

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 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 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, *Наставление по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО* (ВМО-№ 1160), *Руководство по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО* (ВМО-№ 1165), *Руководство по системам метеорологических наблюдений и распространения информации для метеорологического обслуживания авиации* (ВМО-№ 731), *Руководство по гидрологической практике* (ВМО-№ 168), *Guide to Agricultural Meteorological Practices* (Руководство по агрометеорологической практике) (WMO-No. 134) и *Руководство по климатологической практике* (ВМО-№ 100)).

Особое значение для инструментальных измерений имеют обеспечение и поддержание качества (ОК). На всем протяжении настоящего Руководства содержатся многочисленные рекомендации с тем, чтобы были удовлетворены заявленные требования к техническим характеристикам. Эти требования описаны в [приложении 1.A](#). В частности, [том V](#) настоящего Руководства посвящен вопросам ОК и менеджмента систем наблюдений. Признается, что исключительно важное значение имеют менеджмент качества и профессиональная подготовка специалистов по приборам. В этой связи по рекомендации КПМН¹ региональные ассоциации ВМО учредили региональные центры по приборам (РЦП) для сохранения стандартов и проведения консультаций по метеорологическим измерениям. Эти РЦП играют ключевую роль в осуществлении стратегии ВМО по обеспечению прослеживаемости, которая описана в [приложении 1.B](#). Круг обязанностей этих центров приводится в [приложении 1.C](#). Кроме того, по рекомендации Совместной технической комиссии ВМО/Межправительственной океанографической комиссии по океанографии и морской метеорологии (СКОММ)² (см. *Совместная комиссия ВМО/МОК по океанографии и морской метеорологии* (ВМО-№ 1049)) была создана сеть региональных центров по морским приборам для выполнения аналогичных функций, связанных с морской метеорологией и другими соответствующими океанографическими измерениями. Круг их обязанностей и места их нахождения представлены в [томе III](#),

¹ Рекомендовано КПМН на ее девятой сессии (1985 г.), рекомендация 19 (КПМН-IX).

² Рекомендовано СКОММ на ее третьей сессии (2009 г.), рекомендация 1 (СКОММ-III).

глава 4, приложение 4.А настоящего Руководства. Кроме того, для проведения обучения в области метеорологии, гидрологии и смежных наук с целью удовлетворения потребностей регионов были созданы региональные учебные центры ВМО³.

Определения и стандарты, изложенные в настоящем Руководстве (см. п. 1.5.1), соответствуют стандартам, принятым на международном уровне. Базовыми документами, к которым необходимо обращаться, являются *Международный метеорологический словарь* (ВМО-№ 182) и *Международный словарь по метрологии — Основные и общие понятия и соответствующие термины (VIM)* (Объединенный комитет по руководствам в метрологии (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 (*Lecture Notes for Training Agricultural Meteorological Personnel* (Сборник лекций для подготовки агрометеорологического персонала) (ВМО-№ 551), *Наставление по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО* (ВМО-№ 1160), 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 (100–3000 км), например фронты, различные циклоны, облачные скопления;
- e) планетарный масштаб (более 3000 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

³ С последней информацией о региональных учебных центрах и их составляющих можно ознакомиться по адресу: <https://community.wmo.int/wmo-regional-training-centres>.

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. п. 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.D](#) 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 прибора на выбранной 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. Рекомендуются, чтобы метаданные были настолько простыми, насколько это практически возможно, а также соответствовали предполагаемому 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 п. 1.3, и происходящих изменениях, включая историю калибровки приборов и их обслуживания, а также изменений в местах их установки и в составе персонала (см. [Руководящие принципы по вопросам климатических метаданных и обеспечению однородности данных](#) (WMO/TD-No. 1186)). 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 природных величин. В [Наставлении по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО](#) (ВМО-№ 1160) дается описание потребностей с точки зрения глобальных, региональных и национальных масштабов и в соответствии с районом применения. ИГСНВ, 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, необходима так называемая «многоприборная» концепция, когда используется алгоритм для расчета результата по выходным данным нескольких приборов измерения.

1.3 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

В [Наставлении по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО](#) (ВМО-№ 1160) 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 настоящего тома):

- Температура воздуха ([глава 2](#))
- Температура почвы ([глава 2](#))
- Атмосферное давление ([глава 3](#))
- Относительная влажность ([глава 4](#))
- Направление и скорость ветра ([глава 5](#))

- Осадки (глава 6)
- Снежный покров (глава 6)
- Солнечное излучение и/или солнечное сияние (главы 7, 8)
- Видимость (глава 9)
- Испарение (глава 10)
- Текущая погода (глава 14)
- Прошедшая погода (глава 14)
- Облачность (количество облаков) (глава 15)
- Тип облачности (глава 15)
- Высота нижней границы облаков (глава 15)

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 (настоящий том, главы 12 и 13), измерения влажности почвы (настоящий том, глава 11), озона и состава атмосферы (настоящий том, глава 16), а на некоторых из них используются системы специальных приборов, описанные в [томе III](#) 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 (см. [том III](#), глава 1 настоящего Руководства).

По мере расширения возможностей автоматических систем постоянно увеличивается соотношение между полностью автоматизированными метеорологическими станциями (АМС) 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 АМС, так и к метеорологическим станциям, обслуживаемым персоналом.

1.3.2 Наблюдатели

Услуги наблюдателей-метеорологов необходимы по ряду следующих причин:

- а) проведение с помощью соответствующих приборов синоптических и/или климатологических наблюдений с необходимой степенью неопределенности и репрезентативности;
- б) 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 [томе V](#), глава 5 настоящего Руководства.

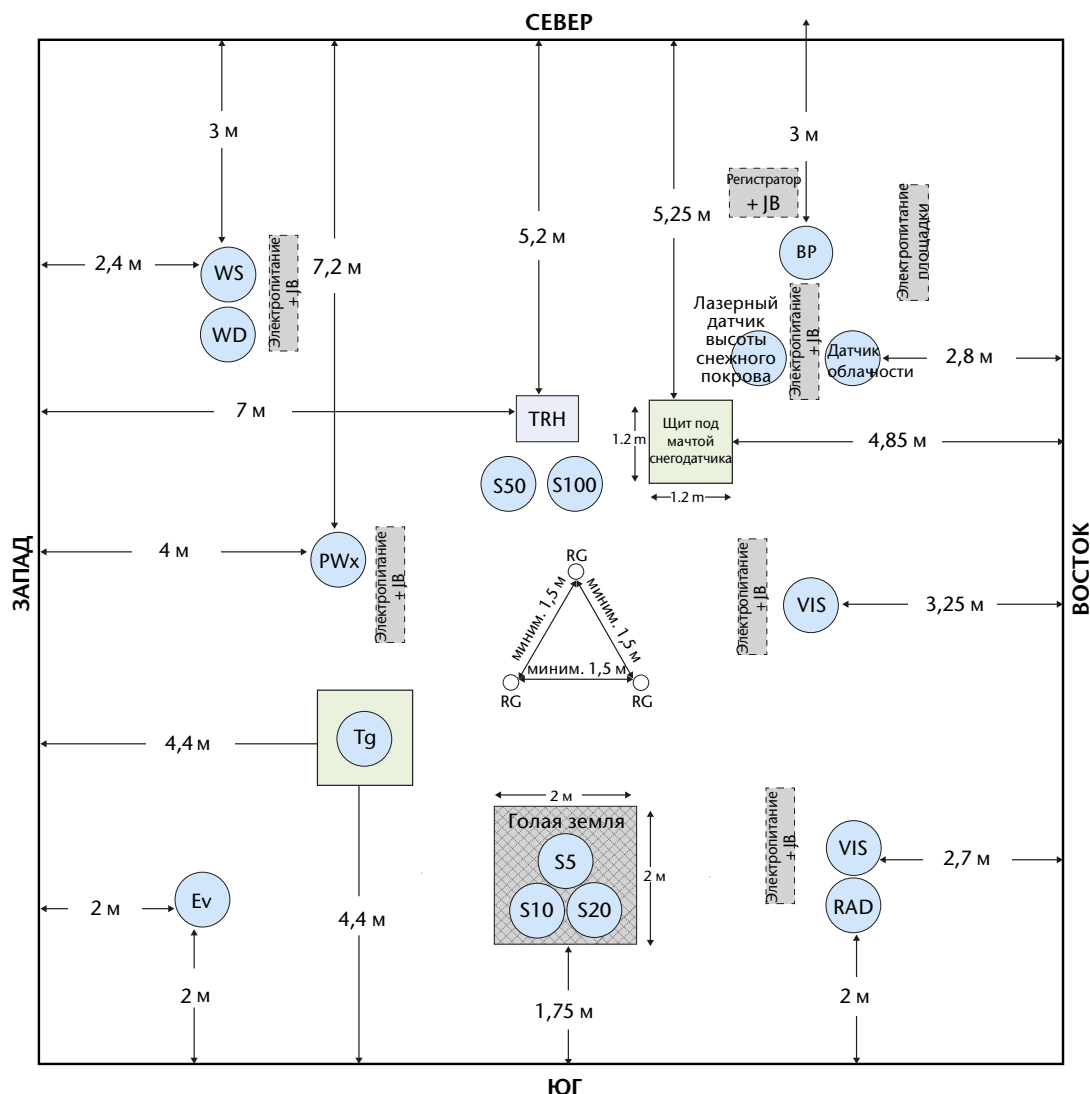
1.3.3 Размещение и установка приборов

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 измерительных приборов. Подробное исследование вопроса о размещении и установке приборов содержится в [Siting and Exposure of Meteorological Instruments](#) (Выбор места и размещение метеорологических приборов) (WMO/TD-No. 589).

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, данная площадка может быть гораздо меньше. 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 (см. [главу 2](#) этого тома) (температура почвы на глубинах более 20 см измеряется за пределами этого оголенного участка земли). Пример плана-схемы подобной станции приводится на рисунке 1.1;



Примечания:

BP	Барометрическое давление	S20	Температура почвы на глубине 20 см
Ev	Испарение	S50	Температура почвы на глубине 50 см
JB	Распределительная коробка для данных	SUN	Продолжительность солнечного сияния
PWx	Текущая погода	Tg	Температура в травостое
RG	Осадкомер	TRH	Температура воздуха и относительная влажность в радиационной защите
RAD	Солнечное излучение (пиранометр)	VIS	Метеорологическая оптическая дальность (визиомер)
S5	Температура почвы на глубине 5 см	WS	Скорость ветра
S10	Температура почвы на глубине 10 см	WD	Направление ветра

Ограждение:

Идеал = ограждение, защищенное от скота
Для обеспечения безопасности могут потребоваться компромиссы

Рисунок 1.1. Пример схемы планировки размещения приборов на наблюдательной метеорологической площадке станции в северном полушарии с указанием типичных расстояний между установками и огороженного участка. Важно убедиться, чтобы фактические расстояния были достаточными, чтобы минимизировать влияние окружающих препятствий.

- 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;
- 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. (ГМЗ96), должно быть точно известно и зарегистрировано⁴. Координатами станции являются (в соответствии с требованиями *Руководства по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО* (ВМО-№ 1165)):

- a) широта в градусах, минутах и целых секундах;
- b) долгота в градусах, минутах и целых секундах;

⁴ Объяснение ВГС-84 и вопросы регистрации, см. ИКАО (ICAO, 2002).

- с) высота станции над средним уровнем моря (СУМ)⁵, 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 СУМ 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.

Если станция находится на аэродроме, то должны также указываться другие высоты (см. [том III](#), глава 2 настоящего Руководства, и [Руководство по системам метеорологических наблюдений и распространения информации для метеорологического обслуживания авиации](#) (ВМО-№ 731)). Определения мер высоты и СУМ даны в [Международном метеорологическом словаре](#) (ВМО-№ 182).

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 1.E](#).

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.F](#) и [Руководящие принципы по вопросам климатических метаданных и обеспечению однородности данных](#) (WMO/TD-No. 1186)).

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

⁵ В публикации ВМО (1992) СУМ определяется как : фиксированный исходный уровень СУМ, описанный хорошо определенным геоидом. В геодезии существует два типа моделей, используемых для определения положения в пространстве. Первая — это эллипсоид, который функционально представляет собой деформированную сферу и является базовой моделью, используемой многими глобальными навигационными спутниковыми системами (ГНСС). Вторая — это геоид, эквипотенциальная поверхность гравитационного поля Земли, которая лучше всего совпадает с глобальным СУМ, рассчитанному по методу наименьших квадратов. ГНСС дают значения высоты относительно эталонного эллипсоида ВГС-84, и их необходимо корректировать для геоида, поскольку эта разница может достигать 100 м. Модель ВГС-84 ГМ396 включает как эталонный эллипсоид ВГС-84, так и геоид ГМ396. Для тех пользователей, которым нужна местная высота, например давление или уровень моря, необходимо применить поправку от высоты ГНСС к геоиду. В некоторых юрисдикциях национальный геодезический орган предоставляет местную поправку от эллипсоида (ВГС-84), которая является более точной и имеет более высокую разрешающую способность по сравнению с геоидом ГМ396.

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-№ 100)) 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 п. [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 (КК), 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 [Наставлении по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО](#) (ВМО-№ 1160).

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 (настоящий том, [глава 3](#), приложение 3.A) и опасным химическим веществам ([том III](#), глава 8, 8.5 и 8.6).

В случае радиозондирования при выборе материалов для радиозондов следует учитывать вопросы загрязнения окружающей среды; в [главе 12](#), приложение 12.C настоящего тома, описаны проблемы и потенциальные решения для каждого компонента радиозонда, доступные в ближайшем будущем.

Оценка общего качества данных измерений может быть получена из Классификаций качества измерений для наземных станций приземных наблюдений ([приложение 1.G](#)). Данная схема в сочетании с Классификациями размещения площадок для станций

приземных наблюдений на суше ([приложение 1.D](#)) является частью метаданных измеряемой величины и дает представление о пригодности измерения для конкретного применения.

1.4.2 Воздействие Минаматской конвенции

Минаматская конвенция о ртути Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП) вступила в силу на глобальном уровне в августе 2017 года. Она запрещает любое производство, импорт и экспорт приборов для наблюдений (термометров, барометров и т. п.), содержащих ртуть (ЮНЕП, 2017). Это соглашение представляет собой глобальный договор по прекращению применения ртути, направленный на защиту как здоровья человека, так и окружающей среды от ее негативного воздействия. Он был согласован на пятой сессии Межправительственного комитета по ведению переговоров в Женеве в январе 2013 года.

Конвенция гласит, что «ни одна Сторона не разрешает посредством принятия соответствующих мер производство, импорт или экспорт продуктов с добавлением ртути, перечисленных в части I приложения А [Конвенции] после наступления предусмотренного для этих продуктов срока поэтапного вывода из обращения». В частности, в этот перечень входят перечисленные ниже неэлектронные измерительные устройства, кроме неэлектронных измерительных устройств, установленных на крупногабаритном оборудовании или используемых для высокоточного измерения, если отсутствуют приемлемые безртутные альтернативные решения:

- a) барометры;
- b) гигрометры;
- c) манометры;
- d) термометры;
- e) сфигмоманометры.

Аналогичное постановление вступило в силу в Европе 10 апреля 2014 года (Постановление Комиссии (ЕК) № 847/2012), и ряд производителей в Европе уже не могут поставлять приборы с содержанием ртути.

В связи с этим более не рекомендуется использовать приборы с содержанием ртути, и настоятельно поощряется принять соответствующие меры для осуществления стратегии перехода, нацеленной на отказ от использования любых приборов, содержащих этот элемент. Благодаря последним достижениям в области электронных и цифровых технологий, сегодня цифровые электронные барометры, термометры и гигрометры находятся на самом современном уровне. Они могут стать экономичной, точной и надежной альтернативой своим опасным ртутным предшественникам и обеспечивают другие значительные преимущества в плане хранения данных и отображения информации в режиме реального времени.

1.4.3 Механические самописцы

Во многих моделях механических 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 ленты

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, ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТЬ И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

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) (Bureau international des poids et mesures), Международной электротехнической комиссией (МЭК), Международной федерацией клинической химии и лабораторной медицины, Международной кооперацией по аккредитации лабораторий, Международной организацией стандартизации (ИСО), Международным союзом чистой и прикладной химии, Международным союзом чистой и прикладной физики и Международной организацией законодательной метрологии, и был опубликован 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:

Международная система единиц (СИ) (Système international d'unités). Система единиц, основанная на Международной системе величин, вместе с наименованиями и обозначениями, а также набором приставок и их наименованиями и обозначениями вместе с правилами их применения, принятая Генеральной конференцией по мерам и весам (CGPM).

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: 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, подготовленный 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.

Метрологическая цепочка прослеживаемости (цепочка прослеживаемости). Последовательность стандартов измерения и калибровок, которая используется для соотнесения результата измерения с эталонной величиной.

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.

Схема соподчинения эталонов и образцовых мер. Последовательность калибровок от эталона до конечной измерительной системы, где результат каждой калибровки зависит от результата предыдущей калибровки.

1.5.2 Обеспечение прослеживаемости

Измерения имеют смысл, если их результаты не колеблются в значительной степени при задействовании разных приборов, операторов или других параметров в ходе измерения. Эта достоверность опирается на нормативные документы, международные соглашения и контроль качества в процессе измерения. Общепринятая практика заключается в том, чтобы проводить оценку качества измерений на основе количественного утверждения, которое представляет собой неопределенность измерения, связанную с результатом измерения. Доверие к результату измерения и указанной неопределенности зависит от прослеживаемости измерений, которая включает в себя непрерывную и документированную цепочку сравнений, связывающую результат измерения с согласованным на международном уровне эталоном измерения.

Измерения должны быть сопоставимы со сформулированным и принятым на международном уровне эталоном, которым в большинстве случаев является СИ. Техническая и организационная инфраструктура была разработана и поддерживается МБМВ. Поддержание национальных стандартов и обеспечение сопоставимости на национальном уровне полагается на национальные метрологические учреждения (НМУ) или назначенные учреждения (НУ). Концепция РЦП была создана региональными ассоциациями для поддержки национальных метеорологических и гидрологических служб (НМГС) в деле распространения информации о прослеживаемости их национальных метеорологических стандартов и соответствующих приборов для мониторинга окружающей среды. Круг ведения РЦП представлен в [приложении 1.С](#).

Ответственность за обеспечение прослеживаемости на национальном уровне возложена на НМГС, которые должны обеспечить все необходимые шаги для достижения цели стратегии. Отсутствие обеспечения прослеживаемости сильно снижает доверие к измерениям и их использование местными и глобальными сообществами.

Стратегия обеспечения прослеживаемости приводится в [приложении 1.В](#).

В процессе эксплуатации приборы находятся в совершенно иных условиях окружающей среды по сравнению с приборами в контролируемых лабораторных условиях. Факторы, влияющие на измеряемую величину *in vivo* (влияющие величины, нестабильность во времени и т. п.), также должны быть определены количественно и задокументированы для каждого измерения. Оценка влияния прибавляется к значению неопределенности. Только тогда результат измерения можно сравнивать с любым другим прослеживаемым результатом, полученным в другом месте и/или в другое время.

Для содействия стандартизации метеорологических и других соответствующих наблюдений и обеспечения единообразного издания результатов наблюдений и статистических данных были разработаны комплекты стандартных процедур и рекомендованных правил (том V, глава 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 ИСО (ISO, 2009) и Международного союза теоретической и прикладной физики (International Union of Pure and Applied Physics, 1987). СИ следует пользоваться в качестве системы единиц измерения для оценки метеорологических величин, включенных в доклады о международном обмене. Эта система публикуется и обновляется МБМВ (2006). Руководства по использованию системы СИ выпускаются Национальным институтом стандартов и технологии Соединенных Штатов (NIST, 2008) и ISO (2009). С переменными величинами, не определенными в качестве международного условного обозначения в Международной системе количественных величин, но широко применяемыми в метеорологии, можно ознакомиться в [Международных метеорологических таблицах](#) (ВМО-№ 188) и соответствующих главах настоящего Руководства.

При проведении метеорологических наблюдений следует использовать следующие единицы:

- a) атмосферное давление, p , в гектопаскалях (гПа);⁶
- 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 1990 года (МШТ-90; см. BIPM, 1990).
- c) скорость ветра, как при приземных, так и при аэрологических наблюдениях, в метрах в секунду ($\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$);
- 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 (°);

⁶ 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).

- е) относительная влажность, U , в процентах (%);

Примечание: рекомендация МБМВ: «При использовании любого из терминов, %, части на миллион и т. д., важно указать безразмерную величину, значение которой указывается. Например, в [главе 4](#) эта рекомендация выполняется с помощью использования «% ОВ».».

- ф) осадки (общее количество) в миллиметрах (мм) или килограммах на квадратный метр ($\text{кг} \cdot \text{м}^{-2}$);⁷
- г) интенсивность осадков, R_p , в миллиметрах в час ($\text{мм} \cdot \text{ч}^{-1}$) или килограммах на квадратный метр в секунду ($\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$);⁸
- h) эквивалент снеговой воды в килограммах на квадратный метр ($\text{кг} \cdot \text{м}^{-2}$);
- и) испарение в миллиметрах (мм);
- j) видимость в метрах (м);
- к) энергетическая освещенность в ваттах на квадратный метр и энергетическая экспозиция в джоулях на квадратный метр ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$, $\text{Дж} \cdot \text{м}^{-2}$);
- l) продолжительность солнечного сияния в часах (ч);
- m) высота облаков в метрах (м);
- n) количество облаков в октантах;
- о) геопотенциал, используемый в аэрологических наблюдениях, в стандартных геопотенциальных метрах (гп. м).

Примечание: высота, уровень или расстояние уровня представлены относительно определенного эталона. Характерными эталонами являются 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:

- а) абсолютная температура замерзания $T_0 = 273,15 \text{ K}$ ($t = 0,00 \text{ } ^\circ\text{C}$);
- б) абсолютная температура тройной точки воды $T = 273,16 \text{ K}$ ($t = 0,01 \text{ } ^\circ\text{C}$), по определению ИТС-90;
- с) ускорение свободного падения (g_n) = $9,80665 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$.

Величины других констант приведены в [Международных метеорологических таблицах](#) (ВМО-№ 188) и [Техническом регламенте](#) (ВМО-№ 49).

⁷ Предполагает, что 1 мм равен $1 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$ независимо от температуры.

⁸ Рекомендация 3 (КОС-ХII), приложение 1, принята резолюцией 4(ИС-III).

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 п. 1.6.1.2, 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 изложен в [томе V](#), главы 2 и 3 настоящего Руководства.

Термины *точность*, *ошибка*, *погрешность* и *неопределенность* подробно определены в п. 1.6.1.2, 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 $\pm x$ », которое следует понимать как «погрешность x ».

1.6.1.2 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.

Измерительный прибор. Устройство, используемое для проведения измерений либо *самостоятельно, либо в сочетании с одним или несколькими дополнительными устройствами.*

Пример: платиновый термометр сопротивления (ПТР), электронный барометр.

Примечание: термин «прибор» иногда используется без прилагательного «измерительный». Если прибор содержит датчик, можно использовать словосочетание «чувствительный прибор».

Датчик. Элемент системы измерения, который непосредственно подвергается воздействию явления, тела или вещества, несущего измеряемую величину.

Пример: измерительная катушка ПТР, трубка Бурдона манометра.

Примечание: иногда для обозначения этого понятия используется термин «чувствительный элемент».

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 (единица), выражающие вместе размер физической величины.

Пример: длина стержня: 5,34 м.

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

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 (1994a) и ISO (1994b).

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 [томе V](#), глава 4 настоящего Руководства.

1.6.1.3 ***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 осязаемое 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:

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

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 [том V](#), глава 2).

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

1.6.2 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 $\pm 0,1$ К при уровне достоверности 95 %, включая погрешности, указанные в пункте «а», 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.F](#)) 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 приборов 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 КК, 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.

1.6.3 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.

1.6.3.1 **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 распределение⁹, 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 измерительного прибора следует проводить надлежащие калибровки и корректировки. Систематические погрешности, вызванные воздействием условий окружающей среды или местом размещения, могут быть лишь уменьшены;
- 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 $\bar{O}$;

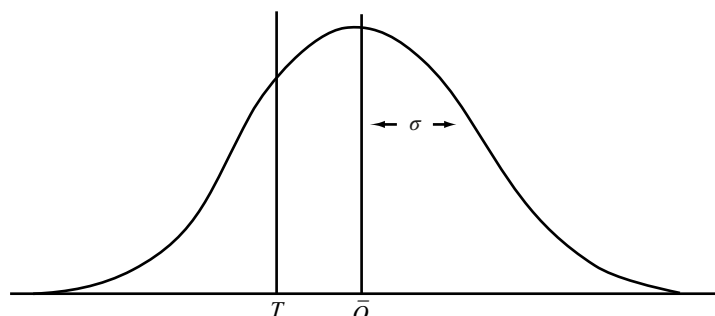


Рисунок 1.2. Распределение данных при инструментальном сравнении.

⁹ Отметим, однако, что несколько метеорологических переменных не соответствуют гауссову распределению. См. п. 1.6.3.2.3.

- с) 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;
- д) 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.

1.6.3.2 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).

1.6.3.2.1 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:

$$\text{верхний предел:} \quad L_U = \bar{X} + k \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1.2)$$

$$\text{нижний предел:} \quad L_L = \bar{X} - k \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1.3)$$

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 .

1.6.3.2.2 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:

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

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

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:

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

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).

1.6.3.2.3 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.

1.6.3.3 **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:

$$\langle \text{суммарная погрешность} \rangle = k \cdot \sigma = 2 \cdot \sigma \quad (1.7)$$

В результате этого действительное значение, определенное в п. 1.6.1.2, будет выражено в следующем виде:

$$\langle \text{действительное значение} \rangle = \langle \text{измеряемая величина} \rangle \pm \langle \text{суммарная погрешность} \rangle = \langle \text{измеряемая величина} \rangle \pm 2\sigma$$

1.6.3.4 **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 2×2 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).

1.6.4 Требования к точности

1.6.4.1 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 [Performance Requirements of Aerological Instruments](#) (Рабочие характеристики аэрологических приборов) (WMO-No. 267). 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.

1.6.4.2 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.A](#)

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.A](#)¹⁰. Перечисленные в нем требования касаются только приземных измерений, данные которых участвуют в международном обмене. В *Наставлении по Глобальной системе обработки данных и прогнозирования* (ВМО-№ 485) 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 измерительных приборов и систем наблюдения удовлетворять указанные потребности постоянно изменяется по мере развития приборного обеспечения и технологии наблюдений. Характеристики типичных приборов или систем, которые используются в настоящее время, представлены в [приложении 1.A](#)¹¹. 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 настоящем томе, [глава 12](#).

¹⁰ Разработано Группой экспертов Комиссии по основным системам (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.

¹¹ Разработано Группой экспертов КПМН по технологии приземных наблюдений и методам измерений (2004 г.) и утверждено президентом КПМН для включения в настоящее Руководство.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.А. ТРЕБОВАНИЯ К ОПЕРАТИВНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ И РАБОЧИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ПРИБОРОВ

(См. пояснительные примечания в конце таблицы; цифры в верхней строке обозначают номера столбцов.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Переменная	Диапазон	Сообщаемое разрешение	Способ измерения/наблюдения	Требуемая погрешность измерения	Постоянная времени прибора	Время усреднения результатов	Достижимая погрешность измерения	Примечания
1. Температура								
1.1 Температура воздуха	–80 °С до 60 °С	0,1 К	I	0,3 К для ≤ -40 °С 0,1 К для > -40 °С и ≤ 40 °С 0,3 К для > 40 °С	20 с	1 мин	0,2 К	На достижимую погрешность и фактическую постоянную времени может оказывать влияние конструкция метеорологической будки, защищающей термометр от солнечного излучения. Постоянная времени зависит от потока воздуха над чувствительным элементом
1.2 Экстремальные значения температуры воздуха	–80 °С до 60 °С	0,1 К	I	0,5 К для ≤ -40 °С 0,3 К для > -40 °С и ≤ 40 °С 0,5 К для > 40 °С	20 с	1 мин	0,2 К	
1.3 Температура поверхности моря	–2 °С до 40 °С	0,1 К	I	0,1 К	20 с	1 мин	0,2 К	
1.4 Температура почвы	–50 °С до 50 °С	0,1 К	I		20 с	1 мин	0,2 К	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Переменная	Диапазон	Сообщаемое разрешение	Способ измерения/наблюдения	Требуемая погрешность измерения	Постоянная времени прибора	Время усреднения результатов	Достижимая погрешность измерения	Примечания
2. Влажность								
2.1 Температура точки росы	–80 °С до 35 °С	0,1 К	I	0,1 К	20 с	1 мин	0,25 К	Погрешность измерения зависит от отклонения от температуры воздуха
2.2 Относительная влажность	0 % – 100 %	1 %	I	1 %	Температура смоченного термометра (психрометр)			
					20 с	1 мин	0,2 К	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 °С подлежит уведомлению для смоченного термометра
					Твердое и прочие состояния			
					40 с	1 мин	3 %	Постоянная времени и достижимая погрешность приборов измерения твердого состояния могут показывать значительную зависимость от температуры и влажности

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Переменная</i>	<i>Диапазон</i>	<i>Сообщаемое разрешение</i>	<i>Способ измерения/наблюдения</i>	<i>Требуемая погрешность измерения</i>	<i>Постоянная времени прибора</i>	<i>Время усреднения результатов</i>	<i>Достижимая погрешность измерения</i>	<i>Примечания</i>
3. Атмосферное давление								
3.1 Давление	500–1080 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
<i>Переменная</i>	<i>Диапазон</i>	<i>Сообщаемое разрешение</i>	<i>Способ измерения/наблюдения</i>	<i>Требуемая погрешность измерения</i>	<i>Постоянная времени прибора</i>	<i>Время усреднения результатов</i>	<i>Достижимая погрешность измерения</i>	<i>Примечания</i>
4. Облачность								
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
Переменная	Диапазон	Сообщаемое разрешение	Способ измерения/наблюдения	Требуемая погрешность измерения	Постоянная времени прибора	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	В среднем более 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. том V, 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°	Степень 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
<i>Переменная</i>	<i>Диапазон</i>	<i>Сообщаемое разрешение</i>	<i>Способ измерения/наблюдения</i>	<i>Требуемая погрешность измерения</i>	<i>Постоянная времени прибора</i>	<i>Время усреднения результатов</i>	<i>Достижимая погрешность измерения</i>	<i>Примечания</i>
6. Осадки								
6.1 Количество (суточное)	0–500 мм	0,1 мм	Т	0,1 мм для ≤ 5 мм 2% для > 5 мм	н/п	н/п	Большее значение из 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
Переменная	Диапазон	Сообщаемое разрешение	Способ измерения/наблюдения	Требуемая погрешность измерения	Постоянная времени прибора	Время усреднения результатов	Достижимая погрешность измерения	Примечания
6.4 Интенсивность осадков	0,02 – 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 % выше 2 мм·ч ⁻¹ , 2 % выше 10 мм·ч ⁻¹ В полевых условиях 5 мм·ч ⁻¹ и 5 % выше 100 мм·ч ⁻¹	Значения погрешности только для жидких осадков. Значительные воздействия на погрешность оказывает ветер. Приборы 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 постоянную времени прибора в режиме только обнаружения (да/нет)
6.5 Продолжительность осадков (суточная)	0–24 ч	60 с	T	н/п	60 с			Пороговое значение 0,02 мм·ч ⁻¹

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Переменная</i>	<i>Диапазон</i>	<i>Сообщаемое разрешение</i>	<i>Способ измерения/ наблюдения</i>	<i>Требуемая погрешность измерения</i>	<i>Постоянная времени прибора</i>	<i>Время усреднения результатов</i>	<i>Достижимая погрешность измерения</i>	<i>Примечания</i>
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
Переменная	Диапазон	Сообщаемое разрешение	Способ измерения/наблюдения	Требуемая погрешность измерения	Постоянная времени прибора	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 — $\leq 1\,500$ м 20% для $> 1\,500$ м	< 30 с	1 и 10 мин	Наибольшее из: 20 м или 20 %	Достижимая погрешность измерения может зависеть от причины затемнения. Количество, подлежащее усреднению: коэффициент ослабления (см. том V, глава 3, 3.6 настоящего Руководства). Предпочтение отдается усреднению логарифмических значений
8.2 Дальность видимости на взлетно-посадочной полосе	10 – 2000 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 Международной организации гражданской авиации (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%	Связано с 8.2 "Дальность видимости на взлетно-посадочной полосе"

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Переменная	Диапазон	Сообщаемое разрешение	Способ измерения/наблюдения	Требуемая погрешность измерения	Постоянная времени прибора	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 волны	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 прочего. Эти требования применимы как к неавтоматическим метеорологическим станциям, так и АМС, как это определено в *Наставлении по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО* (ВМО-№ 1160). 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 2σ для нормального (гауссова) 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 АМС 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 прибора 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 (2008)).
 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.
-

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.В. СТРАТЕГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ

1. ВВЕДЕНИЕ

Сопоставимость измерений и результатов калибровки играет ключевую роль для многих областей применения: разумеется, от оценки изменчивости и изменений климата и до аспектов, способных повлечь за собой серьезные экономические и правовые последствия в контексте выпуска предупреждений о суровых погодных явлениях для защиты жизни людей и их средств к существованию.

Обеспечение метрологической прослеживаемости позволяет получить полную уверенность в правильности результатов измерений, что вызывает доверие к последующим видам применения данных измерений: прогнозам и предупреждениям, полученным на основе измерений; климатическому анализу и тенденциям, полученным в результате измерений. А это, в свою очередь, ведет к улучшению ситуации в области сокращения рисков бедствий (СРБ), смягчения последствий изменения климата, консультирования лиц, ответственных за разработку политики, здравоохранения и безопасности людей и защиты имущества.

КПМН признала отсутствие прослеживаемости результатов измерений серьезной проблемой, поскольку без регулярного обеспечения прослеживаемости весь потенциал ИГСНВ был бы поставлен под сомнение. В связи с этим КПМН подчеркнула необходимость обратить внимание НМГС на обязательную регулярную калибровку приборов как важнейший инструмент обеспечения требуемой прослеживаемости и качества результатов измерений, в дополнение к профилактическому обслуживанию и периодическим проверкам приборов.

Многие Члены из числа развивающихся стран вообще не располагают лабораторией калибровки для обеспечения сопоставимости их приборов. Некоторые Члены также сталкиваются с трудностями при калибровке своих сетевых приборов и вместо реализации комплексной стратегии калибровки применяют политику проведения поверок в полевых условиях для выявления приборов, не отвечающих требованиям в отношении погрешности, и проведения полной лабораторной калибровки только этих приборов. Поверки в полевых условиях должны охватывать весь диапазон измерений, аналогично плановым калибровкам на месте, и их не следует путать с инспекциями в полевых условиях (см. [том V](#), глава 4, 4.3.4 настоящего Руководства), которые обычно проводятся в один определенный момент (при условиях окружающей среды) и рассматриваются как калибровка «по одной точке».

Стратегия, изложенная в данном приложении, направлена на использование наилучших имеющихся видов практики для укрепления обслуживания в области калибровки и улучшения обеспечения прослеживаемости среди Членов ВМО. Она призвана предоставить широко применяемые руководящие принципы с целью повышения доверия к результатам измерений.

2. ЦЕЛЬ СТРАТЕГИИ

Основной целью стратегии калибровки для гарантии прослеживаемости является обеспечение надлежащей прослеживаемости результатов измерений и калибровки до СИ благодаря непрерывной цепи калибровок, при этом каждая из них вносит вклад в погрешность измерения.

Эта стратегия применима к метеорологическим измерениям, для которых хорошо налажена цепочка прослеживаемости до СИ (например, измерения температуры, атмосферного давления, влажности, скорости ветра, осадков и солнечной радиации).

Стратегия призвана обеспечить руководство по эффективному и действенному достижению этой цели.

3. **ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ СТРАТЕГИИ**

Ответственность за обеспечение прослеживаемости возлагается на Членов ВМО, которые должны обеспечить все необходимые калибровки, а также другие необходимые этапы для достижения цели стратегии.

Каждый НМГС самостоятельно выбирает наиболее приемлемый подход для обеспечения прослеживаемости, но настоятельно рекомендуется обеспечить метрологическую прослеживаемость всех результатов измерений.

4. **СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ**

Если упростить определение ИСО/ОКРМ, метрологическую прослеживаемость можно описать как прямую связь между результатом измерения, выполненного в полевых условиях, и результатом, полученным в процессе калибровки в калибровочной лаборатории. Она гарантирует, что разные методы и приборы измерений, используемые в разных странах в разное время, дают надежные, повторяемые, воспроизводимые, совместимые и сопоставимые результаты измерений. Когда результат измерения прослеживается метрологически, его можно с уверенностью соотнести с международно признанными эталонами измерений.

На вершине цепи метрологической прослеживаемости находится сформулированный и принятый на международном уровне эталон, в большинстве случаев СИ, техническая и организационная инфраструктура для которой была разработана и поддерживается МБМВ (www.bipm.org).

Механизм, посредством которого НМУ демонстрируют эквивалентность международному уровню своих стандартов измерений и выпускаемых ими сертификатов калибровки и измерений, называется Соглашением о взаимном признании Международного комитета мер и весов (СВП МКМВ). Результатом СВП являются признанные на международном уровне (рецензируемые и утвержденные) возможности калибровки и измерений (ВКИ) участвующих учреждений. Утвержденные ВКИ и вспомогательные технические данные размещены в открытом доступе в Главной базе данных сравнений СВП МКМВ (<http://kcdb.bipm.org/>).

НМУ отвечают за поддержание национальных эталонов и обеспечение сопоставимости на национальном уровне либо самостоятельно, либо с помощью НУ. НУ — это учреждения, обладающие большим опытом и действующие на вершине национальной метрологической системы, но не входящие в официальную структуру НМУ. Они призваны отвечать за определенные национальные стандарты и сопутствующее обслуживание, которые не относятся к регулярной сфере деятельности НМУ.

Дальнейшее обеспечение сопоставимости зависит от аккредитованных лабораторий калибровки, которые внедрили систему менеджмента качества, аккредитованную национальным органом по аккредитации. Национальные органы по аккредитации обычно являются подписантами Соглашения о взаимном признании Организации по международному сотрудничеству в области аккредитации лабораторий, которое обеспечивает принятие сертификатов калибровки и доверие к ним за пределами национальных границ.

По возможности, все измерения в любой конкретной стране должны быть прослеживаемы до СИ.

Принимая во внимание все вышеупомянутое, а также возможности и потребности Членов ВМО, можно выделить следующие сценарии обеспечения (или отсутствия) прослеживаемости (номера указывают на последующие разделы, посвященные этой теме):

- 4.1 полностью гарантируемая прослеживаемость — целевой, высокий уровень достоверности измерений;
- 4.2 гарантируемая прослеживаемость (без аккредитации) — хороший уровень достоверности, но присутствуют некоторые риски; рекомендуется улучшить;
- 4.3 частично гарантируемая прослеживаемость — низкая достоверность и высокий риск; необходимо улучшить;
- 4.4 отсутствие прослеживаемости — невозможно оценить степень достоверности; необходимо безотлагательно улучшить.

4.1 **Полностью гарантируемая прослеживаемость — целевой, высокий уровень достоверности измерений**

Такая гарантия прослеживаемости (рисунок 1.В.1) обеспечивает полную прослеживаемость результатов метеорологических измерений, предоставляемых конкретными НМГС, в соответствии с международными стандартами. Вся цепочка прослеживаемости охвачена аккредитацией в соответствии с ИСО/МЭК 17025 и/или СВП МКМВ.

Полевые приборы НМГС необходимо регулярно калибровать в аккредитованной лаборатории калибровки, обеспечивая наивысшие достижимые погрешности измерений.

В случае, если лаборатория калибровки также аккредитована для проведения калибровок на месте, которые охватывают весь диапазон метеорологических параметров, такие калибровки могут быть выполнены, но при этом следует проявлять особую осторожность в отношении требуемых и достижимых погрешностей.

Если калибровки на месте не охвачены аккредитацией, их не следует использовать для регулярного обеспечения прослеживаемости, а только в качестве проверок в полевых условиях. Проверки в полевых условиях не относятся к обеспечению прослеживаемости. Они могут применяться только в качестве дополнительного КК, направленного на выявление приборов, выходящих за пределы требуемых погрешностей.

Для достижения этого статуса должны быть выполнены следующие предварительные условия:

- НМГС располагает лабораторией калибровки;
- сотрудники лаборатории хорошо обучены и обладают необходимыми компетенциями, чтобы правильно обращаться с лабораторными эталонными приборами и оборудованием;
- калибровочные эталоны и оборудование соответствуют целевым значениям погрешности, требуемым при калибровке метеорологических приборов;
- калибровочные эталоны и оборудование регулярно калибруются и обслуживаются;

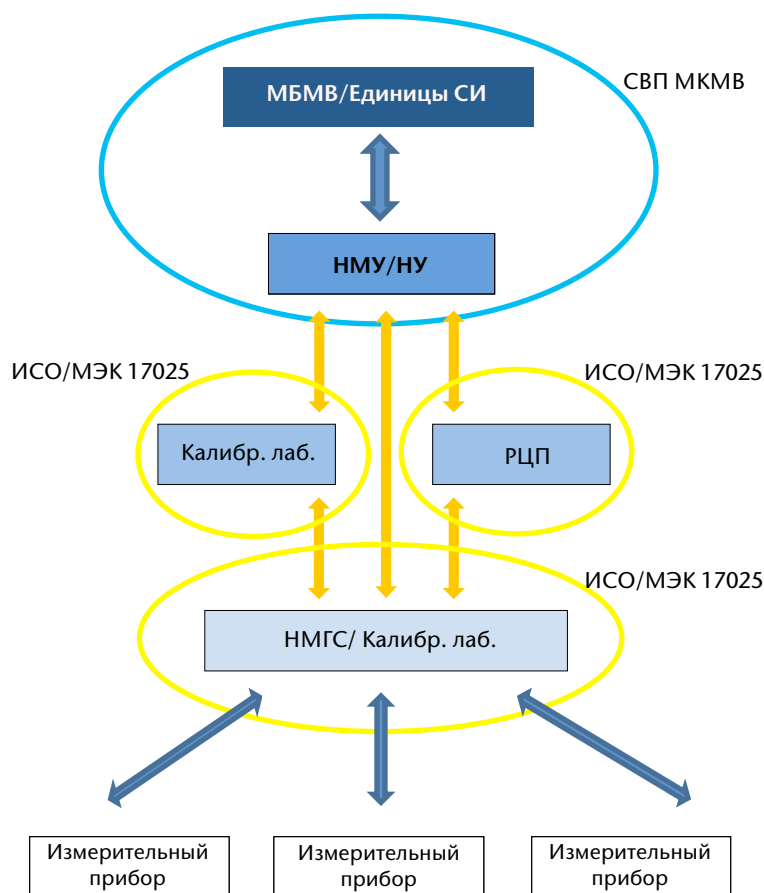


Рисунок 1.В.1. Полностью гарантируемая прослеживаемость — целевой, высокий уровень достоверности измерений

- система менеджмента качества, включая все процедуры калибровки, рабочие инструкции и формы, хорошо документирована и применяется в работе лаборатории;
- лаборатория калибровки аккредитована в соответствии с ИСО/МЭК 17025;
- лаборатория калибровки участвует в межлабораторных сравнениях.

Правление НМГС должно выразить решительную приверженность оказанию поддержки непрерывному укреплению лаборатории калибровки. Это должно сопровождаться четкой политикой в области проведения необходимой регулярной калибровки метеорологических приборов, для которых имеются эталоны, в рамках обязанностей НМГС, включая определенные интервалы калибровки, а также политикой по применению результатов калибровки.

Следует обеспечить прослеживаемость лабораторных эталонов и оборудования посредством калибровки в НМУ, НУ, аккредитованном РЦП ВМО или другой аккредитованной лаборатории калибровки, стремясь удовлетворить потребности Члена в отношении требуемой погрешности.

Совместно с другими соответствующими департаментами лаборатория калибровки НМГС также должна разработать процедуры, направленные на предотвращение пробелов в полевых измерениях из-за деятельности по калибровке. Для этого необходимо иметь небольшой резерв калиброванных приборов, которые можно будет использовать в качестве запасного комплекта для приборов в сети. Извлеченные из сети приборы необходимо калибровать в лаборатории, формируя из них, соответственно, новый запасной комплект, и так далее, чтобы охватить всю сеть.

Дополнительный КК можно обеспечить путем проведения неаккредитованных калибровок на месте или поверок в полевых условиях, но только для выявления приборов, выходящих за рамки значений погрешности, указанных в спецификациях. Обнаруженные приборы необходимо откалибровать в соответствии с аккредитованными методами калибровки.

Набор транспортируемых эталонов и/или портативных калибровочных устройств, используемых для неаккредитованных калибровок на месте или поверок в полевых условиях, необходимо регулярно калибровать в аккредитованной лаборатории калибровки и проверять до и после использования в полевых условиях.

4.2 **Гарантируемая прослеживаемость (без аккредитации) — хороший уровень достоверности, но присутствуют некоторые риски; рекомендуется улучшить**

Этот тип обеспечения прослеживаемости (рис. 1.В.2) так же уместен и приемлем, но он не обеспечивает полной прослеживаемости результатов метеорологических измерений. Он применим к НМГС, имеющим средства калибровки, но не имеющим аккредитации в соответствии с ИСО/МЭК 17025. Несмотря на отсутствие аккредитации у этих лабораторий калибровки, их калибровочные эталоны должны быть откалиброваны в аккредитованных лабораториях калибровки, аккредитованных РЦП или в лабораториях, подписавших СВП МКМВ. Наименее подходящим, но все же приемлемым способом может стать калибровка, выполненная неаккредитованным РЦП, но этот РЦП должен доказать полностью гарантируемую прослеживаемость своих калибровочных эталонов.

Полевые приборы НМГС должны калиброваться либо в лаборатории калибровки (если она имеется), либо на месте с помощью портативных калибровочных устройств,

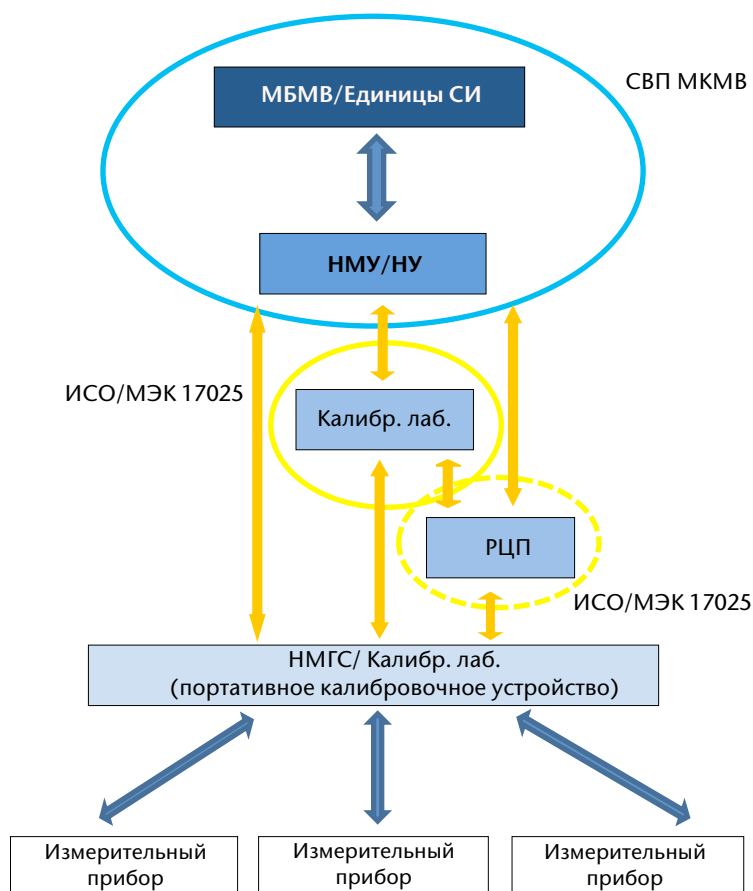


Рисунок 1.В.2. Гарантируемая прослеживаемость (без аккредитации) — хороший уровень достоверности, но присутствуют некоторые риски; рекомендуется улучшить

которые калибруются в аккредитованных лабораториях и охватывают весь диапазон метеорологических параметров. Все калибровки должны проводиться на регулярной основе, обеспечивая наивысшую достижимую погрешность измерений.

Поверки в полевых условиях могут применяться в качестве дополнительного КК, направленного на выявление приборов, выходящих за рамки требуемых значений погрешности, но не для обеспечения прослеживаемости.

Для достижения этого статуса должны быть выполнены следующие предварительные условия:

- в НМГС имеется лаборатория калибровки или по крайней мере портативные калибровочные устройства, охватывающие весь спектр измеряемых метеорологических параметров;
- сотрудники лаборатории хорошо обучены и обладают необходимыми компетенциями, чтобы правильно обращаться с калибровочными эталонами и оборудованием;
- калибровочные эталоны и оборудование соответствуют целевым значениям погрешности, требуемым при калибровке метеорологических приборов;
- калибровочные эталоны и оборудование регулярно калибруются и обслуживаются.

Кроме того, настоятельно рекомендуется обеспечить следующие условия:

- система менеджмента качества, включая все процедуры калибровки, рабочие инструкции и формы, должна быть документирована и применяться в работе лаборатории;
- несмотря на отсутствие аккредитации, средства калибровки должны отвечать требованиям стандарта ИСО/МЭК 17025;
- участие в межлабораторных сравнениях, что будет очень полезно.

Прослеживаемость лабораторных эталонов и оборудования должна быть обеспечена путем калибровки в НМУ, НУ, РЦП или в другой аккредитованной лаборатории калибровки. Неаккредитованные РЦП должны доказать прослеживаемость своих эталонов до СИ через аккредитованную лабораторию, НМУ или НУ.

Приветствуется решительная приверженность правления НМГС оказанию поддержки непрерывному укреплению средств калибровки. Это должно сопровождаться определенной политикой в области проведения необходимой регулярной калибровки всех метеорологических приборов, в рамках обязанностей НМГС, включая интервалы калибровки, а также политикой по применению результатов калибровки.

Необходимо разработать процедуры, направленные на предотвращение пробелов в полевых измерениях из-за деятельности по калибровке. Одно из возможных решений заключается в том, чтобы в распоряжении НМГС находился небольшой запас калиброванных приборов, которые можно было бы использовать в качестве запасного комплекта для приборов в сети. Извлеченные из сети приборы необходимо регулярно калибровать, формируя из них, соответственно, новый запасной комплект, и так далее, чтобы охватить всю сеть.

Дополнительный КК можно обеспечить путем проведения поверок в полевых условиях, но только для выявления приборов, выходящих за рамки значений погрешности, указанных в спецификациях. Набор транспортируемых эталонов или портативных калибровочных устройств, используемых для поверок в полевых условиях, необходимо регулярно калибровать в лаборатории калибровки и проверять до и после использования в полевых условиях.

4.3 Частично гарантируемая прослеживаемость — низкая достоверность и высокий риск; необходимо улучшить

Этот способ обеспечения прослеживаемости (рис. 1.В.3) является наименее подходящим и должен применяться только в тех случаях, когда два вышеупомянутых сценария неприменимы. Он применим к НМГС, не имеющим лаборатории калибровки и портативных калибровочных устройств, но имеющим комплект для проведения инспекции в полевых условиях.

Комплект для инспекции в полевых условиях необходимо регулярно калибровать в аккредитованных лабораториях калибровки, аккредитованных РЦП, лабораториях калибровки, подписавших СВП МКМВ, или в худшем случае в неаккредитованных РЦП или лабораториях калибровки. К последнему варианту следует прибегать только при отсутствии всех вышеупомянутых возможностей и только в том случае, если эти лаборатории могут доказать полностью гарантируемую прослеживаемость своих калибровочных эталонов.

Инспекция в полевых условиях не эквивалентна регулярной калибровке в лаборатории или поверке в полевых условиях, но может быть приемлемым способом обеспечения качества наблюдений в сети. Инспекцию в полевых условиях можно рассматривать в качестве «калибровки по одной точке».

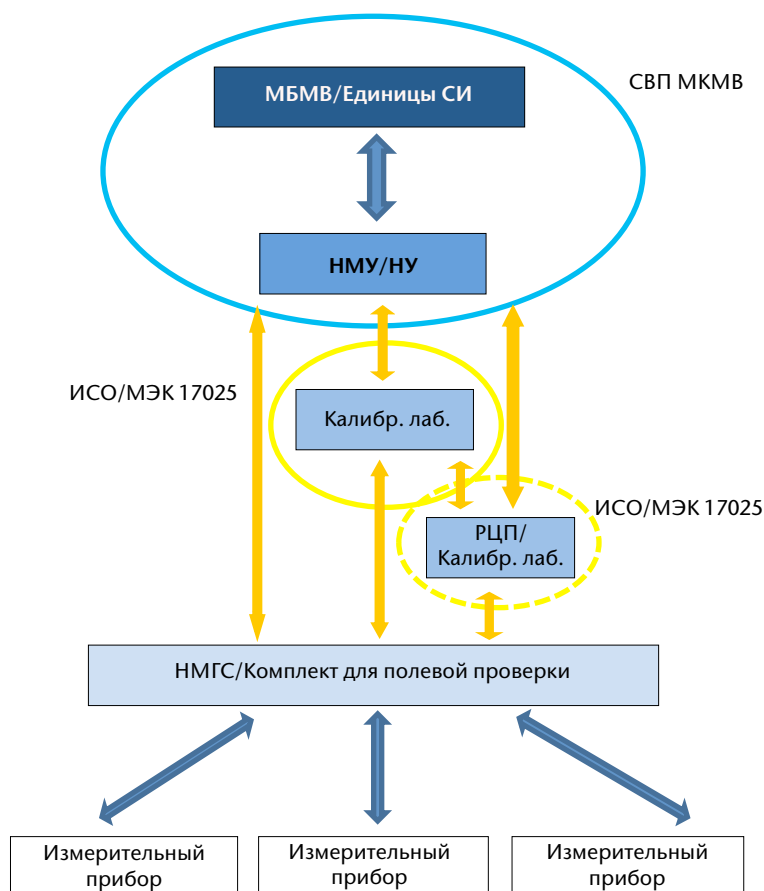


Рисунок 1.В.3. Частично гарантируемая прослеживаемость — низкая достоверность и высокий риск; необходимо улучшить

- В целях обеспечения хотя бы частично гарантируемой прослеживаемости Членам рекомендуется добиться следующего:
- необходимо приобрести комплект для инспекции в полевых условиях с требуемыми метрологическими характеристиками в отношении полевых приборов и с сертификатом калибровки, выданным аккредитованной лабораторией калибровки;
- экономически оправданный комплект для инспекции в полевых условиях должен включать в себя передвижные приборы для измерения, как минимум, давления, температуры, влажности и количества осадков;
- комплект для инспекции в полевых условиях необходимо регулярно калибровать в аккредитованной лаборатории калибровки, аккредитованном РЦП или НМУ либо НУ. В случае, если аккредитованное обслуживание в области калибровки недоступно, выбранная лаборатория калибровки должна продемонстрировать полностью гарантируемую прослеживаемость;
- комплект для инспекции в полевых условиях должен быть проверен до и после использования в полевых условиях и перепроверен, если имеется более одного комплекта;
- сотрудники, которые будут работать с комплектом для инспекции в полевых условиях, должны быть хорошо обучены и компетентны для проведения инспекций в полевых условиях;
- технические процедуры по эксплуатации комплекта для инспекции в полевых условиях должны быть задокументированы;
- инспекции в полевых условиях должны проводиться на регулярной основе;
- результаты инспекций в полевых условиях необходимо документировать.

4.4 **Отсутствие прослеживаемости — не применимо**

Отсутствие метрологической прослеживаемости приводит к недостаточной надежности метеорологических измерений и, следовательно, сильно снижает достоверность результатов данных измерений, таких как прогнозы погоды, предупреждения и анализ климата. В конечном счете, это ставит под вопрос пользу метеорологических измерений для мирового сообщества. Таким образом, непрослеживаемые результаты измерений влекут за собой весьма серьезные последствия.

В связи с этим прослеживаемость измерений имеет существенно важное значение, и Членам ВМО настоятельно рекомендуется обеспечить прослеживаемость всех измерений, находящихся в их ведении.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.С. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЦЕНТРЫ ПО ПРИБОРАМ

Примечание: информация о возможностях и мероприятиях РЦП размещена по адресу: https://community.wmo.int/activity-areas/imop/Regional_Instrument_Centres.

На своей семнадцатой сессии, состоявшейся в 2018 году, Комиссия по приборам и методам наблюдений рекомендовала¹ следующий круг ведения для всех РЦП.

Региональные центры по приборам должны обладать следующими возможностями для выполнения своих соответствующих функций:

Возможности:

- a) РЦП должен иметь необходимые технические средства и лабораторное оборудование, с тем чтобы выполнять функции, необходимые для калибровки метеорологических и соответствующих приборов для измерения параметров окружающей среды;
- b) РЦП должен обслуживать комплект эталонных метеорологических приборов и обеспечивать прослеживаемость своих собственных стандартов измерений и измерительных приборов до системы единиц СИ;
- c) РЦП должен иметь квалифицированный управленческий и технический персонал для выполнения своих функций;
- d) РЦП должен располагать техническими процедурами для калибровки метеорологических и соответствующих приборов для измерения параметров окружающей среды, пользуясь калибровочным оборудованием, применяемым РЦП;
- e) РЦП должен иметь системы менеджмента качества, желательную соответствующую стандарту ИСО/МЭК 17025, и обеспечивать ее работу;
- f) РЦП должен участвовать в межлабораторных сравнениях эталонных калибровочных приборов и методов и/или организовывать такие сравнения;
- g) РЦП должен, по мере целесообразности, использовать доступные ресурсы и возможности, согласно наивысшим интересам Членов;
- h) РЦП должен, по мере возможности, пользоваться международными стандартами, применяемыми для калибровочных лабораторий, такими как ИСО/МЭК 17025²;
- i) РЦП должен обеспечить проведение оценки своей работы авторитетным органом или группой по оценке ВМО как минимум раз в четыре года для проверки его возможностей и эффективности.

Соответствующие функции:

- a) РЦП должен оказывать помощь Членам Региона и, по возможности, другим Регионам в проведении калибровки их национальных метеорологических эталонов и соответствующих приборов для мониторинга окружающей среды;

¹ Рекомендация 2 (КПМН-17).

² РЦП, имеющие аккредитацию по хотя бы одному параметру, называются «РЦП, аккредитованными по ИСО/МЭК 17025».

- b) РЦП должен участвовать в межлабораторных сравнениях приборов и/или организовывать их, а также оказывать поддержку взаимным сравнениям приборов, следуя соответствующим рекомендациям ВМО;
- c) согласно соответствующим рекомендациям относительно структуры менеджмента качества ВМО РЦП должен вносить позитивный вклад в деятельность стран-членов, связанную с качеством измерений;
- d) РЦП должен консультировать Члены ВМО по запросам, касающимся эксплуатации и обслуживания приборов, а также наличия соответствующих руководящих материалов;
- e) РЦП должен активно участвовать в организации семинаров по вопросам калибровки и обслуживании метеорологических и соответствующих приборов для измерения параметров окружающей среды или оказывать помощь в такой организации;
- f) РЦП должен вносить вклад в стандартизацию метеорологических и соответствующих измерений параметров окружающей среды;
- g) РЦП должен проводить регулярную оценку потребностей Членов в обслуживании РЦП или оказывать поддержку ее проведению;
- h) РЦП должен регулярно информировать Члены ВМО и сообщать³ на ежегодной основе Секретариату ВМО об обслуживании, предложенном Членам, и осуществленной деятельности.

³ Рекомендуется использовать файл в формате Word RIC-Reporting Form (.docx), размещенный на веб-странице ВМО/ППМН.

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

(В этом приложении представлен текст общего стандарта ИСО/ВМО. Он также опубликован как ИСО 19289:2014(E) с идентичным содержанием)

Примечание: в этом приложении термин «датчик» используется не в том значении, которое указано в п. 1.6.1.2 этой главы. В соответствии с тем определением его следует заменить на термин «инструмент». Поскольку в этом приложении просто воспроизводится текст стандарта ИСО, этот термин был сохранен.

ВВЕДЕНИЕ

Условия окружающей среды на площадке¹ 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 (то есть, от 100 до 1 000 км²).

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

В настоящем приложении² 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 км²). 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.

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

² Если в настоящем *Руководстве* это называется приложением, то в документе ИСО на него ссылаются как на «стандарт».

Принадлежность каждой площадки к определенному классу должна периодически пересматриваться, поскольку условия окружающей среды могут меняться с течением 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 (т. е. > 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 этом томе, глава 2, [2.1.4.2.1](#)). 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 (ИК) 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 $\frac{1}{3}$ (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 тому подобное);
 - 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.

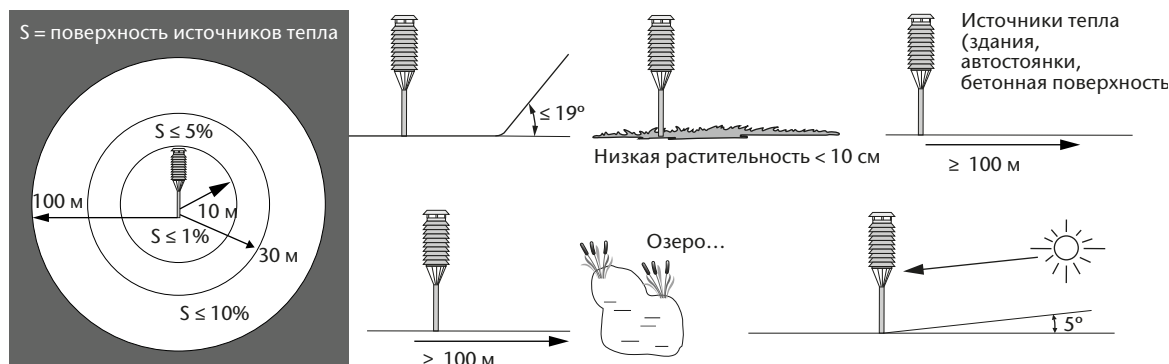


Рисунок 1.D.1. Критерии для температуры воздуха и влажности для площадок класса 1.

2.3 Класс 2

- a) Плоский горизонтальный участок на открытой местности, уклон не более $\frac{1}{3}$ (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 тому подобное);
 - 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.

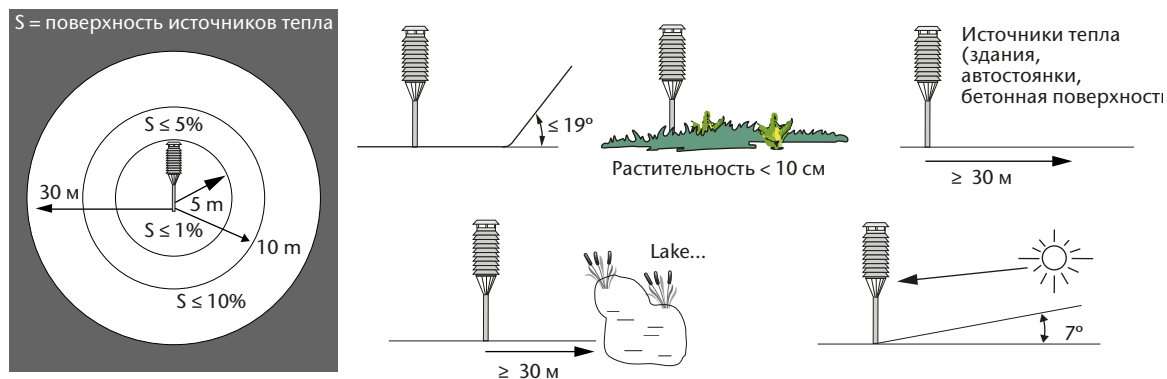


Рисунок 1.D.2. Критерии для температуры воздуха и влажности для площадок класса 2.

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

- Поверхность земли покрыта естественной невысокой растительностью ($< 25\text{ см}$), репрезентативной для региона;
- точка измерения расположена:
 - более чем в 10 м от источников тепла или отражающих поверхностей (здания, бетонные поверхности, парковки машин и тому подобное);
 - более чем в 10 м от водного пространства (за исключением случаев, когда оно занимает значительную часть региона);
- 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.

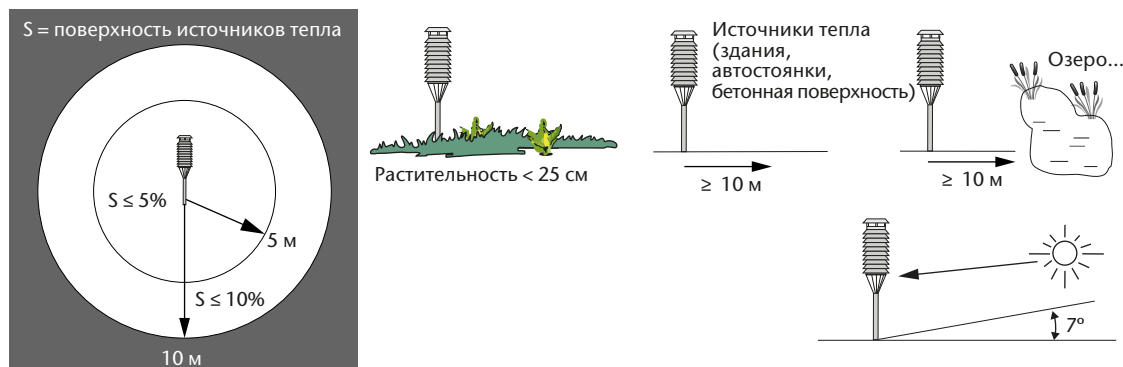


Рисунок 1.D.3. Критерии для температуры воздуха и влажности для площадок класса 3.

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

- a) Близлежащие искусственные источники тепла или отражающие поверхности (здания, бетонные поверхности, парковки машин и тому подобное) 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°.

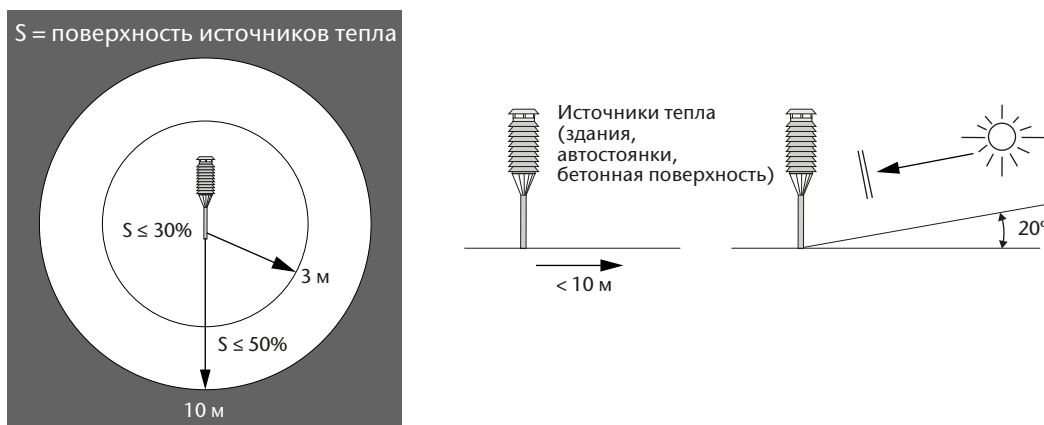


Рисунок 1.D.4. Критерии для температуры воздуха и влажности для площадок класса 4.

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

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

- Плоский горизонтальный участок на открытой местности, уклон не более $\frac{1}{3}$ (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);
- плоский горизонтальный участок на открытой местности, уклон не более $\frac{1}{3}$ (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.

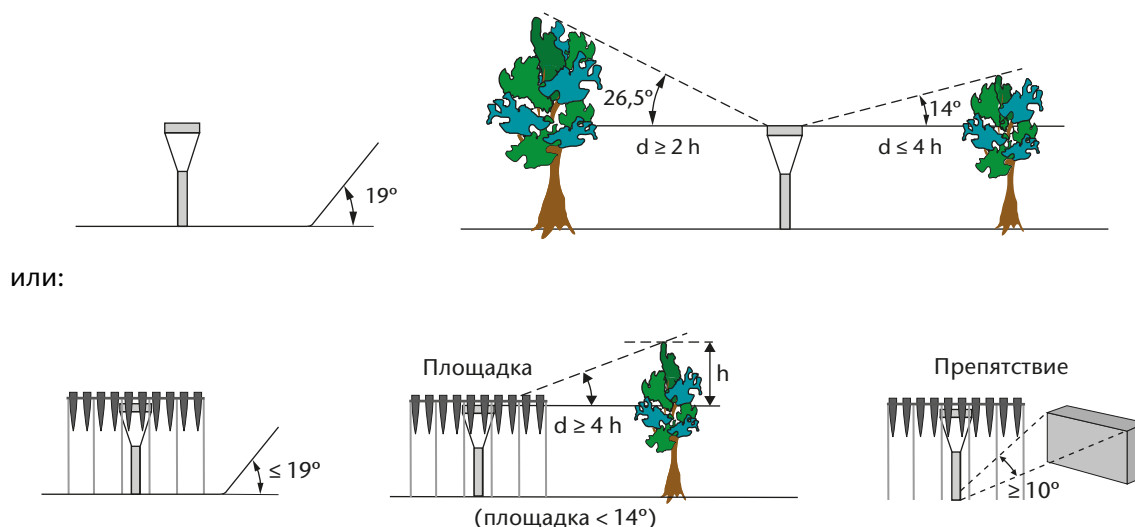


Рисунок 1.D.5. Критерии для осадков для площадок класса 1.

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

- Плоский горизонтальный участок на открытой местности, уклон не более $\frac{1}{3}$ (19°);
- возможные препятствия должны быть расположены на расстоянии, превышающем, по крайней мере, в два раза высоту препятствия (по отношению к высоте приемной поверхности дождемера).

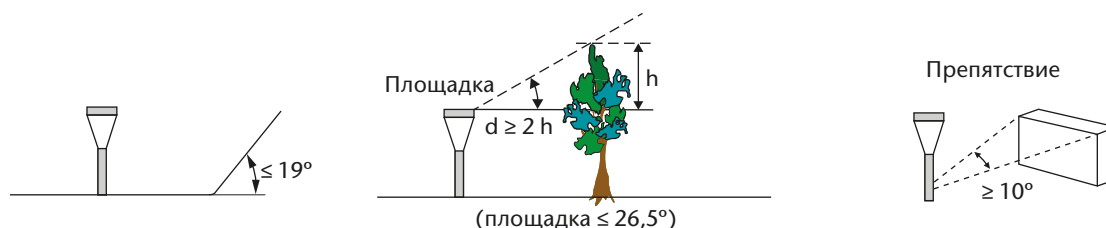


Рисунок 1.D.6. Критерии для осадков для площадок класса 2.

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

- a) Участок на открытой местности, уклон не более $\frac{1}{2}$ ($\leq 30^\circ$);
- b) возможные препятствия должны быть расположены на расстоянии, превышающем высоту препятствия.

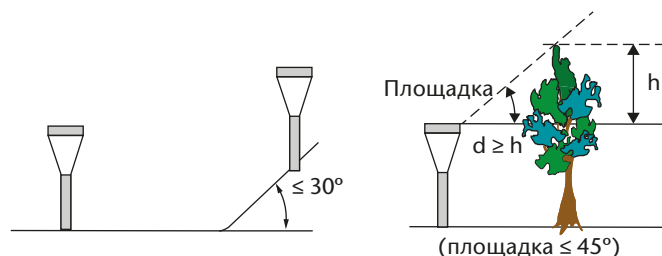


Рисунок 1.D.7. Критерии для осадков для площадок класса 3.

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

- a) Участок с крутым уклоном ($> 30^\circ$);
- b) возможные препятствия должны быть расположены на расстоянии, превышающем половину ($\frac{1}{2}$) высоты препятствия.

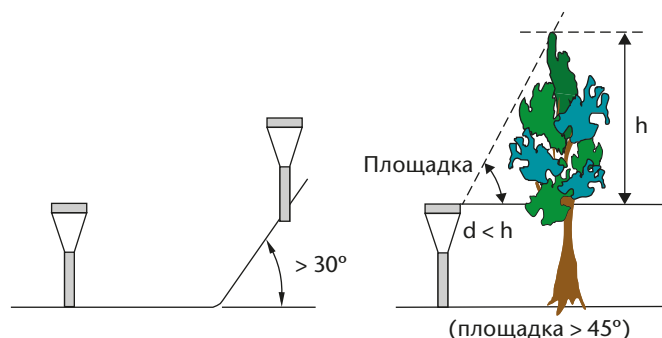


Рисунок 1.D.8. Критерии для осадков для площадок класса 4.

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

Препятствия расположены ближе, чем половина ($\frac{1}{2}$) их высоты (дерево, крыша, стена и тому подобное).

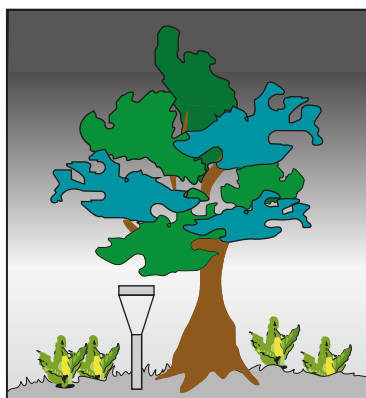


Рисунок 1.D.9. Критерии для осадков для площадок класса 5.

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 настоящем томе, [глава 5](#). Классификация шероховатости из приложения к [главе 5](#) воспроизводится ниже.

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

Класс	Краткое описание местности	z_0 (м)
1	Открытое море, протяженность не менее 5 км	0,0002
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
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

- Мачта должна быть расположена на расстоянии, равном по крайней мере 30-кратной высоте окружающих препятствий;
- датчики должны быть расположены как минимум на расстоянии 15-кратной ширины узких препятствий (мачта, тонкие деревья) выше, чем 8 м.

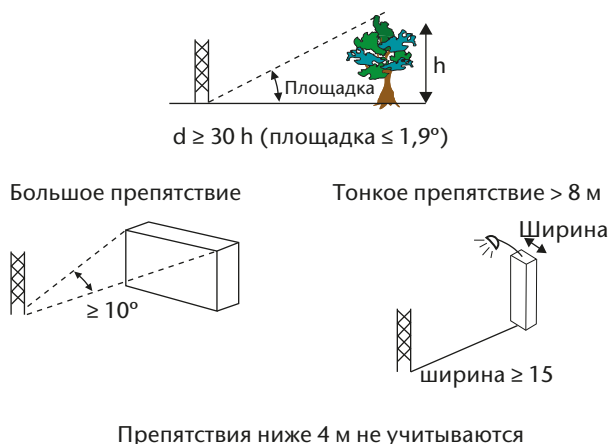


Рисунок 1.D.10. Критерии для приземного ветра для площадок класса 1.

Единичные препятствия ниже 4 м могут не учитываться.

Показатель класса шероховатости равен или меньше 4 (коэффициент шероховатости $\leq 0,1$ м).

Единичные препятствия ниже 4 м могут не учитываться.

Показатель класса шероховатости равен или меньше 5 (коэффициент шероховатости $\leq 0,25$ м).

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

- Мачта должна быть расположена на расстоянии, равном по крайней мере 10-кратной высоте окружающих препятствий;
- датчики должны быть расположены как минимум на расстоянии 15-кратной ширины узких препятствий (мачта, тонкие деревья) выше, чем высота 8 м.

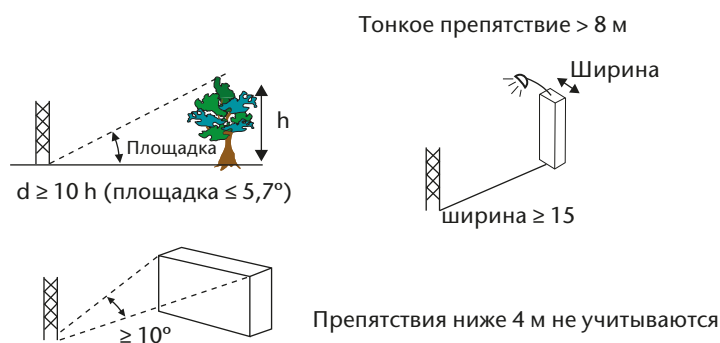


Рисунок 1.D.11. Критерии для приземного ветра для площадок класса 2.

Примечание: когда мачта расположена на расстоянии, равном по крайней мере 20-кратной высоте близлежащих преград, могут быть применены поправки (см. настоящий том, [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)

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

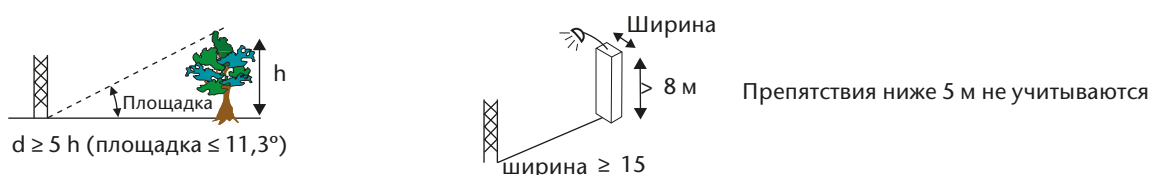


Рисунок 1.D.12. Критерии для приземного ветра для площадок класса 3.

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

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

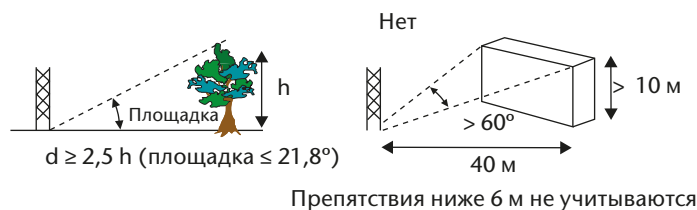


Рисунок 1.D.13. Критерии для приземного ветра для площадок класса 4.

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**

- Отсутствие тени, отбрасываемой на датчик, когда солнце находится на угловой высоте выше 5° . Для регионов на широте $\geq 60^\circ$ этот предел снижается до 3° ;
- отсутствие не имеющих тени отражающих препятствий с угловой высотой выше 5° и общей угловой шириной выше 10° .

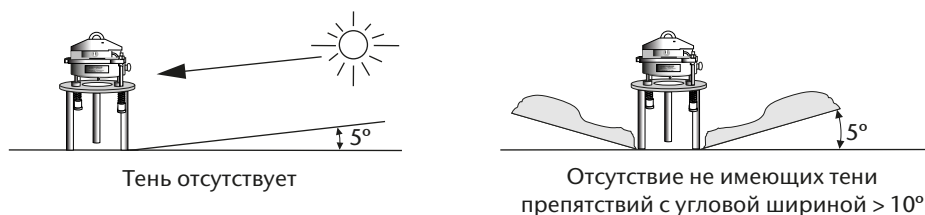


Рисунок 1.D.14. Критерии для глобальной и рассеянной радиации для площадок класса 1.

5.3 Класс 2

- Отсутствие тени, отбрасываемой на датчик, когда солнце находится на угловой высоте выше 7° . Для регионов на широте $\geq 60^\circ$ этот предел снижается до 5° ;
- отсутствие не имеющих тени отражающих препятствий с угловой высотой выше 7° и общей угловой шириной выше 20° .

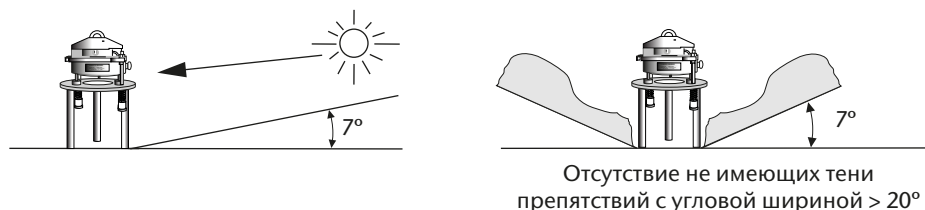


Рисунок 1.D.15. Критерии для глобальной и рассеянной радиации для площадок класса 2.

5.4 Класс 3

- Отсутствие тени, отбрасываемой на датчик, когда солнце находится на угловой высоте выше 10° . Для регионов на широте $\geq 60^\circ$ этот предел снижается до 7° ;
- отсутствие не дающих тени отражающих препятствий с угловой высотой выше 15° и общей угловой шириной выше 45° .

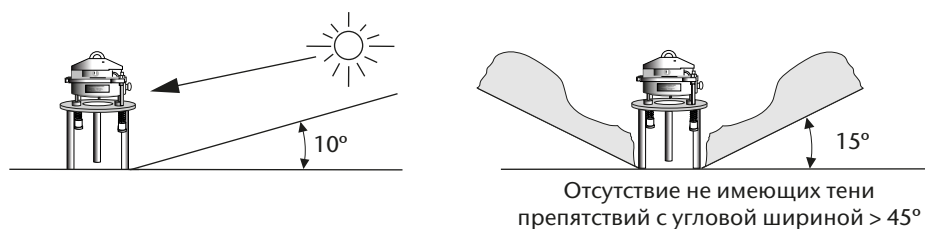


Рисунок 1.D.16. Критерии для глобальной и рассеянной радиации для площадок класса 3.

5.5 Класс 4

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

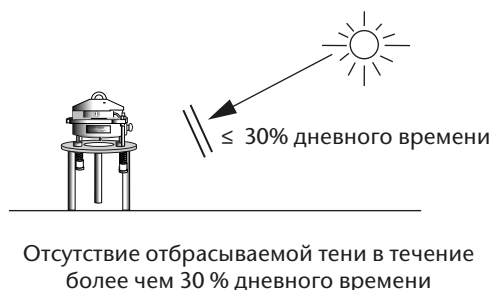


Рисунок 1.D.17. Критерии для глобальной и рассеянной радиации для площадок класса 4.

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° .

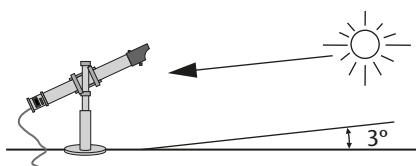


Рисунок 1.D.18. Критерии для прямой радиации и продолжительности солнечного сияния для площадок класса 1.

6.3 Класс 2

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

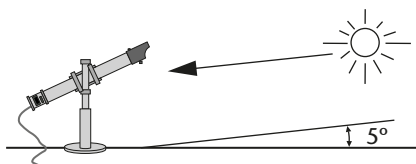


Рисунок 1.D.19. Критерии для прямой радиации и продолжительности солнечного сияния для площадок класса 2.

6.4 Класс 3

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

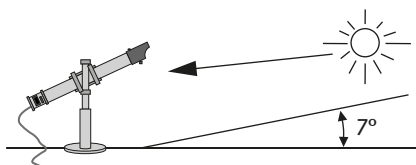


Рисунок 1.D.20. Критерии для прямой радиации и продолжительности солнечного сияния для площадок класса 3.

6.5 Класс 4

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

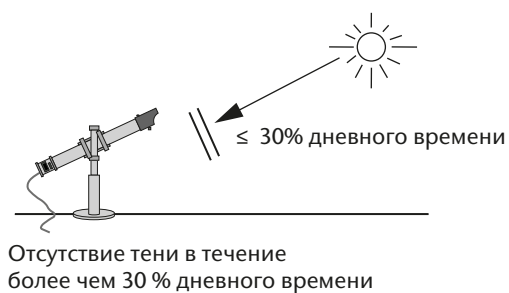


Рисунок 1.D.21. Критерии для прямой радиации и продолжительности солнечного сияния для площадок класса 4.

6.6 Класс 5

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

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.Е. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Экстремальные погодные явления и суровые климатические условия оказывают прямое воздействие на сети наблюдений и могут привести к прерыванию основных функций НМГС. Повреждение систем наблюдения и мониторинга, действующих в режиме реального времени, во время погодного явления может серьезно ограничить эффективность обслуживания в области прогнозирования и предупреждения. Утрата данных наблюдений, передаваемых с задержкой, влияет на способность планировать экстремальные явления и понимать их климатологию.

Опрос на страновом уровне по СРБ ВМО (2006 г.)¹ показал, что засухи, быстроразвивающиеся паводки и наводнения на реках, экстремальные ветры, сильные штормы, тропические циклоны, штормовые нагоны, лесные и стихийные пожары, волны тепла, оползни и опасные для авиации явления относятся к десяти наиболее опасным явлениям, вызывающим обеспокоенность у всех Членов. Важнейшее значение для применения в области СРБ имеет поддержание высокого качества данных наблюдений (исторических и в реальном времени). Эти наблюдения имеют крайне важное значение с точки зрения:

- a) выявления рисков;
- b) уменьшения рисков посредством предоставления заблаговременных предупреждений для поддержки готовности к бедствиям и реагирования на них, а также климатического обслуживания для средне- и долгосрочного планирования по секторам;
- c) передачи риска с помощью страхования и других финансовых инструментов.

Таким образом, сбои в осуществлении мониторинга по причине ущерба, нанесенного приборам и сетям наблюдений в результате природных опасных явлений, препятствуют возможности НМГС предоставлять эффективное обслуживание не только во время и после бедствий, но и в долгосрочной перспективе, если эти системы не будут восстановлены.

В этой связи на своей шестнадцатой сессии КПМН подчеркнула, что крайне важно обеспечить, чтобы приборное оснащение и сети наблюдений разрабатывались в соответствии со стандартами, которые позволят им противостоять воздействию экстремальных погодных явлений.

Ряд факторов влияют на надежность оборудования, как с точки зрения инфраструктуры, так и датчиков, эксплуатируемых в полевых условиях. Наиболее простой и эффективный способ обеспечить доступность системы заключается в том, чтобы заложить в систему надежность с самого начала ее проектирования. Необходимо учесть следующие факторы:

- Доступность данных — один из первых факторов, который необходимо принять во внимание. Есть ли поблизости другие подобные источники информации? Является ли эта информация единственной доступной прогнозистам и, следовательно, критически важной при экстремальных событиях? Если это так, то потребуются приложить больше усилий при проектировании и планировании станции для обеспечения доступности данных. Какие перебои в работе вы можете выдержать? Имеет ли значение, если данные будут регулярно не доступны в течение пяти минут? Имеет ли значение, если они будут недоступны в течение дня? Все эти вопросы определяют способ проектирования системы для обеспечения ее надежности и методы ее эксплуатации.

¹ https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7049.

- Угрозы — какие экстремальные погодные явления могут оказать воздействие на метеостанцию в конкретном месте? В идеальном мире все параметры контролировались бы на самом высоком уровне. Однако реалии, связанные с финансированием, обычно означают, что это невозможно. Определите критически важные параметры и сосредоточьтесь на обеспечении их доступности.
- Воздействие окружающей среды — каждому месту присущи свои трудности. Изучите топографию, чтобы убедиться, что любые сооружения на земле не будут подвержены водной эрозии. Учтите тип почвы, местные источники загрязнения, близость к морю и солевую коррозию, риск вандализма и тому подобное. Эти угрозы оказывают воздействие как на конструкцию, так и на требования к техническому обслуживанию.

После полного понимания необходимости в наблюдениях и оценки сильных и слабых сторон местоположения можно рассмотреть ряд стратегий по смягчению воздействия для максимизации доступности данных наблюдений и минимизации эксплуатационных затрат. Эти подходы можно разделить на несколько категорий, перечисленных в таблице 1.Е.1.

Таблица 1.Е.1. Общие подходы к смягчению воздействия экстремальных условий окружающей среды на приборы и инфраструктуру для наблюдения

<i>Подход</i>	<i>Метод</i>	<i>Преимущество</i>	<i>Недостаток</i>
Дублирование участков	Повышение плотности расположения мест проведения измерений и оборудования в критических районах	Повышенная плотность измерений снижает влияние потери информации с одного участка	Увеличение капитальных затрат и усилий по техническому обслуживанию
		Потенциал для применения более дешевых решений	Риск общего снижения качества и надежности данных
		Возможность контролировать качество сети, потенциально снижая затраты на эксплуатацию и прогнозируя отказы системы	
Дублирование приборов	Дублирование чувствительных или уязвимых приборов на определенном участке	Повышенная доступность данных Большая гибкость при управлении ситуацией в случае перебоя и при эксплуатации	Увеличение капитальных затрат
Использование материалов для инфраструктуры, подходящих для условий окружающей среды	Выбор материалов, предназначенных для эксплуатации в экстремальных условиях (например, морская и высококачественная сталь, пластик, устойчивый к ультрафиолетовому излучению, древесина с высоким содержанием масла)	В зависимости от условий эксплуатации такие материалы прослужат дольше и будут более прочными Снижение нагрузки при эксплуатации	Как правило, они более дорогие как в виде сырья, так и в строительстве
	Используйте защитные корпуса и уплотнения с необходимой маркировкой	Снижение риска повреждения оборудования в результате попадания воды или пыли	Краткосрочные затраты могут быть несколько выше

<i>Подход</i>	<i>Метод</i>	<i>Преимущество</i>	<i>Недостаток</i>
Проектирование	Привлечение инженеров-проектировщиков к проектированию объектов инфраструктуры, такой как мачты	Обеспечивает способность объектов инфраструктуры противостоять воздействию экстремальных погодных явлений Продление срока службы объектов инфраструктуры за счет минимизации нагрузки, вызванной воздействием окружающей среды Сокращение нерациональных проектных решений и сопутствующих расходов	Краткосрочные затраты могут быть несколько выше

Конкретные примеры типов событий и угроз, которые они представляют для объектов инфраструктуры и приборов в ближайшей и долгосрочной перспективе, приводятся в таблице 1.Е.2. Также представлены методы смягчения этих угроз. Эти меры по смягчению последствий соответствуют четырем подходам, представленным в таблице 1.Е.1. Несмотря на их обширность, меры по смягчению последствий не являются исчерпывающими; они представляют собой компиляцию общих знаний и опыта различных НМГС. Применяя любой из этих методов, пользователь должен учитывать влияние на измерения в конкретной ситуации. Хотя меры по смягчению последствий могут сработать для решения конкретной проблемы, они также могут вызвать трудности с точки зрения других параметров. Перед применением любого из этих решений пользователю необходимо принять во внимание особенности конкретной среды.

Таблица 1.Е.2. Экстремальные метеорологические явления, примеры связанных с ними уязвимостей объектов инфраструктуры и датчиков, а также меры по смягчению их последствий

Тип явления	Град	
Причина	Характеристика погодных систем, таких как грозы	
Соображения	*	Как правило, град диаметром менее 2,5 см не считается существенным, в то время как град > 4,5 см образует значительную вмятину на автомобиле, а > 7 см разобьет ветровое стекло
	*	Град имеет диаметр более 2,5 см в менее чем 5 % случаев
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на инфраструктуру	Меры по смягчению последствий
Воздействие	*	Повреждения: обтекатели антенны радиолокатора — вмятины и пробоины; укрытия для наблюдателей — поломка жалюзи; корпуса электроники — вмятины и пробоины; мачты — вмятины, трещины или поломки
	*	Использование высокопрочных материалов (включая сталь, углеродное волокно) для наружной обшивки защитных корпусов и тому подобного и прочных и хорошо закрепленных конструкций
	*	Использование секционных обтекателей антенны радиолокатора, укрытий, защитных кожухов и тому подобного, чтобы их можно было заменять частями
	*	Использование высокопрочных материалов, не требующих окрашивания или нанесения покрытия другими методами
	*	Использование съемных высокопрочных, жестких защитных перекрытий с опорой на конструкцию
	*	Использование высокопрочных и устойчивых к коррозии материалов, не требующих окрашивания или нанесения покрытия другими методами
	*	Использование высокопрочных и устойчивых к коррозии материалов, не требующих окрашивания или нанесения покрытия другими методами
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на датчики	Меры по смягчению последствий
Воздействие	*	Механические анемометры, в частности, повреждение чашек. Маленькие и легкие пластиковые чашки особенно легко повредить
	*	Использование приборов, изготовленных из прочных материалов и предназначенных для работы в суровых условиях. В зависимости от вида применения можно рассмотреть специализированные материалы, такие как углеродное волокно
	*	Использование приборов, креплений и кронштейнов, изготовленных из прочных материалов и предназначенных для работы в суровых условиях. В зависимости от вида применения можно рассмотреть специализированные материалы, такие как углеродное волокно
	*	Приборы для измерения радиации, повреждение их обтекателей
	*	Применение альтернативных технологий, таких как анемометры на основе трубки Пито, которые имеют аэродинамическую конструкцию и минимально открытые компоненты

Тип явления	Паводок	
Причина	Результат значительных погодных систем, включая грозы, циклоны и тому подобное. Паводок может произойти значительно ниже по течению от погодного явления	
Соображения	* Предполагается ли, что система возобновит работу после погружения в воду? * Какое максимальное количество и скорость выпадения осадков можно ожидать? * Подвержен ли участок риску в случае паводка выше по течению?	
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на инфраструктуру	Меры по смягчению последствий
Попадание воды	* Подмывание или смыв установленного на земле оборудования	* Использование систем крепления, которые стабилизируют окружающую почву, распределяя нагрузку. Имеются коммерческие решения, в которых используется погружаемая «тренога» для минимизации возмущения почвы и распределения нагрузки. * Проектирование и выравнивание фундаментов параллельно ожидаемому поверхностному потоку для минимизации гидростатического давления
Коррозия	* Повреждение оборудования в результате воздействия воды или погружения в воду	* Использование таких материалов, как судовая нержавеющая сталь, оцинкованное железо или сталь, подходящие пластмассы; избегайте использования алюминия * Обеспечение, чтобы все разъемы были обернуты гидроизолирующей лентой для предотвращения коррозии * Использование профилактических покрытий и пропитывающих материалов, например, рыбий жир, краска * Использование расходных анодов в морской среде
Загрязнение	* Коррозия металлических деталей, особенно соединительных элементов, сварных швов, соединений	* Регулярный мониторинг данных и регулярные инспекции и техническое обслуживание инфраструктуры и оборудования в уязвимых средах для регулирования режима технического обслуживания * Покрытие сварных швов, соединений и гаек смазкой, например силиконовой, и даже маслом
Скачок напряжения	* Потеря данных из-за сбоя электропитания или связи	* Подключение резервной связи через альтернативного поставщика
Обломки	* Повреждения из-за крупных обломков в водотоке, воздействующих на башни и метеорологические будки * Повреждение защитных покрытий	* Укрепление нижних секций башен до ожидаемой высоты паводка * Проверка того, что все порошковое или другое покрытие не имеет язвин и сколов

Тип явления	Паводок	
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на приборы	Меры по смягчению последствий
Попадание воды	* Любой датчик, не рассчитанный на работу под водой	* Установка корпуса системы сбора данных как можно выше, чтобы не допускать его погружения в воду (например, гидрологическая станция с уровнемерами) * Проектирование и выравнивание фундаментов параллельно ожидаемому поверхностному потоку для минимизации гидростатического давления * Использование уплотнений и корпусов для оборудования с соответствующим рейтингом IP (защита от внешнего воздействия или международная защита), обычно IP67 и выше для волн и брызг
Коррозия	* Оборудование, находящееся в непосредственной близости от сильного потока воды (прямой контакт или эрозия), оказывается под водой	* Использование уплотнений и корпусов для оборудования с соответствующим рейтингом IP, обычно IP67 и выше для волн и брызг
	* Оборудование, повреждаемое в результате воздействия воды или погружения в воду, особенно соединительные элементы, сварные швы, соединения	* Использование уплотнений и корпусов для оборудования с соответствующим рейтингом IP, обычно IP67 и выше для волн и брызг * Отказ от металлов, которые не поддаются пассивации или подвержены коррозии, например низкокачественная сталь * Регулярный осмотр оборудования, чтобы убедиться, что на всех окрашенных поверхностях и других покрытиях нет язвин и сколов * Защита соединений и клемм с помощью лент, пропитанных смазкой/маслом или аналогичных мер * Тщательный подбор типов металла для стыков или использование изоляторов и смазочных материалов (смазки высокой вязкости) для минимизации электролиза
Загрязнение	* Накопление посторонних химических веществ или загрязнений на чувствительных элементах, таких как датчики относительной влажности	* Регулярные проверки и мониторинг данных для регулирования режима технического обслуживания
Обломки	* Повреждения от крупных обломков в водотоке, воздействующих на башни и метеорологические будки	* Подъем приборов и корпусов выше уровня паводка в районах, подверженных паводкам

Тип явления Оползень/грязевой оползень		
Причина	Результат выпадения осадков в сочетании с нестабильной почвой	
Соображения	* Каков уклон поверхности? * Характерен ли для этого района длительный период умеренных осадков?	
<i>Основная опасность</i>	<i>Уязвимость или воздействие на инфраструктуру</i>	<i>Меры по смягчению последствий</i>
Попадание воды	* Подмывание или смыв установленного на земле оборудования	* Использование систем крепления, которые стабилизируют окружающую почву, распределяя нагрузку. Имеются коммерческие решения, в которых используется погружаемая «тренога» для минимизации возмущения почвы и распределения нагрузки * Использование уплотнений и корпусов для оборудования с соответствующим рейтингом IP, обычно IP67 и выше для волн и брызг * Установка корпуса системы сбора данных как можно выше, если датчик может оказаться под водой (например, гидрологическая станция с уровнемерами)
Водное течение	* Подмывание или смыв установленного на земле оборудования	* Использование систем крепления, которые стабилизируют окружающую почву, распределяя нагрузку. Имеются коммерческие решения, в которых используется погружаемая «тренога» для минимизации возмущения почвы и распределения нагрузки. * Проектирование и выравнивание фундаментов параллельно ожидаемому поверхностному потоку для минимизации гидростатического давления
Грязь	* Почти все, полное уничтожение	* Установка оборудования на локализованных насыпях или обработка почвы для перенаправления грязи и воды вокруг оборудования
Обломки	* Почти все, полное уничтожение См. также «Паводок»	* Укрепление нижних секций башен до ожидаемой высоты оползня/грязевого оползня
<i>Основная опасность</i>	<i>Уязвимость или воздействие на приборы</i>	<i>Меры по смягчению последствий</i>
Попадание воды	* Отказ любого датчика, не рассчитанного на работу под водой	* Установка корпуса системы сбора данных как можно выше, если датчик может оказаться под водой (например, гидрологическая станция с уровнемерами) * Использование корпусов датчиков и уплотнений с соответствующим рейтингом IP, обычно IP67 и выше для волн и брызг
Водное течение	* Приборы ломаются или погружаются в грязь	* Установка приборов на высоте, превышающей ожидаемую высоту явления за 20-50 лет
Грязь	* Почти все, полное уничтожение	* Проведение регулярных проверок и мониторинг данных для регулирования режима технического обслуживания

Тип явления		Сильные ветры	
Причина	Экстремальные погодные системы, такие как циклон, гроза и тому подобное, со скоростью ветра более 100 км·ч ⁻¹ (около 27,8 м·с ⁻¹)		
Соображения	* Какую максимальную среднюю и максимальную мгновенную скорость ветра должна выдерживать система? * Много ли деталей, которые могут стать летающими обломками во время явления?		
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на инфраструктуру		Меры по смягчению последствий
Ветер	* Повреждения: обтекатели антенны радиолокатора — вмятины и пробоины; укрытия для наблюдателей — поломка жалюзи; корпуса электроники — вмятины и пробоины; мачты — вмятины, трещины или поломки	* Использование высокопрочных материалов (включая сталь, углеродное волокно) для наружной обшивки защитных корпусов и тому подобного, а также прочных и надежно закрепленных конструкций * Использование секционных обтекателей антенн радиолокатора, укрытий, защитных кожухов и тому подобного, чтобы их можно было заменять частями	
	* Серьезные повреждения конструкций из-за обломков	* Для минимизации повреждений от вибрации использование на мачте башни/треноги оттяжек, закрепленных на подходящих анкерных креплениях, например в бетонном основании или обычном якоря	
	* Повреждения конструкций из-за сопротивления и ветровой нагрузки	* Проверка того, что все отсеки/двери надежно закрываются; рассмотрение возможности подключения предупредительной сигнализации об открытии двери * Где это практически возможно, проектировка инфраструктуры с целью снижения ветровой нагрузки с помощью изогнутых и низкопрофильных поверхностей * Изучение аэродинамики конструкции для минимизации сопротивления и стабилизации сооружения	
	* Разрушение опор объектов инфраструктуры в результате эрозии и ветровой нагрузки	* Регулярные инспекции, особенно после серьезных явлений, для обеспечения структурной целостности фундаментов и креплений	
	* Образование микротрещин, разрушение сварных соединений, ослабление зажимов и тому подобное из-за ветровой вибрации	* Регулярные инспекции, особенно после серьезных явлений, для обеспечения структурной целостности фундаментов и креплений * Обеспечение дополнительных креплений для основных объектов инфраструктуры, таких как оттяжки для мачт, чтобы ограничить изгиб во время сильного ветра.	
	Обломки	* Серьезное повреждение башен	* Использование башен/штативов с соответствующей максимально допустимой ветровой нагрузкой * Крепление мачт к подходящим анкерным креплениям, например в бетонном основании или обычном якоря

Тип явления		Сильные ветры	
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на приборы	Меры по смягчению последствий	
Ветер	* Повреждение приборов из-за силы ветра и мелкого мусора	* * * * * * *	Использование приборов, предназначенных для работы в суровых условиях Использование ветровых приборов с небольшим количеством движущихся частей, например приборов на основе трубки Пито, использующих разность давлений, и ультразвуковых ветровых приборов, чтобы устранить уязвимости, связанные с подвижными частями; однако такие приборы также могут быть повреждены из-за летящего мусора Осмотр приборов до начала явления и проверка того, что они надлежащим образом и надежно закреплены, а дождемеры и метеорологические будки как следует зафиксированы болтами Закрепление веревками или уборка всех незакрепленных предметов или материалов, которые могут стать летающим мусором во время грозы. Осмотр окружающей местности на предмет деревьев или кустарников с ветвями, которые могут обломиться или упасть во время сильного ветра; принятие мер по их удалению Использование высокопрочного троса или проволоки для укрепления кронштейна анемометра Проверка того, что кабельная проводка хорошо закреплена на надежной опоре Изучение аэродинамики конструкции для минимизации сопротивления и стабилизации конструкции
Обломки	* Повреждение приборов из-за летящих обломков	*	Очистка территории вокруг оборудования и уборка всех материалов, которые могут нанести повреждения

Тип явления	Грозы	
Причина	Сильные ветры, молнии и ливневые дожди в результате крупных штормов	
Соображения	* Ожидается ли, что системы будут работать после удара молнии?	
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на инфраструктуру	Меры по смягчению последствий
Молния	* Электрические перенапряжения	* Использование защиты от электрических перенапряжений в цепи питания и индивидуальной защиты от перенапряжений на каждом контролируемом канале (например, температура, ветер) * Использование подходящего заземления объектов инфраструктуры через токоприемник (например, громоотвод Франклина или сплайновый сферический громоотвод), идущий к проводнику для отвода на землю Примечание: все соединения должны сохранять высокую проводимость, а изгибы должны составлять не более 45 градусов
Вода	* Коррозия	* Использование соответствующих материалов, таких как нержавеющая или оцинкованная сталь и подходящий пластик * Использование профилактических покрытий и пропитывающих материалов, например рыбьего жира, краски * Использование расходных анодов в морской среде * Регулярный осмотр и техническое обслуживание объектов инфраструктуры и оборудования в уязвимых средах
	См. также «Паводок»	
	См. также «Сильный ветер»	

Тип явления	Грозы	
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на приборы	Меры по смягчению последствий
Молния	* Приборы, подверженные воздействию прямого или непрямого удара молнии и не способные его выдержать	* Использование заземлителя/заземляющей пластины, наконечников и тому подобного на башне/штативе метеостанции * Использование устройств подавления перенапряжений между приборами и системой сбора данных для защиты системы сбора данных
	* Наведенные помехи	* Отказ от применения длинных неэкранированных кабелей
Вода	* Коррозия разъемов и т.п.	* Защита соединений и клемм с помощью лент, пропитанных смазкой/маслом или аналогичных мер * Тщательный подбор типов металла для стыков или использование изоляторов и смазочных материалов (смазки высокой вязкости) для минимизации электролиза
	* Накопление посторонних химических веществ на чувствительных элементах, таких как датчики относительной влажности	* Проведение регулярных проверок и мониторинг данных для регулирования режима технического обслуживания
	См. также «Паводок»	
	См. также «Сильный ветер»	

Тип явления	Тропический циклон	
Причина	Характеристика погодной системы	
Соображения	* Представляют ли вихревые ветры какой-либо дополнительный риск?	
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на инфраструктуру	Меры по смягчению последствий
Ветер	* Вихревые ветры	* Проектирование креплений и кабелей объектов инфраструктуры, которые могут вращаться при сильном ветре, так, чтобы они не вытягивались и не перекручивались свыше допустимых пределов * Закрепление веревками или уборка всех незакрепленных предметов или материалов, которые могут стать летающим мусором во время грозы. Осмотр окружающей местности на предмет деревьев или кустарников с ветвями, которые могут обломиться или упасть во время сильного ветра; принятие мер по их удалению
	См. также «Сильный ветер»	
Обломки	См. также «Сильный ветер»	
Тип явления	Торнадо	
Причина	Погодная подсистема, характеризующаяся сильными ветрами и сдуванием обломков	
Соображения	* Представляют ли вихревые ветры какой-либо дополнительный риск?	
Основная опасность	Примеры воздействия на инфраструктуру	Меры по смягчению последствий
Ветер	* Вихревые ветры	* Проектирование креплений и кабелей объектов инфраструктуры, которые могут вращаться при сильном ветре, так, чтобы они не вытягивались и не перекручивались свыше допустимых пределов
	См. также «Сильный ветер»	
Обломки	См. также «Сильный ветер»	
Тип явления	Штормовой нагон	
Причина	Результат циклонов и суровой погоды	
Соображения	Ограничения	
Течение	См. также «Цунами»	
Вода	См. также «Паводок»	
Обломки	См. также «Паводок»	

Тип явления		Цунами	
Причина		Не зависит от метеорологических факторов, происходит в результате геологических смещений, подводных оползней или метеоров	
Соображения			
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на инфраструктуру	Меры по смягчению последствий	
Течение	* Эрозия или потеря фундаментов	* Проверка того, что фундаменты башен и метеорологических будок укреплены, чтобы противостоять силе воды, движущейся со скоростью от 2 до 20 м · с⁻¹. Обратите внимание, что прилив при цунами значительно выше высоты волны * Закрепление мачт и крупных объектов инфраструктуры на близлежащих конструкциях с помощью дополнительных веревок * Закрепление веревками или уборка всех незакрепленных предметов или материалов, которые могут стать летающим мусором во время грозы. Осмотр окружающей местности на предмет деревьев или кустарников с ветвями, которые могут обломиться или упасть во время сильного ветра; принятие мер по их удалению	
Вода	См. также «Паводок»		
Обломки	См. также «Паводок»		
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на приборы	Меры по смягчению последствий	
Течение	* Почти все, полное уничтожение	* Установка приборов выше вероятной высоты подъема волны цунами в районах, подверженных цунами	
	См. также «Паводок»		
	См. также «Паводок»		

Тип явления	Снег/близзард/обледенение		
Причина	Системы экстремально холодной погоды, а также связанные с продолжительной холодной и ветреной погодой		
Соображения	* Ожидается ли, что системы продолжат работать после заморозков/оттепели? * Подходят ли приборы или объекты инфраструктуры для работы в условиях устойчивой пониженной температуры?		
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на инфраструктуру	Меры по смягчению последствий	
Холод и обледенение	* Разрушение укрытий, мачт и т. п. из-за веса льда/снега	* Изучение использования покрытий и материалов, предотвращающих обледенение	
	* Ослабление крепления метеорологических будок и корпусов из-за расширения замерзающей воды в соединениях, трещинах и щелях	* Обеспечение надлежащей эксплуатации метеорологических будок и корпусов; использование материалов, устойчивых к растягивающим нагрузкам и менее подверженных гниению, например нехрупких пластмасс	
	* Башни/мачты	* Использование башен/мачт, обладающих некоторой гибкостью и/или слегка вибрирующих, чтобы сбрасывать снег и лед	
	* Снежный/ледяной покров на солнечных панелях, что в конечном итоге приводит к потере энергоснабжения	* Наклон солнечных панелей как можно ближе к вертикали для предотвращения налипания снега/льда	
Ветер	* Поломка объектов инфраструктуры (например, мачты) при сильном ветре из-за обледенения	* Выбор материалов, сохраняющих эластичность ниже ожидаемой минимальной температуры	
		* Регулярное удаление льда	

Тип явления	Снег/близзард/обледенение	
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на приборы	Меры по смягчению последствий
Холод и обледенение	* Наледь на приборах, например механических анемометрах, ультразвуковых датчиках, датчиках дождя и дождемерах	* Использование обогреваемых приборов (например, анемометров) и приборов с циклическим нагревом (например, влажность), если это целесообразно. Проверка того, что нагреватель не мешает работе других приборов * Использование непрерывного потока воздуха (в идеале — сухого воздуха) для предотвращения оседания воды или снега или образования льда * Закрепление нагревательной ленты непосредственно на поверхностях (электронагревательные элементы, вмонтированные в гибкий листовой материал, или нихромовая проволока); это наиболее эффективно для датчиков без подвижных частей * Использование приборов с поверхностями или покрытиями, предотвращающими обледенение * Распыление жидкости с низкой температурой замерзания (в частности гликоля или этанола) на датчики во время процесса обледенения; не подходит для датчиков влажности * Установка датчика ветра на мачту, обладающую небольшой гибкостью (например, мачту для виндсерфинга) * В условиях сильного обледенения ни один из этих методов не будет эффективен
	* Снежный/ледяной покров на пиранометрах/ датчиках радиации	* Использование непрерывного потока воздуха (в идеале — сухого воздуха) для предотвращения оседания воды или снега или образования льда
	* Налипание снега/льда на объекты инфраструктуры, что влияет на условия измерений, например снежный/ледяной покров на датчиках температуры и метеорологических будках приводит к некорректным данным (из-за гораздо более высокой постоянной времени), а также вызывает турбулентность вокруг анемометров	* Предотвращение обледенения или регулярное удаление льда с помощью вышеуказанных методов, таких как использование материалов, предотвращающих обледенение, жидкостей с низкой температурой замерзания * Минимизация площади поверхности объектов инфраструктуры

Тип явления	Лавина	
Причина	Результат накопления снега в сочетании с определенными наземными и атмосферными условиями	
Соображения	* Каков уклон местности вблизи участка?	
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на инфраструктуру	Меры по смягчению последствий
Масса и обломки	* Разрушение объектов инфраструктуры на пути схода лавины	* Размещение станции выше на склонах гор
	* Снежный/ледяной покров на солнечных панелях, что в конечном итоге приводит к потере энергоснабжения	* Строительство башен с несколькими солнечными батареями на разной высоте * Добавление резервных батарей и сигнализации при потере напряжения и тока в сети
См. также «Оползень/грязевой оползень»		
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на приборы	Меры по смягчению последствий
Масса и обломки	* Почти все	
	* Снежный/ледяной покров на оптических датчиках	* Строительство башен с несколькими комплектами датчиков на разной высоте
	* Снежный/ледяной покров на пиранометрах/ датчиках радиации	* Рассмотрение возможности автоматической очистки при небольшой зоне охвата
	* Снежный/ледяной покров на температурных датчиках и метеорологических будках приводит к неверным показателям (из-за гораздо более высокой постоянной времени)	* Предотвращение обледенения или регулярное удаление льда с помощью вышеуказанных методов, таких как использование материалов, предотвращающих обледенение, жидкостей с низкой температурой замерзания
См. также «Снег/близзард/обледенение»		
См. также «Оползень/грязевой оползень»		

Пыльная буря		
Тип явления		
Причина	Результат сильного ветра в сочетании с определенным типом почвы	
Соображения	Сколько времени системы должны работать без присмотра или при наличии обслуживания? Какой класс IP мы могли бы ожидать?	
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на инфраструктуру	Меры по смягчению последствий
Абляция	* Оборудование, которое может быть повреждено песком или оказаться под наносом	* Отказ от использования материалов с покрытием; выбор отполированного металла
	* Повреждение или ухудшение состояния защитных покрытий, что может привести к точечной или общей коррозии	* Осмотр окрашенных, пластиковых или порошковых поверхностей на предмет сколов, мелких трещин или растрескивания
Грязь	* Скопление пыли/песка в защитных корпусах	* Использование защитных корпусов с классом защиты IP6X или выше
	* Засорение вентилируемой метеорологической будки	* Проектирование креплений и рам так, чтобы минимизировать накопление песка и грязи
	* Потеря электроэнергии или связи	* Регулярные осмотры и очистка
		* Добавление резервных батарей и сигнализации при потере напряжения и тока в сети
		* Подключение резервной связи через альтернативного поставщика
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на датчики	Меры по смягчению последствий
Абляция	* Вентилируемое оборудование, притягивающее пыль	* Остановка вентиляции, когда ветер или количество частиц превышает заданное значение
Грязь	* Засорение невентилируемого оборудования	* Увеличение частоты осмотра оборудования для удаления скоплений пыли
		* Использование герметичных корпусов (с высокой степенью защиты IP), например IP68, для системы сбора данных
		* Более частая замена фильтров в пыльных средах
		* Конструирование датчиков для минимизации площади поверхности и щелей и карманов, в которых может скапливаться грязь
	* Оптическое оборудование и оборудование для солнечного излучения	* Рассмотрение возможности ежедневной автоматической очистки при небольшой зоне охвата

Тип явления	Пожар	
Причина	Результат жаркой погоды, удара молнии или вандализма	
Соображения	* Насколько жарким может быть типичный пожар?	
	* Как долго может продолжаться пожар?	
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на инфраструктуру	Меры по смягчению последствий
Тепло и горение	* Деформация металлических и пластиковых компонентов	* Отказ от использования пластмасс с низкой температурой плавления и легких металлов
	* Выход из строя электроники при сильной жаре	* Использование защитных корпусов, обеспечивающих некоторую изоляцию, например с двойной оболочкой
		* Проверка того, что класс электроники подходит для использования в том климате, в котором она будет действовать, например, на 20 °C-30 °C выше максимальной климатической температуры
	* Повреждения, снижающие класс IP	* Осмотр и замена уплотнений
	* Уничтожение любых горючих материалов	* Строительство из негорючих материалов, таких как металл и бетон * Предотвращение образования трещин и щелей в конструкции кожухов и т.п., куда могут попасть угли и искры. Отверстия должны быть экранированы или закрыты, где это практически возможно
	* Нарушение структурной целостности мачт и других объектов инфраструктуры после явления	* Регулярный осмотр на наличие разрушений из-за напряжения, усталости и роста зерна в металлических деталях
	* Повреждение или ухудшение состояния защитных покрытий, что может привести к точечной или общей коррозии	* Осмотр окрашенных, пластиковых или порошковых поверхностей на предмет сколов, мелких трещин или растрескивания
Обломки	* Повреждения от падающих обломков	* Размещение оборудования в пожароопасных районах на соответствующем расстоянии от конструкций и деревьев, которые могут упасть
Пыль	См. также «Пыльная буря»	

Тип явления	Пожар	
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на приборы	Меры по смягчению последствий
Тепло и горение	* Деформация облицовки/корпусов и выход из строя электроники	* Отказ от использования пластмасс с низкой температурой плавления и легких металлов
		* Использование защитных корпусов, обеспечивающих некоторую изоляцию, например с двойной оболочкой, но отказ от использования горючих изоляционных материалов.
	* Повреждения, снижающие класс IP	* Осмотр и замена уплотнений
	* Уничтожение любых горючих материалов	* Строительство из негорючих материалов, таких как металл и бетон
	* Повреждение датчиков в результате теплового воздействия (чувствительные элементы или кожухи)	* Проверка того, что класс датчиков подходит для использования в том климате, в котором они будут применяться; например, на 20 °C-30 °C выше климатического максимума для электроники и на 5 °C-10 °C выше для диапазона измерений
	* Нарушение структурной целостности мачт и других объектов инфраструктуры после явления	* Регулярный осмотр на наличие разрушений из-за напряжения, усталости и роста зерна в металлических деталях
Обломки	* Повреждение или ухудшение состояния защитных покрытий, что может привести к точечной или общей коррозии	* Осмотр окрашенных, пластиковых или порошковых поверхностей на предмет сколов, мелких трещин или растрескивания
	* Повреждения от падающих обломков	* Размещение оборудования в пожароопасных районах на соответствующем расстоянии от конструкций и деревьев, которые могут упасть
Пыль	См. также «Пыльная буря»	

Тип явления	Засуха	
Причина	Результат длительных периодов низкого уровня осадков или полного отсутствия осадков	
Соображения	Должны ли фундаменты быть приспособлены к подвижности грунта?	
<i>Основная опасность</i>	<i>Уязвимость или воздействие на инфраструктуру</i>	<i>Меры по смягчению последствий</i>
Пыль	* Деградация фундаментов оборудования на глинистых почвах (растрескивание, эрозия)	* Использование систем крепления, стабилизирующих окружающую почву, например, физических анкеров, которые вызывают минимальное возмущение почвы, распределяя нагрузку
Эрозия	См. также «Пыльная буря»	
<i>Основная опасность</i>	<i>Уязвимость или воздействие на приборы</i>	<i>Меры по смягчению последствий</i>
Пыль	* Выход из строя электроники	* Проверка на наличие сухих соединений в электронике
Эрозия	* Засоренные фильтры	* Более частая замена фильтров в пыльной среде

Тип явления	Волны тепла/солнечная радиация	
Причина	Длительные периоды повышенной температуры и/или интенсивного солнечного света	
Соображения	Могут ли приборы или объекты инфраструктуры выдерживать устойчивую повышенную температуру?	
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на инфраструктуру	Меры по смягчению последствий
Жара	* Небольшое, если только наружные поверхности не отличаются низкой допустимой температурой * Выход из строя электроники из-за перегрева	* Отказ от использования пластмасс с низкой температурой плавления и легких металлов * Использование брезента или аналогичных материалов для затенения электроники и снижения тепловой нагрузки на системы * Закапывание контейнера с электронной аппаратурой там, где это целесообразно. Примечание: убедитесь, что внутрь не попадает вода * Использование пассивного охлаждения, например с помощью конструкции с вентилятором и трубой. Примечание: убедитесь, что риск попадания воды не увеличивается, разместив вентиляционное отверстие выше ожидаемого уровня воды; используйте фильтры/будки для предотвращения доступа пыли и животных * Использование активного охлаждения, например, с помощью вентиляторов (обратите внимание на приведенные выше предостережения относительно попадания воды, пыли и доступа животных) * Использование активных охладителей, таких как охлаждающие элементы Пельтье или кондиционеры
Радиация	* Старение сварных швов и соединений * Разрушение структуры из-за воздействия ультрафиолета * Обесцвечивание и старение пластмассовых деталей	* Более частые проверки на предмет усталости и износа металла * Использование материалов, устойчивых к ультрафиолетовому излучению, таких как металлы, твердые породы дерева или пластик, стабилизированный к ультрафиолетовому излучению * Более частые осмотры для выявления деформации и износа, в частности, корпусов и метеорологических будок * Использование брезента или аналогичных материалов для затенения электроники и снижения тепловой нагрузки на системы

Тип явления	Волны тепла/солнечная радиация	
<i>Основная опасность</i>	<i>Уязвимость или воздействие на приборы</i>	<i>Меры по смягчению последствий</i>
Жара	* Повреждение датчиков в результате теплового воздействия (чувствительные элементы или кожухи)	* Проверка того, что класс приборов подходит для использования в том климате, в котором они будут применяться; например, на 20 °С-30 °С выше климатического максимума температуры для электроники и на 5 °С-10 °С выше для диапазона измерений
	* Выход из строя приборов из-за перегрева	* Использование охлаждающих элементов Пельтье или воздушного потока (пассивного и активного) там, где это не мешает измерениям
Радиация	* Разрушение структуры из-за воздействия ультрафиолета	* Использование материалов, устойчивых к ультрафиолетовому излучению, такие как металлы, твердые породы дерева или пластик, стабилизированный к ультрафиолетовому излучению

Тип явления		Землетрясение/вулкан	
Причина		Не зависит от метеорологических факторов	
Соображения			
<i>Основная опасность</i>	<i>Уязвимость или воздействие на инфраструктуру</i>		<i>Меры по смягчению последствий</i>
Извержение	*	Вулкан: заглубление в результате выпадения пепла; разрушение в результате прямого контакта с потоком	* Максимальное использование огнестойких материалов
Перемещение земляных масс	*	Землетрясение: большая часть объектов инфраструктуры	* Использование систем крепления, стабилизирующих окружающую почву, например, физических анкеров, которые вызывают минимальное возмущение почвы, распределяя нагрузку
	*	Вулканическая пыль на солнечных панелях: в конечном итоге потеря энергоснабжения	* Добавление резервных батарей и сигналов тревоги при потере напряжения и тока в сети
<i>Основная опасность</i>	<i>Уязвимость или воздействие на приборы</i>		<i>Меры по смягчению последствий</i>
Извержение	*	Вулкан: пылевое загрязнение	* См. «Пыль» выше
Перемещение земляных масс	*	Землетрясение: весовые приборы, ненадежно закрепленные приборы, например pluviographe с опрокидывающимся сосудом.	
	*	Вулканическая пыль на оптических датчиках	* Рассмотрение возможности автоматической очистки при небольшой зоне охвата
	*	Вулканическая пыль на пиранометрах/датчиках радиации	* Рассмотрение возможности автоматической очистки при небольшой зоне охвата

Тип явления		Безопасность	
Причина		Вандализм	
Соображения			
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на инфраструктуру		Меры по смягчению последствий
Вандализм	*	Кража или неумышленное повреждение	* Использование ограждений * Использование несъемных креплений для дорогостоящих предметов, таких как солнечные панели * В удаленных районах поощрение понимания местным населением ценности обслуживания, обеспечиваемого оборудованием
Дикая природа	*	Порча кабелей	* Использование прочных кабелепроводов или армированных кабелей
	*	Поломка объектов инфраструктуры животными, трущимися об оборудование	* Использование надлежащего ограждения от животных
Основная опасность	Уязвимость или воздействие на приборы		Меры по смягчению последствий
Вандализм	*	Кража или неумышленное повреждение	* Использование ограждений * В удаленных районах поощрение понимания местным населением ценности обслуживания, обеспечиваемого оборудованием
Дикая природа	*	Нападения птиц на ультразвуковые датчики	* Использование шипов для защиты от птиц там, где они садятся
	*	Загрязнение и коррозия из-за птичьего помета	* Использование шипов для защиты от птиц там, где они садятся
	*	Поломка или смещение датчиков животными, трущимися об оборудование	* Использование надлежащего ограждения от животных

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.F. 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 (Wieringa and Rudel, 2002).

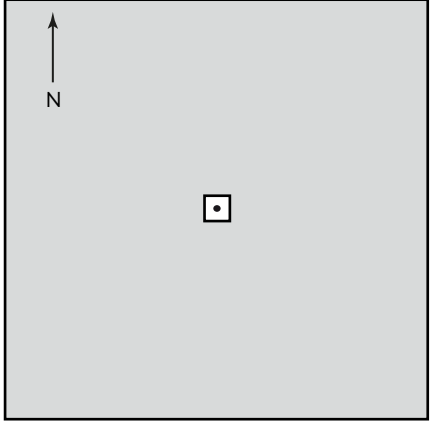
Метаданные станции должны содержать следующие аспекты установки прибора:

- 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 [главе 5](#) данного тома. Более подробное описание вопросов, касающихся метаданных, дается в публикации ВМО (2017).

Станция	Обновление													
Высота	Широта	Долгота												
0 200 м Ограждение Здание Дорога Деревья, кусты (12) Высота (м) препятствия Высота контура 														
Горизонт облучения <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: right;">1: 6</td> <td style="width: 80%; border-bottom: 1px solid black;"></td> <td style="width: 10%; text-align: left;">8°</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">1: 10</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;"></td> <td style="text-align: left;">4°</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">1: 20</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;"></td> <td style="text-align: left;">0°</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">N E S W N</td> <td></td> </tr> </table>			1: 6		8°	1: 10		4°	1: 20		0°		N E S W N	
1: 6		8°												
1: 10		4°												
1: 20		0°												
	N E S W N													
Температура и влажность: Высота позиции датчика Подстилающая поверхность под экраном Искусственная вентиляция? да/нет Почва под экраном Осадки: Высота кольцевого края приемного отверстия осадкомера от поверхности площадки Ветер: Высота анемометра Свободно стоящие? да/нет (если «нет» выше, то: высота , ширина , длина здания Класс шероховатости местности: к северу , к востоку , к югу , к западу														
Примечания:														

Основная форма для метаданных, касающихся месторасположения станции

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.G. КЛАССИФИКАЦИИ КАЧЕСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ ПРИЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

1. ЦЕЛЬ

Настоящий документ предназначен для использования пользователями метеорологических данных, проектировщиками сетей, исполнителями и руководителями. Целью настоящего документа является определение схемы для:

- количественной оценки качества измерений данных с существующей станции;
- определения оптимальных характеристик системы для получения подходящего для конкретной ситуации решения;
- понимания факторов, влияющих на качество измерений и эффективное управление станциями;
- закупки и оценки измерительных систем; и
- обеспечения разработки решений, отвечающих потребностям пользователей.

2. ВВЕДЕНИЕ

2.1 Данная схема, Классификации качества измерений для наземных станций приземных наблюдений (Схема классификаций качества измерений), в сочетании с Классификациями размещения площадок для станций приземных наблюдений на суше (Схема классификаций размещения площадок) ([приложение 1.D](#)), является частью метаданных для измеряемой величины. Эти схемы помогают всем пользователям данных получить оценку общего качества используемых ими данных.

2.2 Эти схемы не определяют, какие измерения являются хорошими или плохими, а скорее указывают, подходит ли измерение для конкретного применения. Кроме того, эти схемы определяют параметры, которые позволяют проводить сравнение между объектами внутри сетей наблюдений или между сетями наблюдений с использованием метаданных, которые собираются стандартизированным образом. Эти схемы позволяют операторам сетей оценивать свои станции, ставить соответствующие цели в отношении качества своих наблюдений и определять области, которые могут нуждаться в улучшении.

2.3 В настоящем документе описывается четырехуровневая схема классификации измерений на основе измеряемых величин. Эти уровни позволяют операторам сети сосредоточиться на требуемом результате и помогают пользователям данных понять качество получаемых ими данных.

3. ВЗАИМОСВЯЗИ

3.1 Настоящая схема классификаций отражает взаимосвязи с различными публикациями ВМО о требованиях. В частности:

- потребности пользователей в наблюдениях ([Инструмент анализа и обзора возможностей систем наблюдения \(ОСКАР\)/Потребности](#)), 2020 г.;
- требования к оперативной неопределенности измерений и рабочие характеристики приборов ([приложение 1.A](#));
- классификации размещения площадок для станций приземных наблюдений на суше ([приложение 1.D](#)).

3.2 Потребности пользователей транслируются в общую неопределенность измерений посредством применения Схемы классификации качества измерений и Схемы классификации размещения площадок (см. рисунок 1). Классификация измерений отражает реализованную неопределенность системы, а классификация размещения — неопределенность данного типа измерений в зависимости от размещения станции. Совокупность схем определяет общую неопределенность данного типа измерений на данном объекте.

3.3 Все неопределенности измерений в этом документе выражены с доверительной вероятностью 95 % ($k=2$), если не указано иное.

3.4 Для разработки классов Схемы классификации качества измерений (оранжевая рамка на рисунке 1) были использованы потребности пользователей из ОСКАР и других источников (см. примечание 2 к таблице 1). Эта схема охватывает следующие источники неопределенности:

- прибор и калибровка — эксплуатационные характеристики прибора в контролируемых условиях, согласованные с [приложением 1.A](#), например, постоянная времени, разрешение и прослеживаемая калибровка;
- влияние интерфейсов приборов — влияние физических интерфейсов между прибором и окружающей средой, например, будки, датчика статического давления;
- техническое обслуживание и проверка — влияние, которое техническое обслуживание оказывает на неопределенность системы в полевых условиях, например, метод очистки и периодичность проверки;
- воздействие окружающей среды — влияние полевых явлений на работу прибора, например, эффект охлаждения за счет испарения воды с экрана, влияние ветра на измерения осадков и давления. Эти воздействия влияют на точность прибора и не учтены в Схеме классификации размещения.

3.5 Рамка «Воздействие окружающей среды» на рисунке 1 затенена серым цветом, чтобы показать, что это область активных исследований и не все факторы хорошо поддаются количественной оценке.

3.6 Критерии схемы классификации качества измерений приведены в соответствии с ОСКАР/Потребности с учетом неопределенности классификации размещения.

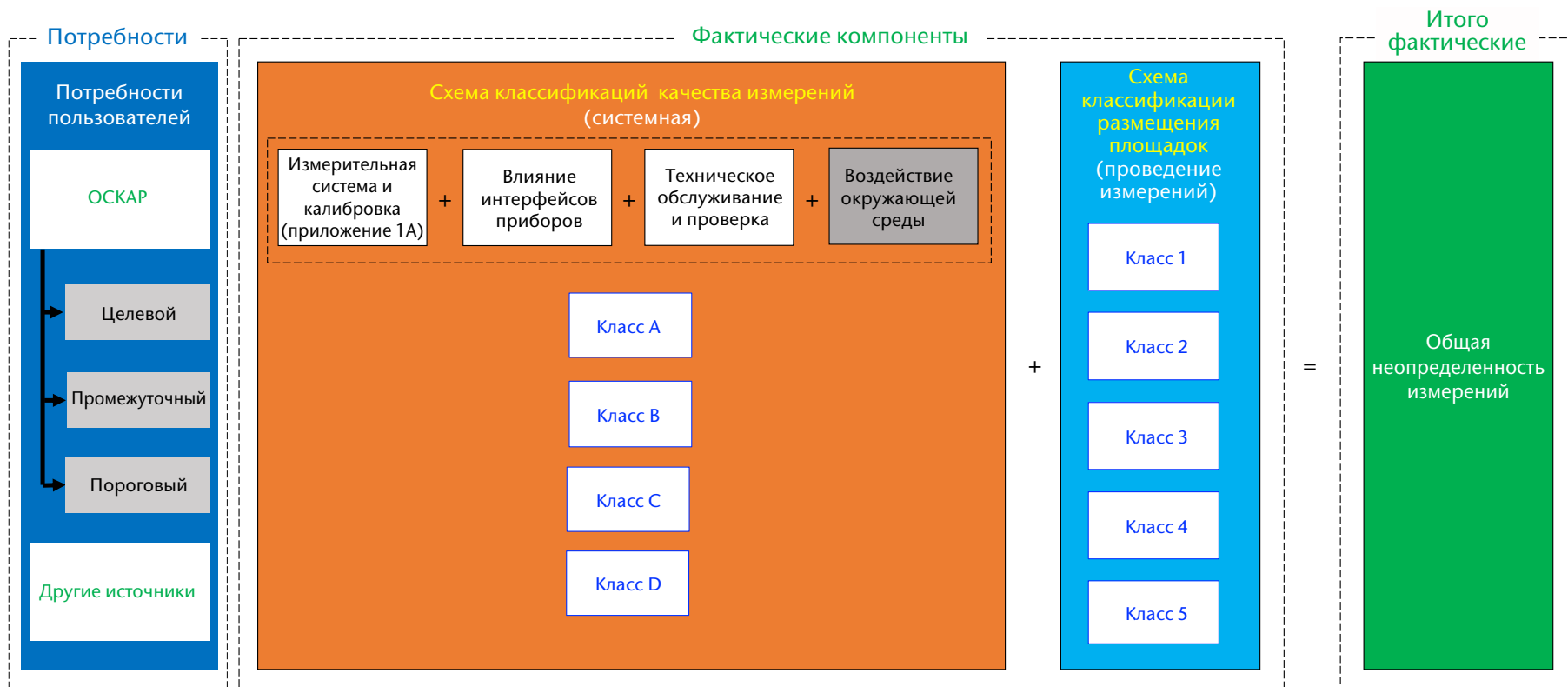


Рисунок 1. Обзор потребностей пользователей и схем классификаций

Таблица 1. Критерии для классификации качества измерений

Измеряемая величина	Класс А	Класс В	Класс С	Класс D
Температура воздуха	0,2 К [1a]	0,6 К [1a]	1,0 К [1a]	Больше, чем для класса С, или неизвестно
Относительная влажность	2 % ОВ [1b]	5 % ОВ [1b]	10 % ОВ [1b]	
Атмосферное давление	0,2 гПа [1a]	1,0 гПа [1a]	2,0 гПа [1a]	
Скорость и порывы ветра	Наибольшее из: 1 м·с ⁻¹ [1b] или 5 % [2b]	Наибольшее из: 2 м·с ⁻¹ [1b] или 10 % [2a]	Наибольшее из: 5 м·с ⁻¹ [1b] или 15 % [2b]	
Порог чувствительности	≤ 0,5 м·с ⁻¹ [2b]	≤ 1,0 м·с ⁻¹ [2b]	≤ 2,5 м·с ⁻¹ [2b]	
Направление ветра	5° [2a]	10° [2b]	15° [2b]	
Количество жидких осадков (суточное)	Наибольшее из: 1 мм [1a] или 2 % [2a]	Наибольшее из: 3 мм [1a] или 5 % [2b]	Наибольшее из: 10 мм [1a] или 10 % [2b]	
Интенсивность жидких осадков	Наибольшее из: 0,2 мм·ч ⁻¹ [1b] или 5 % [2a]	Наибольшее из: 0,5 мм·ч ⁻¹ [1b] или 10 % [2b]	Наибольшее из: 2 мм·ч ⁻¹ [1b] или 15 % [2b]	
Порог чувствительности	0,1 мм·ч ⁻¹ [1c]	0,3 мм·ч ⁻¹ [1c]	1,0 мм·ч ⁻¹ [1c]	
Прямое солнечное излучение	1 % + 3 Вт·м ⁻² [3a]	2 % + 7 Вт·м ⁻² [3a]	6 % + 15 Вт·м ⁻² [3a]	
Суммарное солнечное излучение	2 % + 15 Вт·м ⁻² [3a]	3 % + 30 Вт·м ⁻² [3a]	8 % + 55 Вт·м ⁻² [3a]	
Рассеянное солнечное излучение	2,5 % + 15 Вт·м ⁻² [3a]	4 % + 30 Вт·м ⁻² [3a]	10 % + 55 Вт·м ⁻² [3a]	
Продолжительность солнечного сияния (суточная)	Наибольшее из: 0,1 ч или 2 % [2a]	Наибольшее из: 0,5 ч или 5 % [2b]	Наибольшее из: 1,0 ч или 10 % [2b]	
Порог длительности солнечного сияния	120 Вт·м ⁻² ± 10 % [2d]	120 Вт·м ⁻² ± 20 % [2c]	120 Вт·м ⁻² ± 30 % [2d]	

Примечания:

- 1 Классификации для других измеряемых величин из [Наставления по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО](#) (ВМО-№ 1160, приложение 5.1) еще не определены из-за отсутствия общих знаний по данному вопросу или справочной информации.
2. Источники значений, приведенных в таблице выше, можно найти в следующих публикациях:
 - [1a] ОСКАР/Потребности, с использованием самых низких значений неопределенности из всех областей применения;
 - [1b] ОСКАР/Потребности, с использованием номинальной средней неопределенности из областей применения;
 - [1c] ОСКАР/Потребности, экстраполировано на имеющиеся в настоящее время технологии;
 - [2a] [приложение 1.А](#);
 - [2b] [приложение 1.А](#), экстраполировано на имеющиеся в настоящее время технологии;
 - [2c] [глава 8](#) настоящего тома;
 - [2d] [глава 8](#) настоящего тома, экстраполировано на имеющиеся в настоящее время технологии;
 - [3a] ISO 9060:2018.

4. ОПИСАНИЕ КЛАССОВ

4.1 Четыре уровня схемы классификации качества измерений определяются на основе целевой неопределенности системы:

- **класс А** соответствует целевому уровню ОСКАР/Потребности;
- **класс В** соответствует промежуточному уровню ОСКАР/Потребности;
- **класс С** соответствует пороговому уровню ОСКАР/Потребности;
- **класс D** больше, чем неопределенность для класса С, или информация недоступна.

4.2 При наличии ОСКАР/Потребности был выбран наиболее низкий или номинальный средний заявленный уровень неопределенности для всех сфер применения (в зависимости от имеющейся в настоящее время технологии), в противном случае использовалось [приложение 1.A](#) или соответствующий стандарт (см. примечание 2 к таблице 1).

4.3 Целевая неопределенность системы для всех классов выражается с доверительной вероятностью 95 % ($k=2$). ОСКАР/Потребности были скорректированы соответственно с доверительной вероятности 68 % ($k=1$).

4.4 Подробные критерии для каждого класса эффективности приведены в таблице 1. Таблица 1 содержит измеряемые величины и показатели целевой неопределенности системы, которые должны обеспечиваться для каждого класса. Для определения класса в отношении некоторых измеряемых величин требуется дополнительное пороговое значение.

5. ПРИМЕНЕНИЕ СХЕМЫ КЛАССИФИКАЦИЙ КАЧЕСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

5.1 Каждая организация использует различные датчики и применяет локальные методы для мониторинга и поддержания качества измерений в полевых условиях. Данная Схема классификаций качества измерений обеспечивает универсальный подход для оказания помощи в удовлетворении требований пользователей. Классификация может быть применена к любой наземной измерительной системе для измеряемых величин, указанных в таблице 1. Для поддержания реализованной неопределенности системы с течением времени приборы и связанное с ними оборудование:

- обязательно должны проходить лабораторную калибровку или калибровку на площадке в стабильных, определенных и известных условиях, при наличии, по стандарту, прослеживаемому до СИ. Калибровка должна выполняться в полевом рабочем диапазоне прибора с периодичностью, соответствующей его стабильности. Первоначально периодичность калибровки должна соответствовать рекомендациям производителя, а затем корректироваться на основе анализа результатов калибровки;
- должны проходить полевые проверки или поверки с использованием прослеживаемых стандартов передачи, особенно для более длительных интервалов калибровки. Они выполняются в период между лабораторными калибровками. Если в результате проверки прибора выявляется выход за пределы допустимых отклонений, прибор следует заменить;
- должны быть проверены на работоспособность при удалении с поля;
- обязательно должны проходить техническое обслуживание для поддержания желаемого уровня неопределенности измерений. Периодичность технического обслуживания сначала следует устанавливать на основе рекомендаций изготовителей приборов, а затем корректировать с учетом опыта их эксплуатации.

5.2 Меры по поддержанию качества измерений должны предусматривать: мониторинг данных и технического состояния приборов; обеспечение наличия надежной системы оповещения о неисправностях и реагирования на них; и внедрение всеобъемлющей системы обеспечения качества.

5.3 Качество измерений со временем меняется под влиянием внутренних и внешних факторов. Схема классификаций качества измерений учитывает это, принимая во внимание, насколько сильно измерительная система изменяется между плановым профилактическим обслуживанием, калибровкой и/или проверкой в процессе нормальной эксплуатации.

5.4 Для демонстрации применения этой схемы были разработаны три примера. В таблице 2 показано, как измерительная система, калибровка, техническое обслуживание, проверка и влияние окружающей среды сочетаются для достижения необходимого уровня реализованной неопределенности системы и, следовательно, соответствия требованиям к необходимому классу. Эти примеры предназначены для того, чтобы помочь пользователям таблицы 1 в управлении станциями и оценке своих решений. Данные примеры не являются обязательными рекомендациями.

5.5 Первый и второй сценарии, приведенные в таблице 2, показывают, как комбинация различных по качеству измерительной системы и будки и периодичности технического обслуживания может обеспечить соответствие одному и тому же классу. Третий сценарий показывает, что даже при хорошо поддерживаемой высококачественной измерительной системе другие факторы (в данном случае будка) могут повлиять на способность соответствовать необходимому классу. В этом сценарии альтернативы заключаются в том, чтобы либо устранить негативные факторы, либо присвоить системе другой класс.

6. ИСТОЧНИКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Ниже приведен перечень некоторых ключевых источников неопределенности для наземных измерительных систем. Он не является исчерпывающим, но представлен в качестве справки для пользователей. Надежная оценка источников неопределенности предусматривает определение измеряемой величины. Дальнейшие указания по внедрению оценки неопределенности см. в ИСО/МЭК (2008)/ОКГМ (2008).

Система измерения и калибровка:

- Качество конструкции и монтажа
- Разрешение
- Калибровка приборов и регистраторов
- Линейность
- Гистерезис
- Постоянная времени
- Температурный дрейф
- Метод выборки
- Периодичность выборки
- Алгоритм обработки данных
- Оцифровка и округление
- Время отклика

Таблица 2. Примеры использования Схемы классификации качества измерений в разных сценариях для класса В

Сценарий для класса В (измеряемая величина: температура воздуха, целевая неопределенность системы: 0,6 К)						
Сценарий	Использование высококачественного (способного соответствовать классу А) прибора в большой метеорологической будке Стивенсона, но в условиях большой периодичности технического обслуживания		Использование прибора среднего качества в маленькой метеорологической будке Стивенсона в условиях хорошего технического обслуживания		Использование высококачественного, хорошо откалиброванного прибора (способного соответствовать классу А) в небольшой пластмассовой будке в условиях хорошего технического обслуживания	
Разрешение	0,01 К		0,10 К		0,01 К	
Периодичность калибровки	5 лет		2 года		3 года	
Периодичность проверки	3 года		1 год		1 год	
Периодичность технического обслуживания	3 года		1 год		1 год	
Общая оценка неопределенности измерения						
Измерительная система и калибровка (k=1)	Прибор:	0,03 К	Прибор:	0,05 К	Прибор:	0,03 К
	Разрешение:	0,005 К	Разрешение:	0,05 К	Разрешение:	0,005 К
	Калибровка:	0,07 К	Калибровка:	0,07 К	Калибровка:	0,07 К
	Регистратор:	0,03 К	Регистратор:	0,03 К	Регистратор:	0,01 К
Влияние интерфейсов приборов (k=1)	Будка: 0.05 К		Будка: 0.10 К		Будка: 0.35 К	
Техническое обслуживание и проверка (k=1)	Техническое обслуживание:	0,15 К	Техническое обслуживание:	0,05 К	Техническое обслуживание:	0,03 К
		0,025 К		0,060 К		0,015 К
	Дрейф/старение:	(0,005 К/год)	Дрейф/старение:	(0,030 К/год)	Дрейф/старение:	(0,005 К/год)
Воздействие окружающей среды (k=1)	0,24 К		0,24 К		0,35 К	

Суммарная неопределенность ($k=1$)	0,30 К	0,29 К	0,50 К
Реализованная неопределенность системы ($k=2$)	0,60 К	0,58 К	1,00 К
Соответствие классу В	Да	Да	НЕТ

Примечания:

1. значения дрейфа/старения определяются путем умножения годового темпа изменения (в скобках) на интервал калибровки.
2. в данном примере предполагается, что отдельные компоненты неопределенности независимы и следуют функции нормального распределения. Суммарная неопределенность рассчитывается как квадратный корень из суммы квадратов величин отдельных компонентов неопределенности.

Влияние интерфейсов приборов:

- Радиационный экран
- Датчик статического давления
- Экран осадкомера

Техническое обслуживание и проверка:

- Периодичность технического обслуживания;
- Качество технического обслуживания
- Дрейф приборов и системы со временем
- Старение приборов и системы
- Неисправности приборов и системы (которые влияют на данные, но не вызывают отказов)
- Чистота прибора и площадки

Воздействие окружающей среды:

- Ударное воздействие на датчики при транспортировке и эксплуатации
- Испарение осадков с экрана
- Влияние ветра на измерения
- Образование конденсата на температурном приборе
- Влияние солнечного излучения на измерение

7. ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Определения суммарной неопределенности измерений, коэффициента охвата и расширенной неопределенности измерений см. в документе *Оценивание данных измерений — Руководство по выражению неопределенности измерения* (ОКРМ 100).

Целевая неопределенность системы это максимальная допустимая неопределенность для измеряемой величины, соответствующая конкретному классу Схемы классификаций качества измерений (см. таблицу 1).

Примечание: целевая неопределенность системы не учитывает внешнего воздействия на приборы, так как они охватываются Схемой классификации размещения площадок (см. ниже).

Реализованная неопределенность системы это фактическая реализация пользователем требований к целевой неопределенности системы.

Примечание: эта оценка неопределенности рассчитывается пользователем с учетом используемых приборов, а также процессов управления и технического обслуживания, как указано в разделе [Источники неопределенности](#). Реализованная неопределенность системы должна быть ниже или равна целевой неопределенности системы для заявленного класса.

Неопределенность измерений в зависимости от размещения это неопределенность, связанная с внешними воздействиями на приборы, как описано в [приложении 1.D](#).

Примечание: этот параметр отражает влияние близлежащих объектов на окружающую среду измерения (например, деревья, стены, заборы, большие водоемы или тротуар).

Общая неопределенность измерений это сочетание реализованной неопределенности системы и неопределенности измерений в зависимости от размещения.

СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Всемирная метеорологическая организация, 1992: *Международный метеорологический словарь* (ВМО-№ 182), Женева.
- , 2008: *Руководство по гидрологической практике. Гидрология: от измерений до гидрологической информации* (ВМО-№ 168). Женева.
- , 2010a: *Сокращенный окончательный отчет третьей сессии Совместной технической комиссии ВМО/МОК по океанографии и морской метеорологии* (ВМО-№ 1049). Женева.
- , 2010b: *Руководство по агрометеорологической практике* (ВМО-№ 134). Женева.
- , 2010c: *Наставление по Глобальной системе обработки данных и прогнозирования* (ВМО-№ 485). Женева.
- , 2011a: *Руководство по климатологической практике* (ВМО-№ 100). Женева.
- , 2011b: *Технический регламент, том I — Общие метеорологические стандарты и рекомендуемые практики* (ВМО-№ 49). Женева.
- , 2021: *Наставление по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО* (ВМО-№ 1160). Женева.
- , 2021: *Руководство по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО* (ВМО-№ 1165). Женева.
- Объединенный комитет по руководствам в области метрологии, 2012: *Международный словарь метрологии — Основные и общие понятия и связанные термины* (VIM), ОКРМ 200:2012.
- Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде, 2017 год: Минаматская конвенция о ртути, <https://www.mercuryconvention.org/sites/default/files/2021-06/Minamata-Convention-booklet-rus-full.pdf>
- Brooks, C. E. P.; Carruthers, N. *Handbook of Statistical Methods in Meteorology*, MO 538; Meteorological Office: London, 1953.
- Bureau International des Poids et Mesures. *The International System of Units (SI)*. BIPM: Sèvres/Paris, 2006.
- Cohen, E. R.; Giacomo, P. *Symbols, Units, Nomenclature and Fundamental Constants in Physics*; SUNAMCO Document IUPAP-25, reprinted from Physica 146A; International Union of Pure and Applied Physics, 1987.
- Davenport, A. G. Rationale for Determining Design Wind Velocities. *Journal of the Structural Division* **1960**, 86 (5), 39–68. <https://doi.org/10.1061/JSDEAG.0000521>.
- Davenport, A. G.; Grimmond, C. S. B.; Oke, T.R.; Wieringa, J. Estimating the roughness of cities and sheltered country. In *Preprints of the Twelfth American Meteorological Society Conference on Applied Climatology*, Asheville, United States, 8–12 May 2000, pp. 96–99.
- Eisenhart, C. Realistic Evaluation of the Precision and Accuracy of Instrument Calibration Systems. *Journal of Research of the National Bureau of Standards—C, Engineering and Instrumentation* **1963**, 67C (2), 161–195.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). *World Geodetic System – 1984 (WGS-84) Manual*; ICAO Doc 9674-AN/946; ICAO: Montreal, 2002.
- International Organization for Standardization (ISO). *Accuracy (Trueness and Precision) of Measurement Methods and Results – Part 1: General Principles and Definitions*; ISO 5725-1:1994/Cor.1:1998, 1994a.
- International Organization for Standardization (ISO). *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, 1994b.
- International Organization for Standardization (ISO). *Quantities and Units – Part 1: General*; ISO 80000-1:2009, 2009.
- International Organization for Standardization (ISO)/International Electrotechnical Commission (IEC). *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, 2008. (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.)
- Kok, C. J. *On the Behaviour of a Few Popular Verification Scores in Yes/No Forecasting*; WR-2000-04; KNMI: De Bilt, Netherlands, 2000.
- Linacre, E. *Climate Data and Resources – A Reference and Guide*; Routledge: London, 1992.
- Murphy, A. H.; Katz, R. W., Eds. *Probability, Statistics and Decision Making in the Atmospheric Sciences*; Westview Press: Boulder, USA, 1985.
- Natrella, M. G. *Experimental Statistics*; National Bureau of Standards Handbook 91; Washington, DC, 1966.

- Orlanski, I., 1975: A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 56:527–530.
- Preston-Thomas, H. The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90). *Metrologia* **1990**, 27 (1) 3–10. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/27/1/002>.
- Thompson, A.; Taylor, B. N. *Guide for the Use of the International System of Units (SI)*; NIST Special Publication No. 811; National Institute of Standards and Technology: Gaithersburg, USA, 2008.
- Wieringa, J. Representativeness of wind observations at airports. *Bulletin of the American Meteorological Society* **1980**, 61, 962–971. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1980\)061<0962:ROWAAA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1980)061<0962:ROWAAA>2.0.CO;2).
- Wieringa, J.; Rudel, E. Station Exposure Metadata Needed for Judging and Improving the Quality of Observations of Wind, Temperature and other Parameters. In *Papers Presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2002)* (WMO/TD-No. 1123). WMO: Geneva, 2002.
- World Meteorological Organization (WMO). *International Meteorological Tables* (WMO-No. 188). Geneva, 1966.
- World Meteorological Organization (WMO). *Performance Requirements of Aerological Instruments: An Assessment Based on Atmospheric Variability* (WMO-No. 267). Geneva, 1970.
- World Meteorological Organization (WMO). *Siting and Exposure of Meteorological Instruments* (WMO/TD-No. 589). Geneva, 1993.
- World Meteorological Organization (WMO). *Lecture Notes for Training Agricultural Meteorological Personnel* (WMO-No. 551), Second edition. Geneva, 2001.
- World Meteorological Organization (WMO). *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization* (WMO/TD-No. 1186). Geneva, 2003.
- World Meteorological Organization (WMO). *Capacity Assessment of National Meteorological and Hydrological Services in Support of Disaster Risk Reduction*. Geneva, 2008.
- World Meteorological Organization (WMO). *Guide to Hydrological Practices : Hydrology – From Measurement to Hydrological Information* (WMO-No. 168), Geneva, 2008.
- World Meteorological Organization (WMO). *Guide to Agricultural Meteorological Practices* (WMO-No. 134). Geneva, 2010.
- World Meteorological Organization (WMO). *Manual on the Global Data-processing and Forecasting System* (WMO-No. 485). Geneva, 2010.
- World Meteorological Organization (WMO). *Guide to Climatological Practices* (WMO-No. 100). Geneva, 2011.
- World Meteorological Organization (WMO). *Technical Regulations, Volume I: General Meteorological Standards and Recommended Practices* (WMO-No. 49), Geneva, 2011.
- World Meteorological Organization (WMO). *Guide to Meteorological Observing and Information Distribution Systems for Aviation Weather Services* (WMO-No. 731). Geneva, 2014.
- World Meteorological Organization (WMO). *Manual on the WMO Integrated Global Observing System* (WMO-No. 1160). Geneva, 2021.
- World Meteorological Organization (WMO). *Guide to the WMO Integrated Global Observing System* (WMO-No. 1165). Geneva, 2019.
- World Meteorological Organization (WMO)/Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO (IOC). *Joint WMO/IOC Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology (JCOMM) –Third Session: Abridged final report with resolutions and recommendations* (WMO-No. 1049). Geneva, 2010.
-