП должен консультировать Члены ВМО по запросам, касающимся эксплуатации и обслуживания приборов, а также наличия соответствующих руководящих материалов;

n) РЦП должен активно участвовать в организации региональных семинаров по метеорологическим и соответствующим приборам для измерения параметров окружающей среды или оказывать помощь в такой организации;

o) РЦП должен сотрудничать с другими РЦП в области стандартизации метеорологических и соответствующих измерений параметров окружающей среды;

p) РЦП должен регулярно информировать Члены ВМО и сообщать[2] на ежегодной основе президенту региональной ассоциации и Секретариату ВМО об услугах, предложенных странам-членам, и осуществленной деятельности.

B. **Региональные центры по приборам с базовыми возможностями и функциями** должны обладать следующими возможностями для выполнения своих соответствующих функций:

Возможности:

a) РЦП должен иметь необходимые технические средства и лабораторное оборудование и иметь доступ к ним, с тем чтобы выполнять функции, необходимые для калибровки метеорологических и соответствующих приборов для измерения параметров окружающей среды;

b) РЦП должен обслуживать комплект стандартных метеорологических приборов[3] и обеспечивать согласованность своих собственных стандартов измерений и измерительных приборов с системой СИ;

c) РЦП должен иметь квалифицированный управленческий и технический персонал, обладающий необходимым опытом для выполнения своих функций;

d) РЦП должен разработать свои индивидуальные технические процедуры для калибровки метеорологических и соответствующих экологических приборов, пользуясь калибровочным оборудованием, применяемым РЦП;

e) РЦП должен разработать свои индивидуальные процедуры обеспечения качества;

f) РЦП должен участвовать в межлабораторных сравнениях стандартных калибровочных приборов и методов или организовывать эти сравнения;

---

[2] Рекомендуется подход на основе веб-технологии.

[3] Для калибровки одной или нескольких следующих переменных: температура, влажность, давление или других переменных, конкретно указанных Регионом.

g) РЦП должен, в необходимых случаях, использовать ресурсы и возможности Региона, согласно наивысшим интересам данного Региона;

h) РЦП должен, по мере возможности, пользоваться международными стандартами, применяемыми для калибровочных лабораторий, такими как ИСО/МЭК 17025;

i) авторитетный орган должен оценивать работу РЦП как минимум раз в пять лет для проверки его возможностей и эффективности.

Соответствующие функции:

j) РЦП должен оказывать помощь странам-членам Региона в проведении калибровки их национальных метеорологических эталонов и соответствующих приборов для мониторинга окружающей среды в соответствии с **возможностями** (b);

k) РЦП должен участвовать в проводимых ВМО и/или региональных взаимных сравнениях приборов или организовывать их, следуя соответствующим рекомендациям по Структуре менеджмента качества ВМО;

l) РЦП должен консультировать Члены ВМО по запросам, касающимся эксплуатации и обслуживания приборов, а также наличия соответствующих руководящих материалов;

m) РЦП должен сотрудничать с другими РЦП в области стандартизации метеорологических и соответствующих измерений окружающей среды;

n) РЦП должен регулярно информировать Члены ВМО и сообщать[4] на ежегодной основе президенту региональной ассоциации и Секретариату ВМО об услугах, предложенных странам-членам, и осуществленной деятельности.

2. Соответствующими региональными ассоциациями были назначены следующие РЦП: Алжир (Алжир), Каир (Египет), Касабланка (Марокко), Найроби (Кения) и Габороне (Ботсвана) для РА I (Африка); Пекин (Китай) и Цукуба (Япония) для РА II (Азия); Буэнос-Айрес (Аргентина) для РА III (Южная Америка); Бриджтаун (Барбадос) и Сан-Хосе (Коста-Рика) для РА IV (Северная Америка, Центральная Америка и Карибский бассейн); Манила (Филиппины) и Мельбурн (Австралия) для РА V (юго-западная часть Тихого океана); Братислава (Словакия), Любляна (Словения) и Тулуза (Франция) для РА VI (Европа).

---

[4] Рекомендуется подход на основе веб-технологии.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.B. КЛАССИФИКАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ПЛОЩАДОК ДЛЯ СТАНЦИЙ ПРИЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА СУШЕ

(Текст общего стандарта ИСО/ВМО 19289:2014(E))

ВВЕДЕНИЕ

Условия окружающей среды на площадке[1] могут влиять на результаты измерений. Тщательный анализ этих условий должен сочетаться с оценкой характеристик самих приборов с тем, чтобы избежать искажения результатов измерений и влияния на их репрезентативность, особенно когда площадка должна быть репрезентативной для большого района (например, от 100 до 1 000 км^2).

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

В настоящем приложении[2] излагаются правила установки для различных датчиков. Но что следует предпринять, когда эти условия не выполняются?

Существуют площадки, которые не отвечают рекомендуемым правилам установки. Поэтому была создана классификация в помощь определению репрезентативности данной площадки на небольшом масштабе (воздействие окружающей среды в непосредственной близости). Таким образом, площадка класса 1 может рассматриваться в качестве эталонной площадки. Площадка, относящаяся к классу 5, это такая площадка, где близко расположенные препятствия создают неподходящую среду для метеорологических измерений, которые должны быть репрезентативными для обширного района (по крайней мере, десятки км^2). Чем ниже класс площадки, тем выше репрезентативность измерения для обширного района. В идеале все площадки должны быть класса 1, но реальный мир не идеален, и необходимы некоторые компромиссы. Площадка неудовлетворительного класса (большой номер) может, тем не менее, представлять ценность с точки зрения конкретного применения, требующего измерения в данном конкретном месте, включая препятствия данной местности.

Процесс применения классификации помогает участникам и руководителям сети более успешно учитывать требования к установке приборов и тем самым часто обеспечивает более удачный выбор места размещения. По крайней мере, условия окружающей среды вокруг площадки становятся известны и документально фиксируются в метаданных. Разумеется, можно осуществить и рекомендовать полное описание площадки, но при этом существует опасность того, что подробно описанная площадка может привести к усложнению метаданных, что будет во многих случаях ограничивать их оперативное использование. Поэтому данная классификация выбора площадок сформулирована таким образом, чтобы представлять информацию в сжатом виде и способствовать оперативному использованию данной информации из метаданных.

Площадка в целом не имеет одного единственного классификационного номера. Каждый параметр, который измеряется на площадке, имеет свой класс и иногда отличается от других. Если требуется общая классификация площадки, то может использоваться максимальное значение из классов, характеризующих параметры.

Принадлежность каждой площадки к определенному классу должна периодически пересматриваться, поскольку условия окружающей среды могут меняться с течением

---

[1] «Площадка» определяется как место, где установлен прибор.

[2] Если в *Руководстве ВМО по метеорологическим приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8) это называется приложением, то в документе ИСО на него ссылаются как на «стандарт».

времени. Рекомендуется систематическая ежегодная визуальная проверка: если некоторые характеристики окружающей среды изменились, то необходимо проведение нового классификационного процесса.

Полный пересмотр классов площадок следует проводить, по меньшей мере, каждые пять лет.

В нижеприведенном тексте классификация проводится (несистематическим образом) вместе с оценкой неопределенности, обусловленной выбором места, которая должна прибавляться к общей оценке неопределенности измерения. Данную оценку получают из библиографических исследований и/или некоторых сравнительных тестов.

Основная цель данной классификации — задокументировать наличие препятствий вблизи площадки измерения. По этой причине естественный рельеф местности может не учитываться, если находится на большом расстоянии (например, > 1 км). Метод определения того, является ли рельеф репрезентативным для окружающего района, заключается в следующем: изменит ли перемещение станции на 500 м получаемый класс? Если ответ «нет», то рельеф является природной характеристикой данного района и не принимается во внимание.

Сложный рельеф местности или городские районы обычно соответствуют высоким значениям классов. В этих случаях дополнительная отметка «S» может быть добавлена к классам 4 или 5 для обозначения специфических условий окружающей среды или применения (например, 4S).

2. ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА И ВЛАЖНОСТЬ

2.1 Общая информация

Датчики, расположенные внутри метеорологической будки, должны монтироваться на высоте, определяемой метеорологической службой (от 1,25 до 2 м, как определено в *Руководстве ВМО по метеорологическим приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8)). Высота никогда не должна быть меньше 1,25 м. Удовлетворение верхнего предела не столь обязательно, поскольку температурный градиент по высоте уменьшается с высотой. Например, разница температуры для датчиков, расположенных на высоте от 1,25 до 2 м, составляет менее 0,2 °C.

Основные расхождения вызываются неестественными поверхностями и тенью:

a) препятствия вокруг метеорологической будки влияют на радиационный баланс метеорологической будки. Метеорологическая будка вблизи вертикального препятствия может быть затенена от солнечной радиации или «защищена» от ночного радиационного выхолаживания воздуха вследствие получения более теплого инфракрасного излучения от данного препятствия, или может подвергаться воздействию отраженной радиации;

b) соседние искусственные поверхности могут нагревать воздух, и их необходимо избегать. Степень их воздействия зависит от состояния ветра, поскольку ветер влияет на степень воздушного обмена. К неестественным или искусственным поверхностям, которые принимаются во внимание, относятся источники тепла, отражающие поверхности (например, здания, бетонные поверхности, парковки машин) и водные объекты (например, пруды, озера, орошаемые территории).

Тени от близлежащих препятствий следует избегать. Тень, обусловленная естественным рельефом, не учитывается в классификации (см. выше).

Указываемой высотой растительного покрова является высота растительности, состояние которой поддерживается обычным способом. Различают структурную высоту растительности (для типа растительности, присутствующей на площадке) и высоту, обусловленную неудовлетворительным уходом за растительностью. Классификация конкретной площадки, таким образом, основывается на допущении регулярного обслуживания (за исключением случаев, когда такое обслуживание не представляется возможным).

2.2 **Класс 1**

a) Плоский горизонтальный участок на открытой местности, уклон не более ⅓ (19°);

b) поверхность земли покрыта естественной невысокой растительностью (< 10 см), репрезентативной для региона;

c) точка измерения расположена:

i) более чем в 100 м от источников тепла или отражающих поверхностей (здания, бетонные поверхности, парковки машин и т. д.);

ii) более чем в 100 м от водного пространства (за исключением случаев, когда оно занимает значительную часть региона);

iii) вдали от всякой отбрасываемой тени, когда солнце выше 5°.

Считается, что источник тепла (или водное пространство) оказывает воздействие, если занимает более 10 % поверхности в радиусе 100 м вокруг метеорологической будки, составляет 5 % кольцевой зоны 10 м — 30 м или охватывает 1 % десятиметровой радиусной зоны.

Рисунок 1.B.1. Критерии для температуры воздуха и влажности для площадок класса 1.

2.3 **Класс 2**

a) Плоский горизонтальный участок на открытой местности, уклон не более ⅓ (19°);

b) поверхность земли покрыта естественной невысокой растительностью (< 10 см), репрезентативной для региона;

c) точка измерения расположена:

i) более чем в 30 м от источников тепла или отражающих поверхностей (здания, бетонные поверхности, автостоянки машин и т. д.);

ii) более чем в 30 м от водного пространства (за исключением случаев, когда оно занимает значительную часть региона);

iii) вдали от всякой отбрасываемой тени, когда солнце выше, чем 7°.

Считается, что источник тепла (или водное пространство) оказывает воздействие, если занимает более 10 % поверхности в радиусе 30 м вокруг метеорологической будки, составляет 5 % кольцевой зоны 5 м — 10 м или охватывает 1 % пятиметровой радиусной зоны.

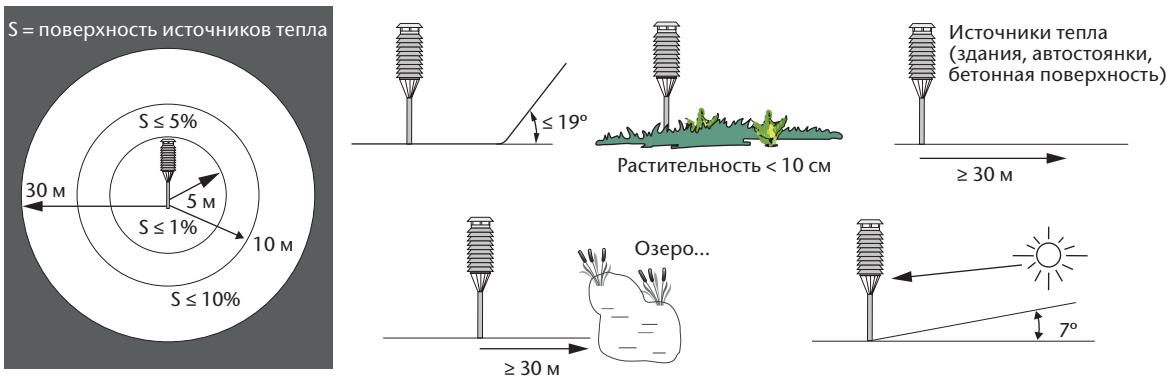


Рисунок 1.B.2. Критерии для температуры воздуха и влажности для площадок класса 2.

2.4 Класс 3 (дополнительная неопределенность, обусловленная выбором места для площадки, составляет до 1 °C)

a) Поверхность земли покрыта естественной невысокой растительностью (< 25 см), репрезентативной для региона;

b) точка измерения расположена:

i) более чем в 10 м от источников тепла или отражающих поверхностей (здания, бетонные поверхности, парковки машин и т. д.);

ii) более чем в 10 м от водного пространства (за исключением случаев, когда оно занимает значительную часть региона);

iii) вдали от всякой отбрасываемой тени, когда солнце выше, чем 7°.

Считается, что источник тепла (или водное пространство) оказывает воздействие, если занимает более 10 % поверхности в радиусе 10 м вокруг метеорологической будки или составляет 5 % пятиметровой радиусной зоны.

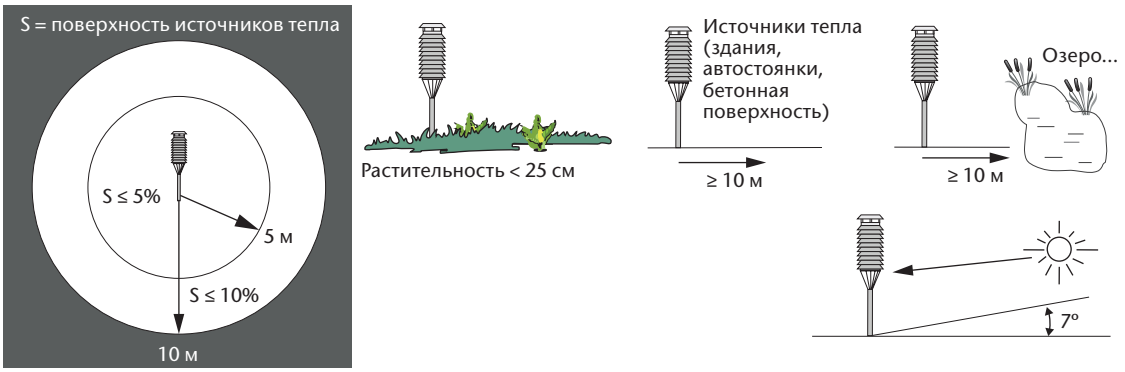


Рисунок 1.B.3. Критерии для температуры воздуха и влажности для площадок класса 3.

2.5 Класс 4 (дополнительная неопределенность, обусловленная выбором места для площадки, составляет до 2 °C)

a) Близлежащие искусственные источники тепла или отражающие поверхности (здания, бетонные поверхности, парковки машин и т. д.) или водное пространство (за исключением случаев, когда оно занимает значительную часть региона), занимающие:

   i) менее 50 % поверхности в радиусе 10 м вокруг метеорологической будки;

   ii) менее 30 % поверхности в радиусе 3 м вокруг метеорологической будки;

b) вдали от всякой отбрасываемой тени, когда солнце выше, чем 20°.

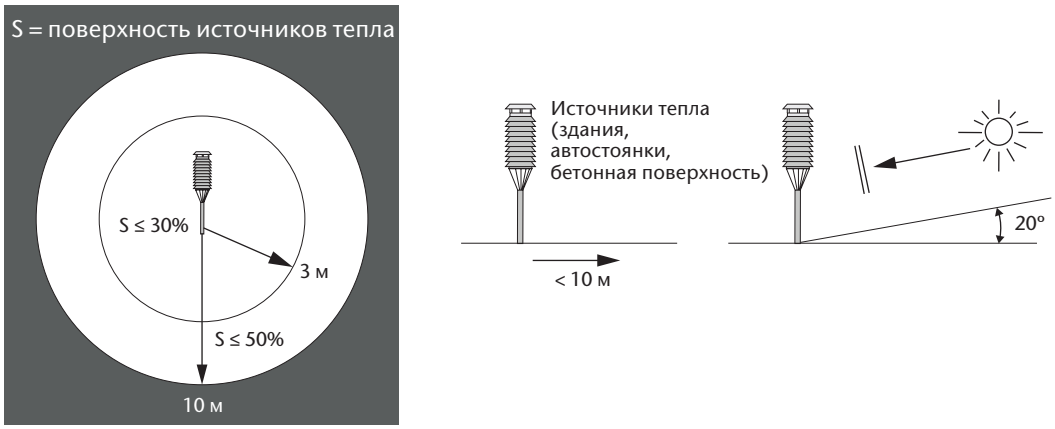


Рисунок 1.B.4. Критерии для температуры воздуха и влажности для площадок класса 4.

2.6 Класс 5 (дополнительная неопределенность, обусловленная выбором места для площадки, составляет до 5 °C)

Площадка, не удовлетворяющая требованиям класса 4.

3. ОСАДКИ

3.1 Общая информация

Ветер является наибольшим источником погрешностей в измерениях осадков вследствие влияния приборов на воздушный поток. Если не обеспечивать искусственную защиту осадкомеров от ветра, например устанавливая ветровую защиту, то наилучшие места для расположения постов часто находятся на лесных полянах или в садах, среди деревьев, в кустарниковом редколесье или там, где другие объекты представляют собой эффективную защиту от ветра всех направлений. Идеальными условиями для установки оборудования являются такие, при которых оборудование установлено в районе, окруженном равномерно препятствиями одинаковой высоты. Препятствием является объект с эффективной угловой шириной 10° и более.

Выбор данного типа площадки не согласуется с ограничениями в отношении высоты другого измерительного оборудования. Такие условия являются практически невыполнимыми. Если препятствия не одинаковы, они имеют тенденцию создавать турбулентность, что дает искажение в результатах измерения; причем данный эффект более выражен для твердых осадков. Вот почему более реально выполнимые требования по высоте предусматривают определенное расстояние от любых препятствий. Ориентация таких препятствий по отношению к преобладающему ветру сознательно не учитывается. На самом деле, сильные осадки часто связаны с конвективными факторами, в силу

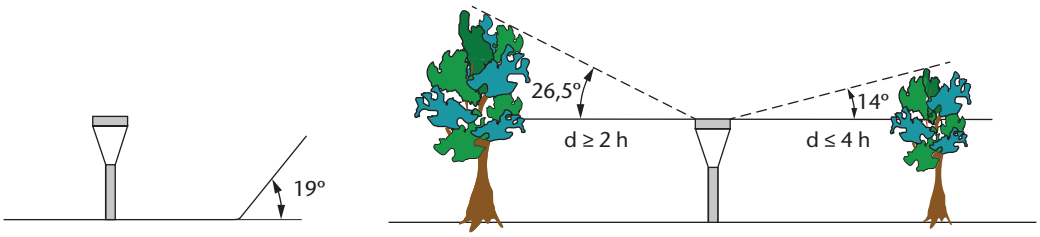
которых направление ветра не обязательно совпадает с направлением преобладающего ветра. Препятствия считаются однородными по высоте, если отношение между самой большой и самой малой высотой составляет менее 2.

Точкой отсчета для высоты препятствий является высота приемной поверхности осадкомера.

3.2 Класс 1

a) Плоский горизонтальный участок на открытой местности, уклон не более ⅓ (19°). Осадкомер должен быть окружен низкими препятствиями одинаковой высоты, при этом противолежащие углы возвышения составляют от 14° до 26° (препятствия на расстоянии, равном их двухкратной и четырехкратной высоте);

b) плоский горизонтальный участок на открытой местности, уклон не более ⅓ (19°). Для осадкомера, искусственно защищенного от ветра, прибор не обязательно должен быть защищен препятствиями одинаковой высоты. В данном случае любые другие препятствия должны быть расположены на расстоянии, равном, по крайней мере, их четырехкратной высоте.



или:

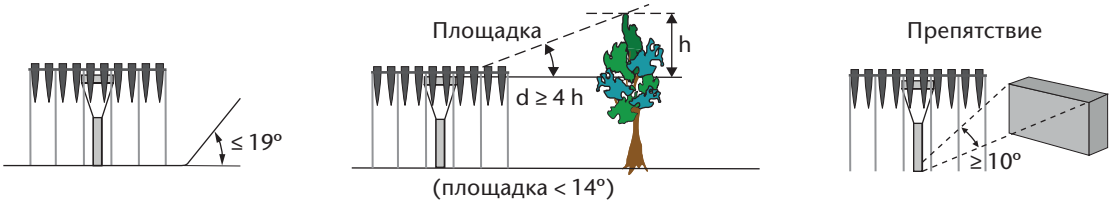


Рисунок 1.B.5. Критерии для осадков для площадок класса 1.

3.3 Класс 2 (дополнительная неопределенность, обусловленная выбором места для площадки, составляет до 5 %)

a) Плоский горизонтальный участок на открытой местности, уклон не более ⅓ (19°);

b) возможные препятствия должны быть расположены на расстоянии, превышающем, по крайней мере, в два раза высоту препятствия (по отношению к высоте приемной поверхности дождемера).

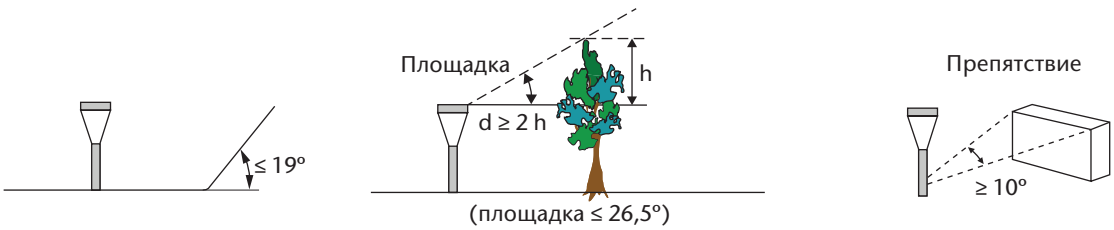


Рисунок 1.B.6. Критерии для осадков для площадок класса 2.

3.4 Класс 3 (дополнительная неопределенность, обусловленная выбором места для площадки, составляет до 15 %)

a) Участок на открытой местности, уклон не более ½ (≤ 30°);

b) возможные препятствия должны быть расположены на расстоянии, превышающем высоту препятствия.

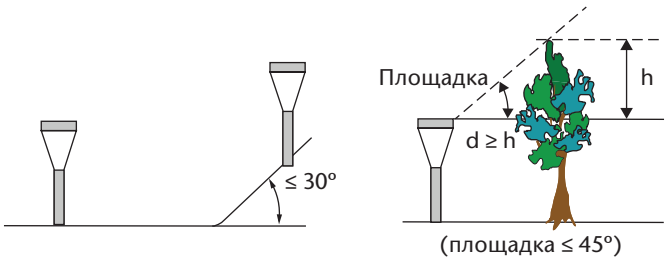


Рисунок 1.B.7. Критерии для осадков для площадок класса 3.

3.5 Класс 4 (дополнительная неопределенность, обусловленная выбором места для площадки, составляет до 25 %)

a) Участок с крутым уклоном (> 30°);

b) возможные препятствия должны быть расположены на расстоянии, превышающем половину (½) высоты препятствия.

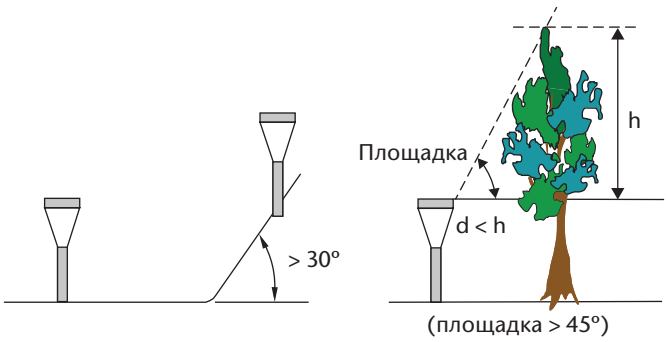


Рисунок 1.B.8. Критерии для осадков для площадок класса 4.

3.6 Класс 5 (дополнительная неопределенность, обусловленная выбором места для площадки, составляет до 100 %)

Препятствия расположены ближе, чем половина (½) их высоты (дерево, крыша, стена и т. д.).

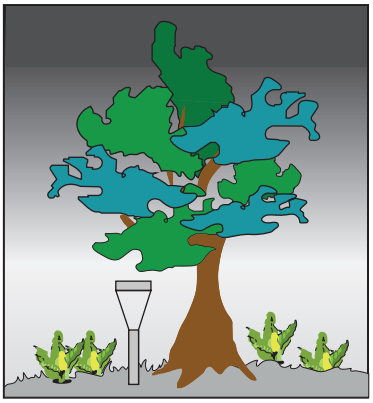


Рисунок 1.B.9. Критерии для осадков для площадок класса 5.

4. ПРИЗЕМНЫЙ ВЕТЕР

4.1 Общая информация

Обычные требования по высоте предусматривают, что датчики должны размещаться на высоте 10 м над уровнем поверхности земли и на открытой местности. Открытая местность в данном случае представляет собой поверхность, на которой препятствия расположены как минимум на расстоянии, равном, по крайней мере, их десятикратной высоте.

4.2 Шероховатость

Измерениям ветра мешают не только окружающие препятствия, шероховатость поверхности также играет свою роль. По определению ВМО, ветер, дующий на геометрической высоте 10 м и с коэффициентом шероховатости 0,03 м, является приземным ветром для наземных станций.

Такой ветер считается эталонным ветром, для которого точно известны условия (высота 10 м и коэффициент шероховатости 0,03 м).

Следовательно, шероховатость вокруг площадки измерения должна быть зафиксирована документально. Шероховатость необходимо использовать для перевода измеренного ветра в эталонный ветер, но эта процедура может применяться только в том случае, если препятствия не находятся слишком близко. Вопросы, связанные с шероховатостью, и процедуры корректировки описываются в *Руководстве ВМО по метеорологическим приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8), часть I, глава 5.

Классификация шероховатости из *Руководства ВМО по метеорологическим приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8), часть I, глава 5 воспроизводится ниже.

Классификация местности по Дейвенпорту (Davenport, 1960), адаптированная Виерингом (Wieringa, 1980*b*) применительно к аэродинамическому коэффициенту шероховатости z_0

Класс	*Краткое описание местности*	z_0 *(м)*
1	Открытое море, протяженность не менее 5 км	0,000 2
2	Плоская грязная поверхность, снег; отсутствие растительности, препятствий	0,005
3	Открытая плоская поверхность; трава, редкие отдельно стоящие препятствия	0,03
4	Невысокие сельскохозяйственные культуры; редкие большие препятствия: $x/H > 20$	0,10
5	Высокие сельскохозяйственные культуры; разбросанные препятствия: $15 < x/H < 20$	0,25
6	Парковые насаждения, кусты; многочисленные препятствия: $x/H \approx 10$	0,5
7	Зона обычных больших препятствий (окраина, лес)	1,0

Класс	*Краткое описание местности*	z_0 *(м)*
8	Городской центр с высокими и низкими зданиями	≥ 2

Примечание: Здесь x — типичное расстояние до предмета, препятствующего потоку воздуха, а H — высота соответствующих крупных препятствий. Более подробное и доработанное описание классов см. в работе Davenport et al. (2000).

4.3 Классификация условий окружающей среды

Присутствие препятствий, включая растительность, (почти всегда) означает снижение средних показаний ветра, однако значительно в меньшей степени сказывается на определении порывов ветра.

Приведенная ниже классификация предусматривает измерение на высоте 10 м, которая является стандартной высотой для метеорологических измерений.

Когда измерения проводятся на более низкой высоте (например, измерения на высоте 2 м, что иногда необходимо для агроклиматологических целей), следует применять класс 4 или 5 (см. ниже) с пометкой S (специфическая ситуация).

Там, где присутствуют многочисленные препятствия выше 2 м, рекомендуется, чтобы датчики устанавливались на 10 м выше средней высоты препятствий. Данный метод позволяет свести к минимуму влияние близлежащих препятствий. Данный метод является неизменным решением для того, чтобы исключить в какой-то степени влияние некоторых препятствий. Для этого, к сожалению, требуются более высокие мачты, которые не являются стандартными и, следовательно, будут более дорогостоящими. Необходимо учитывать для определенных площадок при их использовании, что препятствия, которые должны учитываться, должны быть выше уровня, расположенного на 10 м ниже датчиков (например, для анемометра, установленного на высоте 13 м, исходным уровнем отсчета для препятствий является высота 3 м; а препятствие высотой 7 м будет иметь эффективную высоту 4 м).

Далее, объект считается препятствием, если его эффективная угловая ширина превышает 10°. Случаи высоких тонких препятствий, т. е. когда их эффективная угловая ширина менее 10°, а высота более 8 м, необходимо также учитывать при рассмотрении классов от 1 до 3, как указывается ниже. В некоторых обстоятельствах скопление высоких узких препятствий будет иметь такой же эффект, как и одно широкое препятствие, и его следует учитывать таким же образом.

Изменения высоты (положительные или отрицательные) ландшафта, которые не являются репрезентативными для данной местности, считаются препятствиями.

4.4 Класс 1

a) Мачта должна быть расположена на расстоянии, равном по крайней мере 30-кратной высоте окружающих препятствий;

b) датчики должны быть расположены как минимум на расстоянии 15-кратной ширины узких препятствий (мачта, тонкие деревья) выше, чем 8 м.

Единичные препятствия ниже 4 м могут не учитываться.

Показатель класса шероховатости равен или меньше 4 (коэффициент шероховатости ≤ 0,1 м).

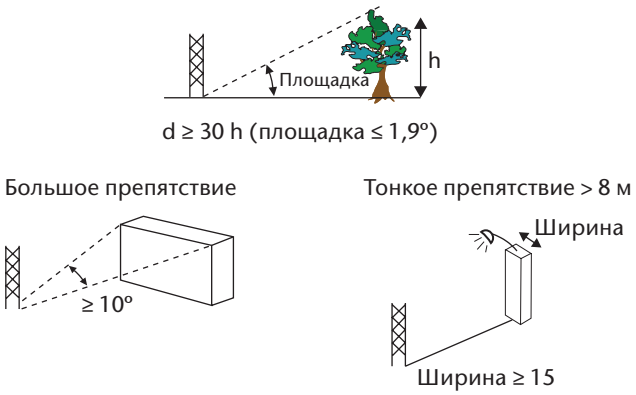


Рисунок 1.B.10. Критерии для приземного ветра для площадок класса 1.

4.5 **Класс 2 (дополнительная погрешность, обусловленная выбором места для площадки, составляет до 30 %, возможно применение корректировки)**

a) Мачта должна быть расположена на расстоянии, равном по крайней мере 10-кратной высоте окружающих препятствий;

b) датчики должны быть расположены как минимум на расстоянии 15-кратной ширины узких препятствий (мачта, тонкие деревья) выше, чем высота 8 м.

Единичные препятствия ниже 4 м могут не учитываться.

Показатель класса шероховатости равен или меньше 5 (коэффициент шероховатости ≤ 0,25 м).

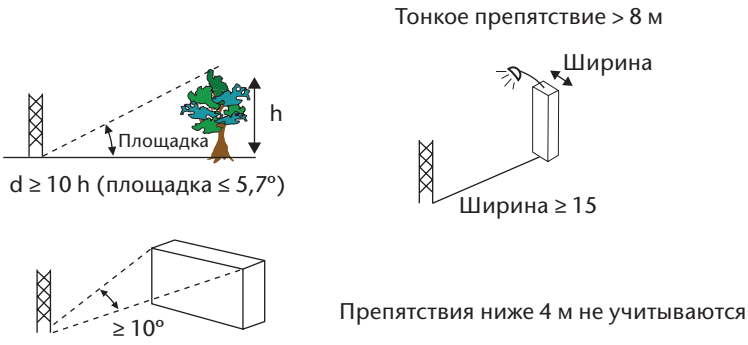


Рисунок 1.B.11. Критерии для приземного ветра для площадок класса 2.

Примечание: когда мачта расположена на расстоянии, равном по крайней мере 20-кратной высоте близлежащих преград, могут быть применены поправки (см. *Руководство ВМО по метеорологическим приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8), часть I, глава 5). Для более близких препятствий поправки могут применяться в некоторых ситуациях.

4.6 **Класс 3 (дополнительная погрешность, обусловленная выбором места для площадки, составляет до 50 %, корректировка применяться не может)**

a) Мачта должна быть расположена на расстоянии, равном по крайней мере 5-кратной высоте близлежащих препятствий;

b) датчики должны быть расположены как минимум на расстоянии 10-кратной ширины узких препятствий (мачта, тонкие деревья) выше, чем 8 м.

Единичные препятствия ниже 5 м могут не учитываться.

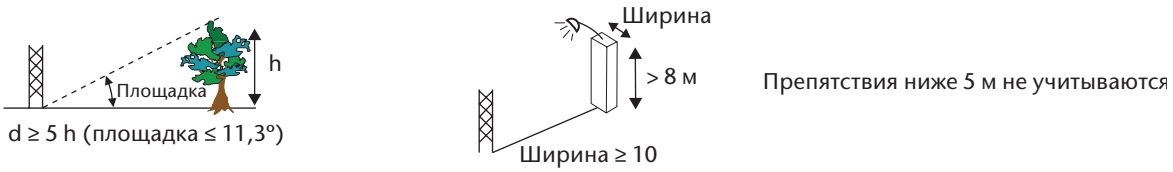


Рисунок 1.B.12. Критерии для приземного ветра для площадок класса 3.

4.7 Класс 4 (дополнительная погрешность, обусловленная выбором места для площадки, составляет до 50 %)

a) Мачта должна быть расположена на расстоянии, равном по крайней мере 2,5-кратной высоте окружающих препятствий;

b) отсутствие препятствий с угловой шириной более 60° и высотой более 10 м на расстоянии до 40 м.

Единичные препятствия ниже 6 м могут не учитываться, только для измерений на высоте 10 м или более.

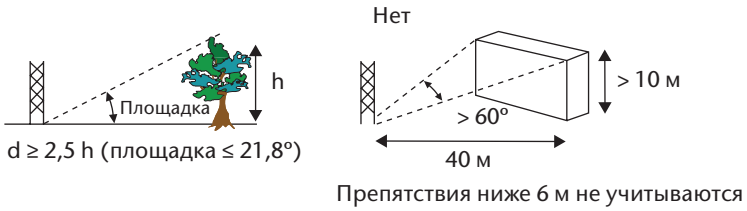


Рисунок 1.B.13. Критерии для приземного ветра для площадок класса 4.

4.8 Класс 5 (дополнительную погрешность оценить невозможно)

Площадка, не отвечающая требованиям класса 4.

5. СУММАРНАЯ И РАССЕЯННАЯ РАДИАЦИЯ

5.1 Общая информация

Необходимо избегать близлежащих препятствий. Тень, обусловленная естественным рельефом, не учитывается в классификации. Неотражающие препятствия ниже видимого горизонта могут не учитываться.

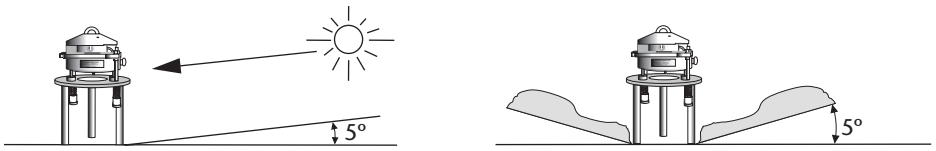
Препятствие считается отражающим, если его альбедо выше 0,5.

Положением отсчета для углов возвышения является чувствительный элемент прибора.

5.2 Класс 1

a) Отсутствие тени, отбрасываемой на датчик, когда солнце находится на угловой высоте выше 5°. Для регионов на широте ≥ 60° этот предел снижается до 3°;

b) отсутствие не имеющих тени отражающих препятствий с угловой высотой выше 5° и общей угловой шириной выше 10°.



Тень отсутствует

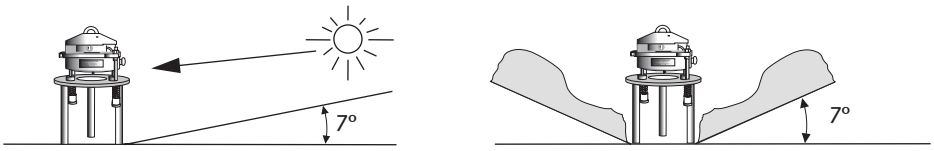
Отсутствие не имеющих тени препятствий с угловой шириной > 10°

Рисунок 1.B.14. Критерии для глобальной и рассеянной радиации для площадок класса 1.

5.3 **Класс 2**

a) Отсутствие тени, отбрасываемой на датчик, когда солнце находится на угловой высоте выше 7°. Для регионов на широте ≥ 60° этот предел снижается до 5°;

b) отсутствие не имеющих тени отражающих препятствий с угловой высотой выше 7° и общей угловой шириной выше 20°.



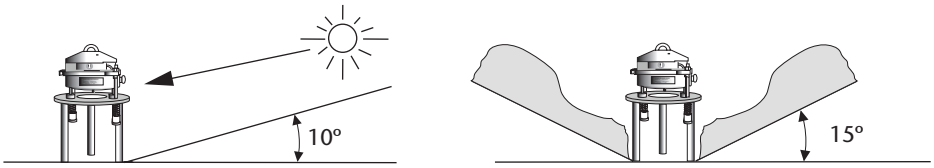
Отсутствие не имеющих тени препятствий с угловой шириной > 20°

Рисунок 1.B.15. Критерии для глобальной и рассеянной радиации для площадок класса 2.

5.4 **Класс 3**

a) Отсутствие тени, отбрасываемой на датчик, когда солнце находится на угловой высоте выше 10°. Для регионов на широте ≥ 60° этот предел снижается до 7°;

b) отсутствие не дающих тени отражающих препятствий с угловой высотой выше 15° и общей угловой шириной выше 45°.

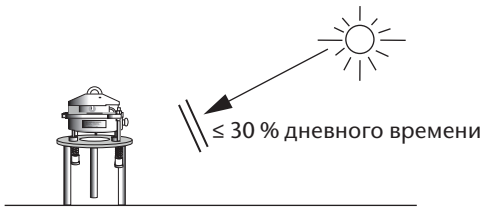


Отсутствие не имеющих тени препятствий с угловой шириной > 45°

Рисунок 1.B.16. Критерии для глобальной и рассеянной радиации для площадок класса 3.

5.5 **Класс 4**

Отсутствие отбрасываемой тени в течение более чем 30 % дневного времени в любой день года.



Отсутствие отбрасываемой тени
в течение более чем 30 % дневного времени

Рисунок 1.B.17. Критерии для глобальной и рассеянной радиации для площадок класса 4.

5.6 Класс 5

Отсутствие отбрасываемой тени в течение более чем 30 % дневного времени, по крайней мере, один день в году.

6. ПРЯМАЯ РАДИАЦИЯ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ

6.1 Общая информация

Необходимо избегать близлежащих препятствий. Тень, обусловленная естественным рельефом, не учитывается в классификации. Препятствия ниже видимого горизонта могут не учитываться.

Положением отсчета для углов возвышения является чувствительный элемент прибора.

6.2 Класс 1

Отсутствие тени, отбрасываемой на датчик, когда солнце находится на угловой высоте выше 3°.

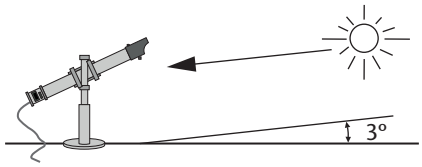


Рисунок 1.B.18. Критерии для прямой радиации и продолжительности солнечного сияния для площадок класса 1.

6.3 Класс 2

Отсутствие тени, отбрасываемой на датчик, когда солнце находится на угловой высоте выше 5°.

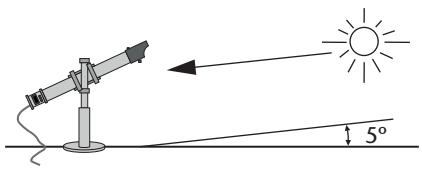


Рисунок 1.B.19. Критерии для прямой радиации и продолжительности солнечного сияния для площадок класса 2.

6.4 **Класс 3**

Отсутствие тени, отбрасываемой на датчик, когда солнце находится на угловой высоте выше 7°.

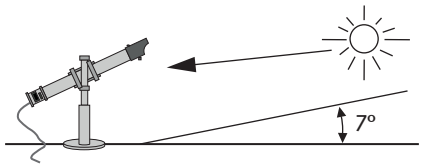
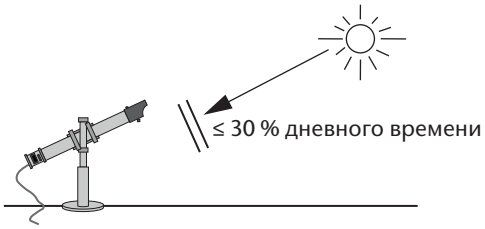


Рисунок 1.B.20. Критерии для прямой радиации и продолжительности солнечного сияния для площадок класса 3.

6.5 **Класс 4**

Отсутствие отбрасываемой тени в течение более чем в 30 % дневного времени в любой день года.



Отсутствие тени
в течение более чем 30 % дневного времени

Рисунок 1.B.21. Критерии для прямой радиации и продолжительности солнечного сияния для площадок класса 4.

6.6 **Класс *5***

Отсутствие отбрасываемой тени в течение более чем в 30 % дневного времени, по крайней мере, один день в году.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.C. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ СТАНЦИИ

Точность, с которой данные наблюдения описывают состояние выделенной части атмосферы, не является такой же, как погрешность прибора, поскольку ценность данных наблюдений также зависит от установки прибора по отношению к атмосфере. Это не является техническим вопросом, и поэтому описание установки также является ответственностью наблюдателя станции или техника. На практике идеальное место размещения встречается редко, и надежность данных наблюдений невозможно установить до тех пор, пока не проведено надлежащее документальное оформление фактической установки (WMO, 2002).

Метаданные станции должны содержать следующие аспекты установки прибора:

a) высота приборов над поверхностью (или ниже ее, для температуры почвы);

b) тип защиты и степень вентиляции для измерения температуры и влажности;

c) степень помех по стороны других приборов или объектов (мачты, вентиляторы);

d) окружающая обстановка прибора на уровне микромасштаба или местного масштаба, в частности:

    i) состояние поверхности ограждения, влияющее на температуру и влажность; близлежащие крупные препятствия (здания, заборы, деревья) и их размер;

    ii) степень закрытия горизонта для наблюдений за солнечным сиянием и радиацией;

    iii) шероховатость окружающей территории и основная растительность, оказывающие воздействие на ветер;

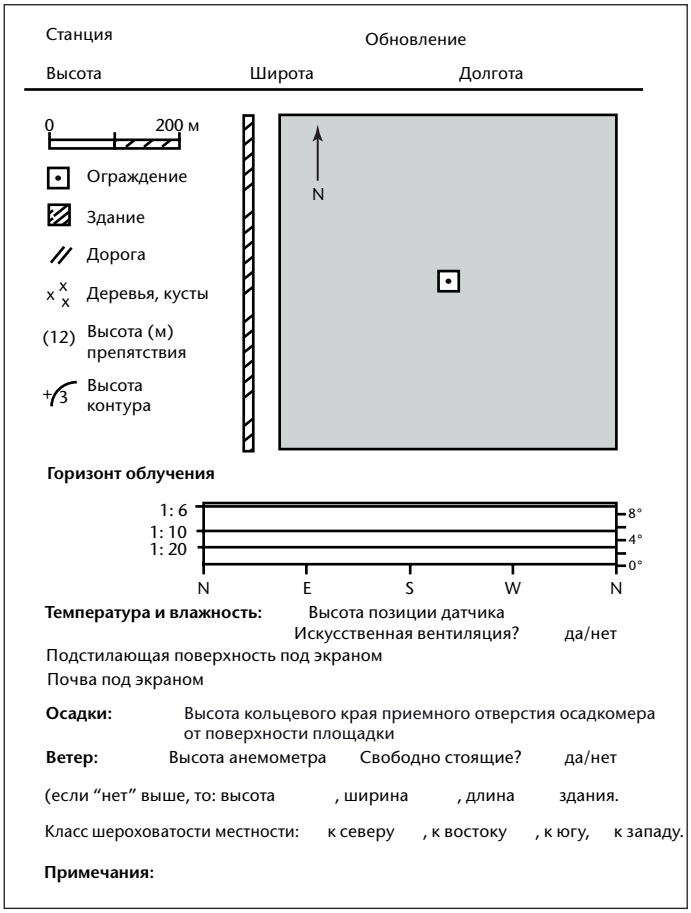
    iv) все характеристики территории в местном масштабе, такие как незначительные уклоны, тротуары, водные поверхности;

    v) основные характеристики территории в мезомасштабе, такие как прибрежные зоны, горы или урбанизация.

Большинство этих вопросов будут носить полупостоянный характер, однако в ведущемся на станции журнале следует регистрировать и датировать любые значительные изменения (рост растительности, новые здания).

Для документирования установки станции в местном масштабе желательна карта с масштабом не более 1:25 000, показывающая контуры с разницами возвышения ≈ 1 м. На этой карте должны быть отмечены места нахождения зданий и деревьев (с указанием высоты), поверхностный покров и смонтированные приборы. По краям карты следует указывать основные дистанционные характеристики территории (например, застроенные районы, леса, открытая вода, холмы). Полезными являются фотографии, если на них не просто показаны ближние планы прибора или метеорологической будки, но если они сделаны на достаточном расстоянии для того, чтобы показать данный прибор и территорию на его заднем плане. Подобные фотографии следует делать со всех главных румбов.

Необходимые минимальные метаданные для установки прибора могут быть обеспечены благодаря заполнению образца, который приводится для каждой станции в сети (см. рисунок ниже). Пример того, как это делается, показан в публикации ВМО (WMO, 2003). Классы, используемые в данной публикации для описания шероховатости территории, приводятся в части I, глава 5 Руководства. Более подробное описание вопросов, касающихся метаданных, дается в публикации ВМО (2010*c*).



Основная форма для метаданных, касающихся месторасположения станции

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.D. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

1. Экстремальные ветра (торнадо, ураганы)

Для повышения устойчивости к условиям использования приборов и сооружений можно использовать аэродинамические формы. Утяжеленные диски определенной формы на земле могут помочь удержать приборы в рабочем положении во время торнадо. Специальной формы шары-зонды могут обеспечить возможность функционирования привязных зондов во время ветров ураганной силы.

Мачты могут быть укреплены дополнительными тросами. Все провода должны быть тщательно связаны и закреплены. Следует организовать экранирование для защиты оборудования от переносимого ветром мусора, включая крупные предметы (которые могут вызывать повреждение в результате удара) и более мелкие частицы, такие как пыль и песок (которые могут вызвать эрозионное повреждение).

Следует выбирать датчики, которые способны выдерживать большие скорости ветра. Датчики ветра, основанные на принципе измерения разности давления (трубки Пито), принципе распространения звука (ультразвуковые датчики ветра) или термическом охлаждении, лишены слабых сторон, связанных с подвижными частями. Тем не менее некоторые чашечные анемометры, ветровые флюгеры и пропеллерные анемометры рассчитаны на работу во время экстремальных ветров.

2. Паводки и штормовые нагоны

Низко расположенные участки следует избегать в качестве места расположения площадки. Датчики могут быть приподняты на свайном основании для предотвращения повреждения потоком поверхностных вод и всяким мусором. Фундамент следует строить с использованием стойких материалов и ориентировать параллельно ожидаемому поверхностному потоку для минимизации гидростатического давления. Электрические соединения следует размещать выше прогнозируемого паводочного уровня или заключать в соответствующие водонепроницаемые коробки (рассчитанные на соответствующую степень защиты корпуса (IP)).

3. Пожар

Когда это практически осуществимо, следует использовать невозгораемые материалы, как правило металл и бетон. Отверстия в оборудовании должны иметь экранирование для предотвращения попадания искр в полости — в той мере, в какой это не мешает измерениям.

4. Обледенение

Для того, чтобы датчики не покрывались льдом, обычно используют обогрев и/или воздушный поток над датчиками. Некоторые производители предусматривают встроенный обогрев датчика с различным нагреванием в зависимости от ожидаемой степени обледенения. Датчики же без встроенного обогрева могут обогреваться путем размещения «нагревательной ленты» непосредственно на их поверхности (электронагревательные элементы, вмонтированные в гибкий листовой материал, или с применением нихромовой проволоки). Что касается датчиков ветра, то следует отметить, что в основном проще обогревать те датчики, которые не имеют подвижных частей (как например ультразвуковые датчики ветра). Еще одним методом является распыление

жидкости с низкой температурой замерзания (в частности этанола) на датчики во время процесса обледенения. В условиях сильного обледенения ни один из этих методов не может предотвратить наледь.

Обледенение на монтажных конструкциях может помешать воздушному потоку и нарушить условия измерения, даже когда сами датчики свободны ото льда. Минимизация площади поверхности этих конструкций может быть полезной в этом отношении. Может также потребоваться устранение обледенения на них.

Метод, используемый для борьбы с обледенением льда, не должен влиять на показания датчика или измерения, которые проводятся соседними датчиками. Например, обогрев датчика не должен сказываться на проводимых измерениях температуры воздуха и относительной влажности. Один из подходов заключается в том, чтобы осуществлять обогрев какое-то время, затем дать датчику остыть и произвести измерение, после чего повторить все снова.

5. Нагревание и эрозия солнечной радиацией

В местах, где датчики, будки и провода подвергаются высоким уровням солнечной радиации и особенно высоким уровням ультрафиолетовой (УФ) радиации, некоторые материалы будут разрушаться и терять конструкционную прочность. Использование альтернативных материалов, таких как металлы, твердая древесина и стабилизированный к УФ-радиации пластик, обычно приводит к более длительному эксплуатационному ресурсу оборудования и конструкции.

В более теплых климатических условиях и там, где уровни солнечной радиации высокие, будки могут нагреваться изнутри до уровней, которые превышают рабочие характеристики оборудования, что отрицательно сказывается на значениях данных и надежности оборудования. Для того, чтобы уменьшить нагревание, можно задействовать вентиляцию и/или принудительную вентиляцию (с соответствующими фильтрами), или небольшие установки кондиционирования воздуха. Охлаждающие элементы Пельтье можно также использовать для отвода тепла из корпуса без воздействия на состав внешнего потока воздуха.

Можно также использовать солнцезащитные укрытия, кабельные шланги или просто заглубление оборудования, если это не скажется негативно на проведении измерений.

6. Электрические переходные процессы (молния)

Системы молниезащиты, как правило, состоят из четырех компонентов — приемника, установленного в самой высокой точке конструкции; проводящего канала в землю; системы отвода тока молнии в землю, а также устройства защиты от скачков напряжения для чувствительного оборудования.

Различные типы приемников можно использовать эффективно. Наиболее распространенными являются громоотвод Франклина и сплайновый сферический громоотвод. Громоотвод Франклина отводит удар молнии в землю по заданному пути. Сплайновый сферический громоотвод не допускает прямого попадания молнии, рассеивая разряд до того, как произойдет удар молнии. Оба подхода работают. В зависимости от размера и высоты защищаемой конструкции может потребоваться один или более приемников и токоотводов, и, как правило, требуется один набор для каждой вертикальной поверхности сооружения.

Заземление должно быть выполнено из хорошо проводящего материала (чаще всего меди) с достаточной емкостью для того, чтобы пропускать очень сильные, но непродолжительные токи, наблюдающиеся во время удара молнии. Каждый элемент контура заземления, включая соединения, должен иметь такую способность. Необходимо сделать все возможное для того, чтобы минимизировать электрическое сопротивление в

соединении с землей. Необходимо минимизировать изгибы в канале, которые не должны превышать 45 градусов. Даже если сама конструкция металлическая и имеет заземление, рекомендуется использовать заземляющий провод с низким полным сопротивлением.

Система отвода тока молнии может состоять из простого стержня (обычно медного сплава), который устанавливается вертикально на почвах с достаточной электрической проводимостью. Для повышения локальной проводимости почвы можно добавить соли. Желателен контакт с водным столбом. В исключительных случаях, например на поверхности горных пород или песка, вокруг сооружения на поверхности или под поверхностью можно использовать горизонтальную сетку из проводящего материала.

Для чувствительного оборудования желательно обеспечить защиту от скачков напряжения. Существует большое количество разнообразных устройств и их следует использовать в соответствии со спецификациями производителя. Существуют защитные устройства дифференциального типа (между проводами) и синфазного типа (между проводами/оборудованием и заземлением). Синфазная защита представляет собой заземление высокого качества. Скачки напряжения обычно наиболее разрушительны и характеризуются повышенным напряжением на проводах/оборудовании по отношению к земле. Нельзя также исключить, что удар близкой молнии пройдет через землю и повысит ее электрический потенциал по отношению к оборудованию. Это наиболее вероятно там, где некачественные заземление и заземляющие материалы. Желательно разделять рабочее заземление и защитное заземление. В некоторых случаях индукционные зонды между рабочим и защитным заземлением могут обеспечить защиту от таких проблем. Следует использовать экранированный кабель для передачи данных, соединенный с землей только с одного конца, для того, чтобы уменьшить вероятность индуцированных переходных процессов в линиях передачи сигнала.

Для оборудования, которое подсоединено к инфраструктуре третьей стороны, такие как телефонные линии или магистральные силовые линии, и питается от генераторов или имеет большие кабельные трассы между датчиками и модулями, существует угроза прямого или наведенного электрического переходного режима в проводах. Рекомендуется иметь надлежащую защиту от переходных процессов и/или устанавливать изолирующие устройства в тех местах, где кабель входит в оборудование, причем на обоих концах длинного кабеля. Особое внимание следует уделять заземлению устройств защиты от переходных процессов с тем, чтобы обеспечить достижение уравнивания потенциалов земли для каждой защищаемой системы.

7. Коррозия (высоко соленые, геотермальные и влажные условия)

Оборудование, установленное в местах с высокой или умеренной коррозионной атмосферой, может выдавать ошибочные данные в результате отказов датчика или ухудшения надежности оборудования.

Типичными проблемами являются:

a) накопление посторонних химических веществ на чувствительных элементах, таких как датчики относительной влажности;

b) сильное трение подшипников датчика;

c) заедание подшипников, шарниров, защелок, болтов и клемм;

d) плесень и коррозия на микросхемах;

e) высокое сопротивление контактных соединений;

f) выход из строя держателей и зажимов.

Комплекс мер по смягчению этих проблем должен включать:

a) использование соответствующих материалов, таких как нержавеющая сталь, оцинкованная сталь и подходящий пластик;

b) защита соединений и клемм с использованием лент, пропитанных смазкой/маслом или аналогичных мер;

c) тщательный подбор типа металла для стыков или использование изоляторов и смазочных материалов (смазки высокой вязкости) для минимизации электролиза.

8. Безопасность (от вмешательства человека или представителей живой природы)

Злонамеренное вскрытие или кражу оборудования можно предельно уменьшить путем установления соответствующих конструкций безопасности, таких как защитное ограждение или неподвижные крепления с тем, чтобы конструктивные элементы, представляющие особую ценность, такие как солнечные панели, нельзя было снять без соответствующих ключей или инструментов.

Некоторые нежесткие элементы инфраструктуры, такие как пластик и кабельные оболочки, могут быть легко повреждены животными, например, птицы могут вызвать порчу кабеля. Этому можно противодействовать путем использования армированного кабеля или заключения кабеля в упрочненный футляр.

Физическое разрушение или нарушение ориентации датчиков вследствие задевания датчиков и конструкций крупными животными можно уменьшить путем установления надлежащего ограждения от животных.

9. Потеря объектов инфраструктуры

Во время экстремальных погодных и геофизических явлений электропитание от сети может быть недоступным на протяжении многих дней. Соответствующее батарейное резервное электропитание должно быть предусмотрено по проекту с тем, чтобы оборудование продолжало работать до того времени, когда восстановят электропитание или на площадку смогут прийти специалисты и заменить аккумуляторные батареи.

Кроме того, во время экстремальных погодных и геофизических явлений телекоммуникационные сети могут выходить из строя или быть перегружены на протяжении многих дней. Отключения могут затрагивать только одного оператора, поэтому использование нескольких операторов и каналов связи может быть целесообразным, например, наличие на станции как сотовой, так и спутниковой связи. Аналогично, резервные и/или быстро размещаемые системы могут также помочь минимизировать ущерб от экстремальных явлений.

10. Замечания общего характера

Регулярное техническое обслуживание согласно описанию в части I, глава 1, 1.3.5, повысит устойчивость сооружений к экстремальным явлениям.

Изучение характеристик отклика приборов на экстремальные явления может позволить использовать данные даже в режиме функционирования, не предусмотренном в спецификациях производителя, и настоятельно рекомендуется при наличии такой возможности. Калибровка поврежденных датчиков после экстремальных явлений может позволить восстановить данные, записанные во время экстремальных явлений.

Выполнение этих рекомендаций не гарантирует работу сети во время экстремальных явлений. Человек-оператор может снизить потери данных, хотя экстремальные явления зачастую связаны с высоким риском для жизни человека. Потеря некоторого количества данных в этих условиях является ожидаемой.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.E. ТРЕБОВАНИЯ К ОПЕРАТИВНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ И РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБОРОВ

(См. пояснительные примечания внизу этой таблицы; в первом ряду приводятся номера колонок)

	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
	Переменный параметр	*Диапазон*	*Сообщаемое разрешение*	*Способ измерения/ наблюдения*	*Требуемая погрешность измерения*	*Постоянная времени датчика*	*Время усреднения результатов*	*Достижимая погрешность измерения*	*Примечания*
1.	**Температура**								
1.1	Температура воздуха	–80 – +60 °C	0,1 K	I	0,3 K для ≤ –40 °C 0,1 K для > –40 °C и ≤ +40 °C 0,3 K для > +40 °C	20 с	1 мин	0,2 K	На достижимую погрешность и эффективную постоянную времени может оказывать влияние конструкция метеорологической будки, защищающей термометр от солнечного излучения. Постоянная времени зависит от потока воздуха над датчиком
1.2	Экстремальные значения температуры воздуха	–80 – +60 °C	0,1 K	I	0,5 K для ≤ –40 °C 0,3 K для > –40 °C и ≤ +40 °C 0,5 K для > +40 °C	20 с	1 мин	0,2 K	
1.3	Температура поверхностного слоя воды в море	–2 – +40 °C	0,1 K	I	0,1 K	20 с	1 мин	0,2 K	
1.4	Температура почвы	–50 – +50 °C	0,1 K	I		20 с	1 мин	0,2 K	

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
Переменный параметр	*Диапазон*	*Сообщаемое разрешение*	*Способ измерения/ наблюдения*	*Требуемая погрешность измерения*	*Постоянная времени датчика*	*Время усреднения результатов*	*Достижимая погрешность измерения*	*Примечания*
2. Влажность								
2.1 Температура точки росы	–80 – +35 °C	0,1 K	I	0,1 K	20 с	1 мин	0,25 K	Погрешность измерения зависит от отклонения от температуры воздуха
					Температура смоченного термометра (психрометр)			
2.2 Относительная влажность	0 – 100 %	1 %	I	1 %	20 с	1 мин	0,2 K	В случае прямого измерения и сочетания с температурой воздуха (сухой термометр). Возможны значительные ошибки, обусловленные проблемами вентиляции и поддержания чистоты (см. также примечание 11). Пороговая величина в 0 °C подлежит уведомлению для смоченного термометра
					Твердое и прочее состояния			
					40 с	1 мин	3 %	Постоянная времени и достижимая погрешность датчиков твердого состояния могут показывать значительную зависимость от температуры и влажности

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Переменный параметр	*Диапазон*	*Сообщаемое разрешение*	*Способ измерения/ наблюдения*	*Требуемая погрешность измерения*	*Постоянная времени датчика*	*Время усреднения результатов*	*Достижимая погрешность измерения*	*Примечания*
3.	**Атмосферное давление**								
3.1	Давление	500–1 080 гПа	0,1 гПа	I	0,1 гПа	2 с	1 мин	0,15 гПа	Давление как на уровне станции, так и СУМ. На погрешность измерения существенно влияет динамическое давление, обусловленное действием ветра, если не предпринимается никаких мер предосторожности. Неадекватная компенсация температуры преобразователем может существенно повлиять на погрешность измерения. При измерениях с борта судов на давление на СУМ влияет погрешность при определении высоты барометра
3.2	Барическая тенденция	Не указан	0,1 гПа	I	0,2 гПа			0,2 гПа	Разница между мгновенными значениями

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
	Переменный параметр	*Диапазон*	*Сообщаемое разрешение*	*Способ измерения/ наблюдения*	*Требуемая погрешность измерения*	*Постоянная времени датчика*	*Время усреднения результатов*	*Достижимая погрешность измерения*	*Примечания*
4.	**Облака**								
4.1	Количество облаков	0/8–8/8	1/8	I	1/8	н/п		2/8	Период времени, за который формируется определенная структура облаков, может быть использован для автоматической оценки количества облаков нижнего яруса
4.2	Высота нижней границы облаков	0 м – 30 км	10 м	I	10 м для ≤ 100 м 10 % для > 100 м	н/п		~10 м	Достижимая погрешность измерения может с трудом поддаваться определению. Не существует никакого четкого определения для измеряемой при помощи приборов нижней границы облаков (например, основанного на глубине проникновения или существенном изменении неоднородности профиля ослабления). Значительная погрешность во время осадков
4.3	Высота верхней границы облаков	Нет данных							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Переменный параметр	*Диапазон*	*Сообщаемое разрешение*	*Способ измерения/ наблюдения*	*Требуемая погрешность измерения*	*Постоянная времени датчика*	*Время усреднения результатов*	*Достижимая погрешность измерения*	*Примечания*
5. Ветер								
5.1 Скорость	0–75 м·с$^{-1}$	0,5 м·с$^{-1}$	A	0,5 м·с$^{-1}$ для ≤ 5 м·с$^{-1}$ 10 % для > 5 м·с$^{-1}$	Путь синхронизации 2–5 м	2 и/или 10 мин	0,5 м·с$^{-1}$ для ≤ 5 м·с$^{-1}$ 10 % для > 5 м·с$^{-1}$	Среднее значение за 2 и/или 10 мин. Нелинейные устройства. Необходим тщательный подход к разработке процесса усреднения. Путь синхронизации обычно выражается в виде усредненных величин длины синхронизации, рассчитанных по декартовым компонентам (см. часть IV, глава 3, 3.6 настоящего Руководства). При использовании ультразвуковых анемометров не требуется ни пути синхронизации, ни постоянной времени. Для перемещающихся мобильных станций необходимо учитывать перемещение станции, в том числе связанную с ним погрешность
5.2 Направление	0–360°	1°	A	5°	Коэффициент затухания > 0,3	2 и/или 10 мин	5°	
5.3 Порывы	0,1–150 м·с$^{-1}$	0,1 м·с$^{-1}$	A	10 %		3 с	0,5 м·с$^{-1}$ для ≤ 5 м·с$^{-1}$ 10 % для > 5 м·с$^{-1}$	Следует регистрировать самый сильный порыв, усредненный за 3 с

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
Переменный параметр	*Диапазон*	*Сообщаемое разрешение*	*Способ измерения/ наблюдения*	*Требуемая погрешность измерения*	*Постоянная времени датчика*	*Время усреднения результатов*	*Достижимая погрешность измерения*	*Примечания*
6. Осадки								
6.1 Количество (суточное)	0–500 мм	0,1 мм	T	0,1 мм для ≤ 5 мм 2 % для > 5 мм	н/п	н/п	Более 5 % или 0,1 мм	Общее количество, основанное на суточных количествах. Погрешность измерения зависит от аэродинамической эффективности осадкомеров при сборе осадков и от потерь в результате испарения в нагреваемых осадкомерах
6.2 Высота снежного покрова	0–25 м	1 см	I	1 см для ≤ 20 см 5 % для > 20 см	< 10 с	1 мин	1 см	Средняя высота снежного покрова на территории, репрезентативной для места проведения наблюдений
6.3 Толщина слоя льда при обледенении судов	Не указан	1 см	I	1 см для ≤ 10 см 10 % для > 10 см				

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
Переменный параметр	*Диапазон*	*Сообщаемое разрешение*	*Способ измерения/ наблюдения*	*Требуемая погрешность измерения*	*Постоянная времени датчика*	*Время усреднения результатов*	*Достижимая погрешность измерения*	*Примечания*
6.4 Интенсивность осадков	0,02 мм·ч$^{-1}$ – 2 000 мм·ч$^{-1}$	0,1 мм·ч$^{-1}$	I	(составляющий компонент): н/п для 0,02–0,2 мм·ч$^{-1}$ 0,1 мм·ч$^{-1}$ для 0,2–2 мм·ч$^{-1}$ 5 % для > 2 мм·ч$^{-1}$	< 30 с	1 мин	В условиях постоянного потока в лаборатории — 5 % для величины более 2 мм/ч; 2 % — для величины более 10 мм/ч. В полевых условиях 5 мм/ч и 5 % более 100 мм/ч	Значения погрешности только для жидких осадков. Значительные воздействия на погрешность оказывает ветер. Датчики могут показывать весьма нелинейное поведение. Для < 0,2 мм·ч$^{-1}$: при использовании дождемеров накопительного типа в случае выпадения твердых осадков значительное воздействие оказывается на обнаружение только постоянной времени датчика (да/нет)
6.5 Продолжительность осадков (суточная)	0–24 ч	60 с	T	н/п	60 с			Пороговое значение 0,02 мм/ч

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
Переменный параметр	*Диапазон*	*Сообщаемое разрешение*	*Способ измерения/ наблюдения*	*Требуемая погрешность измерения*	*Постоянная времени датчика*	*Время усреднения результатов*	*Достижимая погрешность измерения*	*Примечания*
7. Радиация								
7.1 Продолжительность солнечного сияния (суточная)	0–24 ч	60 с	Т	0,1 ч	20 с	н/п	Более 0,1 ч или 2 %	
7.2 Чистая радиация, энергетическая экспозиция (суточная)	Не указан	1 Дж·м$^{-2}$	Т	0,4 МДж·м$^{-2}$ для ≤ 8 МДж·м$^{-2}$ 5 % для > 8 МДж·м$^{-2}$	20 с	н/п	15 %	Энергетическая экспозиция, выраженная в виде суточных сумм (количество) (чистой) радиации. Наилучшая достигаемая эксплуатационная погрешность достигается путем сочетания измерений двух пиранометров и двух пиргеометров
7.3 Глобальное нисходящее/ восходящее солнечное излучение	Не указан	1 Дж·м$^{-2}$	Т	2 %	20 с	н/п	5 % (суточное) 8 % (часовое)	Суточное общее излучение
7.4 Нисходящее/ восходящее длинноволновое излучение на поверхность Земли	Не указан	1 Дж·м$^{-2}$	Т	5 %	20 с	н/п	10 %	

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
Переменный параметр	*Диапазон*	*Сообщаемое разрешение*	*Способ измерения/ наблюдения*	*Требуемая погрешность измерения*	*Постоянная времени датчика*	*Время усреднения результатов*	*Достижимая погрешность измерения*	*Примечания*
8. Видимость								
8.1 Метеорологическая оптическая дальность (МОД)	10 м – 100 км	1 м	I	50 м для ≤ 600 м 10 % для > 600 м – ≤ 1 500 м 20 % для > 1 500 м	< 30 с	1 и 10 мин	Более 20 м или 20 %	Достижимая погрешность измерения может зависеть от причины затемнения. Количество, подлежащее усреднению: коэффициент ослабления (см. часть IV, глава 3, 3.6 настоящего Руководства). Предпочтение отдается усреднению логарифмических значений
8.2 Дальность видимости на взлетно-посадочной полосе (ВПП)	10 м – 2 000 м	1 м	A	10 м для ≤ 400 м 25 м для > 400 м – ≤ 800 м 10 % для > 800 м	< 30 с	1 и 10 мин	Более 20 м или 20 %	В соответствии с ВМО-№ 49, том II, дополнение A (издание 2004 г.) и документом ИКАО 9328-AN/908 (второе издание, 2000 г.). Могут существовать другие варианты этих документов, уточняющие другие величины
8.3 Яркость фона	0–40 000 кд·м$^{-2}$	1 кд·м$^{-2}$	I		30 с	1 мин	10 %	Относительно 8,2 ВПП

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
Переменный параметр	*Диапазон*	*Сообщаемое разрешение*	*Способ измерения/ наблюдения*	*Требуемая погрешность измерения*	*Постоянная времени датчика*	*Время усреднения результатов*	*Достижимая погрешность измерения*	*Примечания*
9. Волны								
9.1 Значительная высота волн	0–50 м	0,1 м	A	0,5 м для ≤ 5 м 10 % для > 5 м	0,5 с	20 мин	0,5 м для ≤ 5 м 10 % для > 5 м	Усреднение за 20 мин при измерениях с помощью приборов
9.2 Период волн	0–100 с	1 с	A	0,5 с	0,5 с	20 мин	0,5 с	Усреднение за 20 мин при измерениях с помощью приборов
9.3 Направление волн	0–360°	1°	A	10°	0,5 с	20 мин	20°	Усреднение за 20 мин при измерениях с помощью приборов
10. Испарение								
10.1 Испарения из чаши испарителя	0–100 мм	0,1 мм	T	0,1 мм для ≤ 5 мм 2 % для > 5 мм	н/п			

Примечания:

1. Колонка 1 — основная переменная величина.
2. Колонка 2 — общий диапазон для большинства переменных величин; пределы зависят от местных климатических условий.
3. Колонка 3 — наиболее точное разрешение, как это определено в *Наставлении по кодам* (ВМО-№ 306).
4. Колонка 4:
   I = Мгновенное значение: в целях исключения естественной мелкомасштабной изменчивости и шума в качестве минимального и наиболее приемлемого значения рассматривается значение, усредненное за период в 1 минуту; приемлемы также усредненные значения за периоды вплоть до 10 минут.
   A = Усредненное значение: усредненные значения за фиксированный период времени, как это определено требованиями кодирования.
   T = Суммарные значения: суммарные значения за фиксированный период времени, как это определено требованиями кодирования.
5. Колонка 5 — рекомендованные требования к погрешности измерения для общего оперативного использования, т. е. данные уровня II согласно FM 12, 13, 14, 15 и его соответствующим эквивалентам BUFR. Они были приняты всеми восемью техническими комиссиями и применимы для синоптической, авиационной, сельскохозяйственной и морской метеорологии, гидрологии, климатологии и т. д. Эти требования применимы как к неавтоматическим, так и автоматическим метеорологическим станциям, как это определено в *Наставлении по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 544). Отдельные применения могут иметь менее строгие требования. Указанное значение требуемой погрешности измерения представляет собой погрешность сообщаемого значения по отношению к действительному значению и указывает на тот интервал, в котором находится действительное значение при указанной погрешности. Рекомендуемый уровень вероятности составляет 95 % ($k = 2$), что соответствует уровню 2 σ для нормального (гауссового) распределения переменной величины. Предположение о том, что в расчет приняты все известные поправки, подразумевает, что ошибки в сообщаемых значениях будут иметь среднее значение (или смещение), близкое к нулю. Любое остаточное смещение должно быть незначительным по сравнению с указанным требованием к погрешности измерения. Действительное значение — это значение, которое в оперативных условиях идеально характеризует измеряемую/наблюдаемую переменную величину за репрезентативный временной интервал, на репрезентативной территории и/или в необходимом объеме с учетом размещения и установки приборов.

Примечания *(прод.)*

6. Колонки 2–5 касаются требований, установленных Группой экспертов КОС по потребностям в данных с автоматических метеорологических станций в 2004 г.
7. Колонки 6–8 касаются типовых оперативных рабочих характеристик, установленных Группой экспертов КПМН по технологии приземных наблюдений и методам измерений в 2004 г.
8. Достижимая погрешность измерения (колонка 8) основана на технических характеристиках датчика при номинальной или рекомендованной установке, которая может быть достигнута в оперативной практике. Ее следует рассматривать в качестве практической помощи пользователям при определении достижимых и допустимых требований.
9. н/п = неприменимо.
10. Термин *погрешность* является более желательным по сравнению с термином *точность* (т. е. погрешность соответствует стандартам ИСО/МЭК/ОКРМ по погрешности измерений (ИСО/МЭК (2008)/ОКРМ (ОКРМ)).
11. Температура точки росы, относительная влажность и температура воздуха взаимосвязаны и соответственно взаимосвязаны их погрешности. При усреднении предпочтение отдается абсолютной влажности как главной переменной величине.

СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Объединенный комитет по руководствам в области метрологии, 2012: *Международный словарь метрологии — Основные и общие понятия и связанные термины* (VIM), ОКРМ 200:2012.

Всемирная метеорологическая организация, 1992: *Международный метеорологический словарь* (ВМО-№ 182), Женева.

———, 2008: *Руководство по гидрологической практике* (ВМО-№ 168), том I. Женева.

———, 2010*a*: *Сокращенный окончательный отчет третьей сессии Совместной технической комиссии ВМО/МОК по океанографии и морской метеорологии* (ВМО-№ 1049). Женева.

———, 2010*b*: *Руководство по агрометеорологической практике* (ВМО-№ 134). Женева.

———, 2010*c*: *Руководство по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 488). Женева.

———, 2010*d*: *Наставление по Глобальной системе обработки данных и прогнозирования* (ВМО-№ 485), том I, приложение II-2. Женева.

———, 2010*e*: *Наставление по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 544), том I. Женева.

———, 2011*a*: *Руководство по климатологической практике* (ВМО-No. 100). Женева.

———, 2011*b*: *Технический регламент* (ВМО-№ 49), том I, приложение A. Женева.

Brooks, C.E.P. and N. Carruthers, 1953: *Handbook of Statistical Methods in Meteorology*. MO 538, Meteorological Office, London.

Bureau International des Poids et Mesures, 2006: *The International System of Units (SI)*. BIPM, Sèvres/Paris.

Bureau International des Poids et Mesures/Comité Consultatif de Thermométrie, 1990: The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) (H. Preston Thomas). *Metrologia*, *27*:3–10.

Eisenhart, C., 1963: Realistic evaluation of the precision and accuracy of instrument calibration systems. National Bureau of Standards–C, Engineering and Instrumentation, *Journal of Research*, 67C(2).

International Civil Aviation Organization, 2002: *World Geodetic System – 1984 (WGS-84) Manual*. ICAO Doc 9674–AN/946, Quebec.

International Organization for Standardization, 1994*a*: *Accuracy (Trueness and Precision) of Measurement Methods and Results – Part 1: General Principles and Definitions*, ISO 5725-1:1994/Cor.1:1998. Geneva.

———, 1994*b*: *Accuracy (Trueness and Precision) of Measurement Methods and Results – Part 2: Basic Method for the Determination of Repeatability and Reproducibility of a Standard Measurement Method*, ISO 5725-2:1994/Cor.1:2002. Geneva.

———, 2009: *Quantities and Units – Part 1: General*, ISO 80000-1:2009. Geneva.

International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission, 2008: *Uncertainty of Measurement – Part 3: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, ISO/IEC Guide 98-3:2008, Incl. Suppl. 1:2008/Cor 1:2009, Suppl. 1:2008, Suppl. 2:2011. Geneva. (equivalent to: Joint Committee for Guides in Metrology, 2008: *Evaluation of Measurement Data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, JCGM 100:2008, Corrected in 2010).

International Union of Pure and Applied Physics, 1987: *Symbols, Units, Nomenclature and Fundamental Constants in Physics*. SUNAMCO Document IUPAP-25 (E.R. Cohen and P. Giacomo), reprinted from Physica 146A, pp. 1–68.

Kok, C.J., 2000: *On the Behaviour of a Few Popular Verification Scores in Yes/No Forecasting*. Scientific Report. WR-2000-04. KNMI, De Bilt.

Linacre, E., 1992: *Climate Data and Resources – A Reference and Guide*. Routledge, London.

Murphy, A.H. and R.W. Katz (eds.), 1985: *Probability, Statistics and Decision Making in the Atmospheric Sciences*. Westview Press, Boulder.

National Institute of Standards and Technology, 2008: *Guide for the Use of the International System of Units (SI)* (A. Thompson and B.N. Taylor). NIST Special Publication No. 811, Gaithersburg, United States of America.

Natrella, M.G., 1966: *Experimental Statistics*. National Bureau of Standards Handbook 91, Washington DC.

Orlanski, I., 1975: A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 56:527–530.

World Meteorological Organization, 1966: *International Meteorological Tables* (S. Letestu, ed.) (1973 amendment). (WMO-No. 188, TP. 94). Geneva.

———, 1970: *Performance Requirements of Aerological Instruments: an Assessment Based on Atmospheric Variability* (C.L. Hawson). Technical Note No. 112 (WMO-No. 267, TP. 151). Geneva.

———, 1993: *Siting and Exposure of Meteorological Instruments* (J. Ehinger). Instruments and Observing Methods Report No. 55 (WMO/TD-No. 589). Geneva.

———, 2001: *Lecture Notes for Training Agricultural Meteorological Personnel* (J. Wieringa and J. Lomas) (WMO-No. 551). Geneva.

———, 2002: Station exposure metadata needed for judging and improving the quality of observations of wind, temperature and other parameters (J. Wieringa and E. Rudel). *Papers Presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2002)* Instruments and Observing Methods Report No. 75 (WMO/TD-No. 1123). Geneva.

———, 2003: *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization* (P. Llansó, ed.). World Climate Data and Monitoring Programme (WCDMP) Series Report No. 53 (WMO/TD-No. 1186). Geneva.

———, 2010*f*: *Weather Reporting* (WMO-No. 9), Volume A. Geneva.

———, 2014: *Guide to Meteorological Observing and Information Distribution Systems for Aviation Weather Services* (WMO-No. 731). Geneva.