

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ГЛАВА 3. ИЗМЕРЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ	101
3.1 Общие сведения	101
3.1.1 Определение	101
3.1.2 Единицы измерения и шкалы	101
3.1.3 Метеорологические требования	102
3.1.4 Методы измерений и наблюдений	102
3.2 Ртутные барометры	104
3.2.1 Требования к конструкции	104
3.2.2 Общие требования	105
3.2.3 Стандартные условия	105
3.2.3.1 Стандартная температура и плотность ртути	105
3.2.3.2 Стандартная сила тяжести	106
3.2.4 Отсчет показаний ртутных барометров	106
3.2.4.1 Точность отсчета показаний	106
3.2.4.2 Изменение в инструментальной поправке	106
3.2.4.3 Допустимые изменения в инструментальной поправке	107
3.2.5 Приведение показаний барометра к стандартным условиям	108
3.2.6 Ошибки и погрешности ртутных барометров	108
3.2.6.1 Неточности в температуре прибора	108
3.2.6.2 Недостаточный вакуум	108
3.2.6.3 Капиллярная депрессия поверхности ртути	109
3.2.6.4 Нарушение вертикальности	109
3.2.6.5 Общая точность исправленных отсчетов давления	109
3.2.7 Меры безопасности при использовании ртути	109
3.2.7.1 Разливы и удаление ртути	111
3.2.7.2 Пожар	111
3.2.7.3 Транспортировка	111
3.3 Электронные барометры	112
3.3.1 Деформационные датчики с детекторами смещения	113
3.3.2 Цифровые пьезорезистивные барометры	113
3.3.3 Вибрационно-частотные барометры	114
3.3.4 Отсчет показаний электронных барометров	114
3.3.5 Ошибки и погрешности электронных барометров	115
3.3.5.1 Дрейф калибровки	115
3.3.5.2 Температура	115
3.3.5.3 Электрические помехи	116
3.3.5.4 Характер работы	116
3.4 Барометры-анероиды	116
3.4.1 Требования к конструкции	116
3.4.2 Требования к точности	116
3.4.3 Снятие показаний барометров-анероидов	117
3.4.3.1 Точность снятия показаний	117
3.4.3.2 Поправки к барометрам-анероидам	117
3.4.4 Ошибки и погрешности барометров-анероидов	117
3.4.4.1 Неполная компенсация на температуру	117
3.4.4.2 Погрешности упругости	117
3.5 Барографы	118
3.5.1 Общие требования	118
3.5.2 Устройство барографов	118
3.5.3 Источники ошибок и неточностей	119
3.5.4 Приборы с возможностью обработки данных	119
3.5.5 Снятие показаний барографа	119
3.5.5.1 Точность снятия показаний	119
3.5.5.2 Поправки, вводимые в показания барографа	119
3.6 Барометры с трубкой Бурдона	120
3.7 Барическая тенденция	120
3.8 общие требования к размещению	120
3.8.1 Влияние ветра	120

3.8.2	Воздействие кондиционирования воздуха	121
3.9	Размещение барометров	121
3.9.1	Размещение ртутных барометров	121
3.9.2	Размещение электронных барометров	122
3.9.3	Размещение барометров-анероидов	122
3.9.4	Размещение барографов	122
3.10	Сравнение, калибровка и обслуживание	123
3.10.1	Общие требования к поверке барометров	123
3.10.2	Оборудование, используемое для поверки барометров	124
3.10.2.1	Основной стандартный барометр (А)	124
3.10.2.2	Рабочий стандартный барометр (В)	124
3.10.2.3	Переносной стандартный барометр (С)	124
3.10.2.4	Спецификации переносных ртутных барометров (Р)	125
3.10.2.5	Спецификации переносных электронных барометров (Q)	125
3.10.3	Сравнение барометров	125
3.10.3.1	Международные сравнения барометров	125
3.10.3.2	Инспекция станционных барометров	126
3.10.3.3	Процедура сравнения ртутных барометров	126
3.10.3.4	Поверка электронных барометров	127
3.10.4	Общая процедура, рекомендуемая для проведения сравнения барометров в разных местах	127
3.10.5	Региональные сравнения барометров	129
3.10.5.1	Номенклатура и символы	129
3.10.5.2	Система межрегиональных сравнений	129
3.10.5.3	Система международных сравнений в пределах региона	130
3.11	Приведение показаний барометра к другим уровням	130
3.11.1	Стандартные уровни	130
3.11.2	Станции, расположенные на небольшой высоте	131
3.12	Барическая тенденция и характеристика барической тенденции	131
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.А. ПРИВЕДЕНИЕ ПОКАЗАНИЙ БАРОМЕТРА К СТАНДАРТНЫМ УСЛОВИЯМ		133
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.В. РЕГИОНАЛЬНЫЕ СТАНДАРТНЫЕ БАРОМЕТРЫ		137
СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА		138

ГЛАВА 3. ИЗМЕРЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

3.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

3.1.1 Определение

Атмосферное давление на данную горизонтальную поверхность — это сила, действующая на единицу площади этой поверхности, обусловленная весом вышележащей атмосферы. Давление, таким образом, равно весу вертикального столба воздуха с основанием в единицу площади, простирающегося от рассматриваемой поверхности до внешней границы атмосферы.

Кроме фактического давления следует также определять изменение давления или барическую тенденцию. Барическая тенденция — это характер и величина изменения атмосферного давления за 3 ч или другой конкретный период времени, заканчивающийся в срок наблюдения. Барическая тенденция состоит из двух частей, а именно: изменение давления и характеристика изменения давления. Значение барической тенденции определяется как разность между показаниями атмосферного давления в начале и конце указанного интервала времени. Характеристика атмосферного давления показывает, как менялось давление за этот период времени, например, падение, затем рост или рост и затем более быстрый рост.

3.1.2 Единицы измерения и шкалы

Основной единицей измерения атмосферного давления является паскаль (Па) — ньютон на квадратный метр. Общепринятой практикой является прибавление приставки «гекто» к этой единице при сообщениях давления для метеорологических целей, при этом один гектопаскаль (гПа) равен 100 Па. Это объясняется главным образом тем, что один гектопаскаль (гПа) равен одному миллибару (мбар) — использовавшейся ранее единице.

Шкалы всех барометров, используемых для метеорологических целей, должны быть проградуированы в гПа. Некоторые барометры проградуированы в «миллиметрах или дюймах ртутного столба при стандартных условиях» — (мм рт. ст.)_n и (дюймы рт. ст.)_n соответственно. В тех случаях, когда из контекста ясно, что должны применяться стандартные условия, можно использовать более краткие термины — «миллиметр ртути» или «дюйм ртути». В стандартных условиях столб ртути, имеющий действительную высоту шкалы 760 (мм рт. ст.)_n, оказывает давление 1 013,250 гПа.

Далее будут применяться следующие формулы перевода:

$$\begin{aligned} 1 \text{ гПа} &= 0,750\,062 \text{ (мм рт. ст.)}_n \\ 1 \text{ (мм рт. ст.)}_n &= 1,333\,224 \text{ гПа} \end{aligned}$$

При обычной зависимости между дюймом и миллиметром, а именно 1 дюйм = 25,4 мм, получают следующие переводные множители:

$$\begin{aligned} 1 \text{ гПа} &= 0,029\,530 \text{ (дюйма рт. ст.)}_n \\ 1 \text{ (дюйм рт. ст.)}_n &= 33,863\,9 \text{ гПа} \\ 1 \text{ (мм рт. ст.)}_n &= 0,039\,370\,08 \text{ (дюйма рт. ст.)}_n \end{aligned}$$

Шкалы ртутных барометров, применяемых для метеорологических целей, должны быть проградуированы таким образом, чтобы получать истинные значения давления непосредственно в стандартных единицах, когда весь прибор находится при стандартной температуре 0 °С, а стандартное значение ускорения силы тяжести составляет 9,806 65 м·с⁻².

Барометры могут иметь несколько шкал, например, гПа и мм рт. ст. или гПа и дюймы рт. ст., при условии, что барометр правильно откалиброван при стандартных условиях.

Данные о давлении следует выражать в гектопаскалях. Далее в этой главе будет использоваться только единица гектопаскаль.

3.1.3 Метеорологические требования

Фундаментальной потребностью науки метеорологии является необходимость иметь проанализированные поля давления. При этом необходимо, чтобы эти поля давления были правильно определены, поскольку они составляют основу для всех последующих прогнозов состояния атмосферы. Измерения давления должны быть настолько точными, насколько это позволяет сделать применяемая технология и реалистичные финансовые ограничения, а измерения и процедуры калибровки должны быть унифицированными как в национальном, так и в международном плане.

Соответствующие комиссии ВМО определили необходимый уровень точности измерений давления для удовлетворения потребностей в интересах различных метеорологических применений; этот уровень описан в части I, глава 1, приложение 1.E, и является основным эталоном для спецификаций измерений в настоящем Руководстве. Требования к измерениям следующие:

Диапазон измерений: 500–1 080 гПа (как давление на уровне станции, так и давление на среднем уровне моря)
Требуемая точность: 0,1 гПа
Точность отсчетов: 0,1 гПа
Постоянная времени датчика: 20 с (для большинства современных барометров 20 с — достижимый показатель, см. часть I, глава 1, приложение 1.E)
Время осреднения: 1 мин

Вышеуказанные требования должны считаться достижимыми для новых барометров, размещаемых в строго контролируемой среде, такой как среда в должным образом оборудованной лаборатории. Такие лаборатории обеспечивают соответствующий уровень точности барометров перед их установкой в рабочей среде.

Для национальной метеорологической службы практические ограничения потребуют хорошо спроектированного оборудования для поддержания такого уровня точности барометров, установленных в окружающей среде. Особого внимания требует не только сам барометр, но и его установка. Однако характеристики барометра на станции, входящей в оперативную сеть, откалиброванного по стандартному барометру, инструментальные погрешности которого известны и допустимы, должны быть не хуже заявленных требований.

3.1.4 Методы измерений и наблюдений

Для метеорологических целей атмосферное давление обычно измеряется электронными барометрами, ртутными барометрами, барометрами-анероидами или гипсотермометрами. Последний класс приборов, основанных на использовании зависимости точки кипения воды от атмосферного давления, имеет ограниченное применение, и не будет обсуждаться подробно в настоящей публикации. Весьма полезное обсуждение характеристик цифровых барометров (которые в большинстве случаев имеют электронный вывод данных) содержится в публикации ВМО (1992).

Метеорологические приборы для измерения давления (барометры) пригодны для использования в качестве оперативных приборов для измерения атмосферного давления в том случае, если они удовлетворяют следующим требованиям:

- a) приборы должны калиброваться или регулярно поверяться по (рабочему) стандартному барометру с использованием установленных процедур. Период между двумя калибровками должен быть достаточно коротким с тем, чтобы суммарная абсолютная погрешность измерения удовлетворяла требованиям к точности, определенным в настоящей главе;
- b) любые изменения точности (долгосрочного или краткосрочного характера) должны быть намного меньше, чем допуски, приведенные в разделе 3.1.3. Если у каких-либо приборов имеется история дрейфа калибровки, эти приборы могут быть пригодны для оперативного использования лишь в том случае, если период между калибровками является достаточно коротким, с тем чтобы обеспечить необходимую точность измерения во все сроки;
- c) на показания прибора не должны влиять колебания температуры. Приборы являются пригодными только в том случае, если:
 - i) процедуры для внесения температурных поправок в их показания обеспечивают необходимую точность и/или;
 - ii) датчик давления располагается в среде, где температура стабилизируется таким образом, что обеспечивается требуемая точность.

На некоторых приборах измеряется температура датчика давления с тем, чтобы компенсировать влияние температуры. Необходимо контролировать и проводить калибровку температурной компенсации при проведении стандартной калибровки датчиков давления;

- d) прибор должен располагаться в среде, где внешние воздействия не приводят к ошибкам измерений. К таким воздействиям относятся ветер, радиация/температура, удары и вибрация, колебания в обеспечении электрической энергией и скачки давления. Следует тщательно выбирать местоположение прибора, особенно ртутных барометров.

Важно, чтобы каждый наблюдатель-метеоролог в полной мере понимал эти воздействия и мог оценить, оказывает ли какой-либо из этих факторов влияние на точность показаний используемого барометра;

- e) прибор должен быть доступным для быстрого и легкого снятия показаний. Приборы должны быть сконструированы таким образом, чтобы стандартное отклонение их показаний было менее одной трети заявленной абсолютной погрешности;
- f) когда необходимо откалибровать прибор на удалении от места его оперативного использования, способ транспортировки не должен оказывать воздействия на стабильность или точность барометра. К воздействиям, которые могут изменить калибровку барометра, относятся механические удары и вибрация, отклонение от вертикального положения и значительные колебания давления, которые могут возникнуть во время транспортировки воздушным транспортом.

В большинстве барометров последней конструкции используются датчики, реакция которых преобразуется в соответствующие значения давления. Впоследствии эти значения обрабатываются с использованием соответствующих электрических интегрирующих схем или систем получения данных с соответствующими алгоритмами сглаживания. Для синоптических целей желательна постоянная времени, равная примерно 10 с (и не более 20 с). Для ртутных барометров постоянная времени в основном не имеет значения.

Для измерения атмосферного давления существуют несколько общих методов, которые будут описаны в последующих разделах.

Наиболее широко используемым методом измерения атмосферного давления является метод, базирующийся на весе столба жидкости. По различным причинам требуемую

точность можно получить только в том случае, если жидкостью, используемой в приборе, является ртуть. Считается, что в целом ртутные барометры имеют хорошую длительную стабильность и точность, но в настоящее время они начинают однозначно проигрывать точным и более удобным для снятия показаний электронным барометрам.

Мембрана из эластичного материала будет деформироваться, если давление на одной стороне будет больше, чем на другой. На практике используется запаянная металлическая коробка, полностью или частично вакуумированная, с сильной металлической пружиной для предотвращения разрушения коробки под воздействием внешнего атмосферного давления. Для измерений деформации под воздействием разности давления между внутренней и внешней частями коробки используются механические и электрические средства. Это принцип хорошо известного барометра-анероида.

В настоящее время разрабатываются элементы датчика давления, в которые входят тонкостенные цилиндры из никелевого сплава, находящиеся в вакууме. Опорная резонансная частота этих цилиндров изменяется в зависимости от разности давления внутри цилиндра, которое представляет собой атмосферное давление, и вне цилиндра, сохраняющегося в вакууме.

Все большее распространение получают датчики абсолютного давления, в которых используется кварцевый кристаллический элемент. Оказываемое через гофрированные мембраны на поверхность кристалла давление вызывает силу сжатия, воздействующую на кристалл. Вследствие пьезорезистивных свойств кристалла при воздействии давления изменяется баланс активного моста Уитстона. Балансирование моста позволяет обеспечить точное определение давления. Датчики давления такого типа в конечном итоге не подвергаются воздействиям гистерезиса.

Точка кипения жидкости является функцией давления, при котором она закипает. Как только эта функция определена, температуру, при которой закипает жидкость, можно использовать в гипсометре для определения атмосферного давления.

3.2 РТУТНЫЕ БАРОМЕТРЫ

Все более распространенным становится отказ от использования ртутных барометров вследствие того, что пары ртути являются высокотоксичными; ртуть в чистом виде агрессивна для алюминиевых сплавов, используемых в каркасе (по этой причине в некоторых странах существуют правила, запрещающие манипуляции с ртутными барометрами или их перемещение); для трубки необходимо специальное свинцовое стекло; барометр является очень хрупким и трудным для транспортировки; трудно осуществлять техобслуживание прибора и очищать ртуть; считывание показаний прибора и применение поправок необходимо производить вручную; в настоящее время общедоступными являются другие датчики давления эквивалентной точности и стабильности с электронным считыванием показаний.

3.2.1 Требования к конструкции

Основным принципом работы ртутного барометра является уравнивание давления атмосферы весом столба ртути. В некоторых барометрах столб ртути взвешивается на весах, но для обычных метеорологических целей высота ртутного столба определяется по шкале, проградуированной в единицах давления.

На метеорологических станциях используется несколько типов ртутных барометров, при этом наиболее распространенными являются чашечные барометры и барометры Фортеня. Высота ртутного столба измеряется в них как расстояние между верхней точкой ртутного столба и поверхностью ртути в чашке. Любое изменение высоты ртутного столба сопровождается изменением уровня ртути в чашке. В барометре Фортеня уровень ртути в чашке может быть отрегулирован по контакту с указателем, конец которого находится

на нулевой отметке шкалы барометра. В чашечном барометре, часто называемом барометром Кью, ртуть в чашке не регулируется, поэтому шкала барометра нелинейная и нанесена с учетом изменения уровня ртути в чашке.

3.2.2 Общие требования

Основные требования к хорошим ртутным станционным барометрам состоят в следующем:

- a) их точность не должна изменяться в течение длительного времени. В частности, их гистерезис должен быть незначительным;
- b) отсчет по барометру должен быть легким и быстрым и должен корректироваться поправками на все известные воздействия. Наблюдатели, использующие эти поправки, должны понимать их значение с тем, чтобы правильно их применять и не ухудшать точность отсчетов;
- c) при транспортировке барометры не должны терять свою точность;
- d) внутренний диаметр трубки барометра должен быть не менее 7 мм, но предпочтительнее 9 мм;
- e) трубка должна быть подготовлена и наполнена в вакууме. Важное значение имеет чистота ртути. Она должна быть дважды дистиллирована, обезжирена, многократно промыта и отфильтрована;
- f) температура, при которой предполагается, что шкала дает правильные значения при стандартной силе тяжести, должна быть нанесена на барометре. Желательно, чтобы шкала была откалибрована так, чтобы давать правильные значения при 0 °С;
- g) мениск не должен быть плоским, за исключением случаев, когда диаметр трубки большой (более 20 мм);
- h) для морских барометров погрешность в любой точке шкалы не должна превышать 0,5 гПа.

Инерция ртутных барометров для наземных станций, как правило, достаточно низкая по сравнению с инерцией морских барометров и приборов для измерения температуры, влажности и ветра.

3.2.3 Стандартные условия

Принимая во внимание, что высота ртутного столба барометра зависит, кроме атмосферного давления, от других факторов, особенно от температуры и силы тяжести, необходимо определить стандартные условия, при которых барометр теоретически должен давать правильные показания. В международных соглашениях по барометрам предусматриваются следующие стандарты.

3.2.3.1 Стандартная температура и плотность ртути

Стандартной температурой является значение 0 °С, к которому приводятся отсчеты ртутных барометров с целью предотвращения погрешностей, связанных с изменением плотности ртути в зависимости от температуры.

Стандартная плотность ртути при 0 °С берется равной $1,359\,51 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, а для целей расчета абсолютных значений давления с помощью гидростатического уравнения ртутный столб барометра условно рассматривается как несжимаемая жидкость.

Плотность неочищенной ртути отличается от плотности ртути очищенной. Поэтому барометр, в котором используется неочищенная ртуть, будет показывать ошибочные значения давления, поскольку давление пропорционально плотности ртути.

3.2.3.2 **Стандартная сила тяжести**

Показания барометра должны приводиться от ускорения силы тяжести в данном месте к стандартному (нормальному) ускорению. Стандартное ускорение силы тяжести (g_n) обычно является константой, $g_n = 9,806\,65 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$.

Примечание: необходимость принятия некоторого стандартного значения ускорения силы тяжести объясняется в публикации ВМО (WMO, 1966). Это значение не соответствует истинному значению, измеренному или теоретически рассчитанному в конкретных условиях, например, на уровне моря на широте 45° , поскольку такие величины уточняются по мере появления новых экспериментальных данных.

3.2.4 **Отсчет показаний ртутных барометров**

При наблюдении давления с помощью ртутного барометра вначале следует отсчитать показания укрепленного термометра. Это следует сделать как можно быстрее, так как из-за присутствия наблюдателя температура термометра может повыситься. Для того чтобы поверхности ртути стабилизировались, следует легко постучать несколько раз пальцем в двух местах: в районе мениска и около чашки. Если барометр принадлежит к типу приборов с незакрепленной чашкой, то его следует отрегулировать так, чтобы привести ртуть в чашке в соприкосновение с риской нулевого отсчета. И, наконец, следует установить нониус барометра на мениске ртути, после чего можно снять показания. Нониус считается точно установленным, когда его горизонтальный нижний край касается самой высокой части мениска; при использовании увеличительного стекла должна быть видна чрезвычайно узкая полоса света между нониусом и вершиной поверхности ртути. В любом случае нониус не должен «срезать» верхнюю часть мениска. Глаз наблюдателя нужно располагать таким образом, чтобы нижние края нониуса, ближний и дальний, находились на одном уровне зрения.

3.2.4.1 **Точность отсчета показаний**

Отсчеты должны производиться с точностью до ближайшей 0,1 гПа. Обычно невозможно снять показания нониуса с лучшей точностью.

Для улучшения отсчетов по ртутным барометрам разработаны оптические и цифровые системы. Хотя эти системы обычно облегчают наблюдения, они могут вызвать новые источники ошибок, если они не спроектированы и откалиброваны тщательным образом.

3.2.4.2 **Изменение в инструментальной поправке**

Любое изменение значения инструментальной поправки, выявленное во время инспекции, следует тщательно проанализировать, учитывая следующее:

- a) историю барометра;
- b) опыт инспектора в работе по сравнениям;
- c) величину выявленного изменения;
- d) стандартное отклонение вычисленных разностей;
- e) наличие запасного барометра на станции, точность поправки которого известна;

- f) поведение переносных стандартных барометров во время перевозки;
- g) согласованность или несогласованность значений давления на станции и на соседних станциях, определяемых по ежедневной синоптической карте, в случае принятия изменения;
- h) был ли прибор почищен до начала сравнений.

Изменения в инструментальной поправке стационарных барометров, называемые отклонением, вызываются следующими причинами:

- a) изменениями капиллярной депрессии поверхности ртути вследствие ее загрязнения. В районах с сильным загрязнением атмосферного воздуха от промышленных источников загрязнение ртути может представлять серьезную проблему, связанную с необходимостью сравнительно частой очистки ртути и чашки барометра;
- b) подъемом воздушных пузырьков через ртутный столб в пространство выше столба.

Ошибки могут быть случайными или систематическими — положительными или отрицательными в зависимости от причины.

Изменения инструментальной поправки могут быть обусловлены также следующими причинами:

- a) ошибкой наблюдателя, вызванной тем, что наблюдатель не постучал пальцем по барометру перед снятием показаний, неправильно установил нониус или точку отсчета;
- b) отсутствием температурного равновесия у стационарного барометра или у переносного эталона;
- c) неодновременностью снятия показаний при быстро изменяющемся давлении.

В барометрах типа Фортеня такие погрешности могут вызываться случайным смещением регулируемой шкалы, а также уменьшением или увеличением расстояния между опорными точками.

3.2.4.3 **Допустимые изменения в инструментальной поправке**

Изменения в инструментальной поправке следует воспринимать следующим образом:

- a) изменение поправки в пределах 0,1 гПа может не приниматься в расчет, если оно непостоянно;
- b) изменение поправки более чем на 0,1 гПа, но менее чем на 0,3 гПа можно принять временно, до следующей поверки, уточняющей выявленные изменения;
- c) изменение поправки, превышающее 0,3 гПа, можно временно принять, если барометр находился в чистке, а запасной барометр с известной поправкой не был задействован; этот барометр должен заменяться сразу же, как только появляется правильно откалиброванный барометр.

Барометры с изменениями в инструментальной поправке, определяемыми в пунктах (b) и (c) выше, требуют особого внимания. Они должны быть вновь откалиброваны или заменены при первой же возможности.

Наряду со стационарными барометрами такие же критерии изменений в инструментальной поправке относятся и к переносным эталонам. Изменение в поправке менее 0,1 гПа можно не принимать во внимание, если оно не является постоянным. Более значительное

изменение в поправке должно подтверждаться и приниматься только после неоднократных сравнений. Инструментальные поправки переносного эталона «до» и «после» перемещения не должны различаться более чем на 0,1 гПа. Поэтому в качестве переносных эталонов должны использоваться только барометры с длительной историей соответствующих поправок.

3.2.5 **Приведение показаний барометра к стандартным условиям**

Для того чтобы показания барометра, снимаемые в различные сроки и в разных местах, перевести в действительные значения атмосферного давления, следует внести следующие поправки:

- a) инструментальную поправку;
- b) поправку на силу тяжести;
- c) поправку на температуру.

Для большинства оперативных метеорологических применений можно получить приемлемые результаты, следуя инструкциям изготовителя барометра, при условии, что эти процедуры обеспечивают получение показаний давления с требуемой погрешностью. Однако если эти результаты не удовлетворяют потребителя или требуется получить более высокую точность, то подробные процедуры, в соответствии с которыми следует вносить поправки на вышеуказанные факторы, можно найти в приложении 3.А.

3.2.6 **Ошибки и погрешности ртутных барометров**

3.2.6.1 **Неточности в температуре прибора**

Температура, определяемая по термометру при барометре, как правило, не соответствует средней температуре ртути, шкалы и чашки. Возникающую вследствие этого погрешность можно уменьшить, если разместить барометр в подходящем месте и использовать соответствующую процедуру наблюдения. Обращается внимание на частое возникновение значительного устойчивого вертикального градиента температуры в помещении, которое может вызывать значительные различия в температуре верхней и нижней частей барометра. Такого распределения температуры можно избежать с помощью электрического вентилятора, однако при этом существует опасность изменения местного давления. Вентилятор следует выключать перед началом наблюдения. При обычных условиях погрешность, связанная с уменьшением температуры, не превышает 0,1 гПа, если приняты такие меры предосторожности.

3.2.6.2 **Недостаточный вакуум**

Обычно предполагается, что внутри откалиброванного прибора имеется идеальный вакуум или незначительное количество газа над ртутным столбом, которым можно пренебречь при проведении калибровки. Любое изменение этих условий вызовет погрешность отсчетов давления. Грубую проверку на присутствие газа в трубке барометра можно провести, опрокинув барометр и прослушав щелчок, когда ртуть достигнет конца трубки, или проверяя запаянный конец барометрической трубки на наличие пузырька, диаметр которого при наклонном положении барометра не должен превышать 1,5 мм. Таким способом нельзя обнаружить наличие водяного пара, поскольку он конденсируется, когда объем пространства уменьшается. Согласно закону Бойля, погрешность из-за наличия воздуха и ненасыщенного водяного пара над столбиком ртути будет обратно пропорциональна объему пространства над ртутью. Единственным приемлемым путем преодоления этой погрешности является повторная калибровка всей шкалы или, если погрешность значительна, трубку барометра следует заменить или наполнить вновь.

3.2.6.3 **Капиллярная депрессия поверхности ртути**

В конкретной трубке высота мениска и капиллярная депрессия¹ могут изменяться из-за изнашивания стеклянной трубки, загрязнения ртути, колебаний давления и положения ртути в трубке. Желательно, чтобы средняя высота мениска определялась во время первой калибровки и отмечалась в сертификате барометра. При отклонении высоты мениска от первоначальной никаких исправлений делать не следует, а эту информацию нужно использовать только как указание о необходимости тщательной проверки или повторной калибровки барометра. Изменение высоты мениска на 1 мм (от 1,8 до 0,8 мм) для 8-миллиметровой трубки может вызвать погрешность в отсчетах давления около 0,5 гПа.

Следует отметить, что значительные изменения угла соприкосновения ртути и стенки чашки в чашечном барометре могут вызвать небольшие, но заметные погрешности при измерении давления.

3.2.6.4 **Нарушение вертикальности**

Если основание свободно подвешенного чашечного барометра обычной длины (около 90 см) переместится на 6 мм от вертикального положения, то определяемое давление повысится примерно на 0,02 гПа. Такие барометры, как правило, висят более вертикально, чем сифонно-чашечные.

Для сифонно-чашечного барометра этот источник погрешностей, однако, является более важным. Если, например, указатель исходной точки в чашке отклонен от оси примерно на 12 мм, то перемещение чашки только на 1 мм от вертикали вызовет погрешность в 0,02 гПа.

3.2.6.5 **Общая точность исправленных отсчетов давления**

Стандартное отклонение отдельного исправленного показания барометра, установленного на обычной метеорологической станции, должно быть в пределах 0,1 гПа. Эта погрешность обычно является результатом неизбежной неточности инструментальной поправки, недостоверной температуры прибора и погрешности из-за наличия колебательного эффекта поверхности ртути.

3.2.7 **Меры безопасности при использовании ртути**

Ртуть используется довольно в больших количествах в барометрах и, являясь ядовитой, требует осторожного обращения. При температурах и давлениях, наблюдаемых на поверхности Земли, ртуть представляет собой жидкость. Там, где существует жидкая ртуть, в воздухе образуются пары ртути. Ртуть как в жидком, так и в газообразном состоянии может проникать в организм через кожу, а также при дыхании. Ее свойства описаны Саксом (1975). Во многих странах меры предосторожности при ее использовании предписываются правилами обращения с опасными веществами. Минаматская конвенция о ртути Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) вступила в силу в октябре 2013 г. и окажет значительное воздействие на использование ртути в метеорологических применениях.

В больших дозах ртуть может вызвать острое отравление; кроме того, она также может накапливаться в твердых и мягких тканях тела, поэтому воздействие в течение длительного времени даже малых доз может вызвать долгосрочные повреждения органов или даже смерть. Она поражает, главным образом, центральную нервную систему, рот и десны с такими симптомами, как боль, потеря зубов, аллергические реакции, тревоги и психические расстройства.

¹ Капиллярная депрессия представляет уменьшение высоты мениска жидкости, содержащейся в трубке, где жидкость (такая как ртуть) не смачивает стенки трубки. Мениск имеет выпуклую форму в верхней части.

При применении барометров основной риск возникает в лабораториях, где барометры часто освобождаются от ртути или заполняются ею. Проблемы могут также возникнуть на метеорологических станциях, если в замкнутом помещении, где работают люди, какое-то количество ртути, например от разбитого барометра, остается в местах, где она может постоянно испаряться.

Опасность существует, даже если ртуть должным образом закрыта и если она тщательно удалена после пролива. При использовании ртути следует иметь в виду следующее:

- a) емкости, содержащие ртуть, должны быть хорошо упакованы для предотвращения утечки или разбивания и должны регулярно проверяться;
- b) пол помещения, где ртуть хранится и используется в больших количествах, должен иметь плотное непроницаемое и не растрескавшееся покрытие из материала, такого, как ПВХ. Небольшие трещины в полу, например между половыми досками, будут удерживать капли ртути. Предпочтительнее, чтобы покрывающий пол материал был загнут у стены примерно на 10 см с тем, чтобы не оставалось стыков между полом и стенами;
- c) ртуть не следует хранить в металлическом контейнере, поскольку она реагирует с большинством металлов, за исключением железа, образуя амальгаму, которая также может быть опасной. Ртуть не должна соприкасаться ни с какими другими металлическими предметами;
- d) ртуть не следует хранить вместе с другими химическими веществами, особенно с аминами, аммиаком или ацетиленом;
- e) хранить ртуть в больших количествах и работать с ней всегда следует в хорошо проветриваемом помещении. С первичным материалом следует работать в вытяжном шкафу хорошего качества;
- f) ртуть никогда не следует хранить вблизи любого источника тепла, поскольку она имеет сравнительно низкую точку кипения (357 °C) и может выделять опасные концентрации токсичного пара, особенно во время пожара;
- g) при работе с ртутью помещение, в котором она используется, и персонал, работающий с ней, должны регулярно проходить освидетельствование на определение содержания опасных количеств ртути.

В соответствии с Минаматской конвенцией импорт и экспорт ртути будут отныне запрещены. В этом контексте производство, импорт и экспорт продуктов с добавлением ртути, таких как термометры, будут приостановлены к 2020 г. Согласно Конвенции, «ни одна Страна не разрешает посредством принятия соответствующих мер производство, импорт или экспорт продуктов с добавлением ртути, перечисленных в части I приложения A [Конвенции] после наступления предусмотренного для этих продуктов срока поэтапного вывода из обращения» (ЮНЕП, 2013 г.). В частности, данный перечень включает:

«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;

е) сфигмоманометры».

3.2.7.1 **Разливы и удаление ртути**

Существует два общепринятых метода удаления разливов ртути: с использованием соответствующей системы всасывания, описываемой ниже, или же путем адсорбции/амальгамации ртути в порошок.

В случае разлива ртуть должна удаляться незамедлительно. Наблюдатель (поверитель) должен быть в полиэтиленовых перчатках или рукавицах, иметь защитные очки, а при значительных разливах иметь также респиратор с фильтром, не пропускающим пары ртути. В зависимости от того, насколько велик разлив, ртуть вначале можно собрать с помощью вакуумной системы, а затем с помощью набора средств адсорбции для очистки от небольших капель. Использование набора средств адсорбции является обязательным, поскольку во время разлива десятки небольших капель диаметром менее 0,02 мм прилипают к поверхности, и их невозможно эффективно счистить с помощью вакуумной системы.

Во всасывающей системе ртуть поступает через пластиковую трубку небольшого диаметра в стеклянный флакон с водой, при этом отверстие трубки находится ниже уровня воды (примерно 3 см) во флаконе. Один конец пластиковой трубки более крупного диаметра помещен в воздушное пространство выше уровня воды во флаконе, а другой присоединен к пылесосу или вакуумному насосу. Вода не позволяет парам или каплям ртути поступать в пылесос или насос. Затем суспензию помещают в пластиковый контейнер с четкой надписью «На удаление».

При использовании поглощающих материалов для поглощения или амальгамации ртути можно использовать целый ряд соединений. К ним относятся цинковый или серный порошок или активированный уголь. Для ликвидации разливов ртути существуют специальные коммерческие наборы. Порошок распыляется на разлив и адсорбирует или амальгамирует ртуть. Полученный порошок сметается и помещается в пластиковый контейнер с четкой надписью «На удаление».

Собранную ртуть можно либо удалить, либо же восстановить. Более подробную информацию о том, каким образом удалять ртуть, можно получить от местных властей и/или поставщика. Поставщик может также проинформировать о способе восстановления и очистки ртути.

3.2.7.2 **Пожар**

Ртуть не горит, однако при пожаре выделяются значительные концентрации токсичных дымов. После пожара пары ртути конденсируются на ближайших холодных поверхностях, заражая большие площади, а также адсорбируются на открытых поверхностях, таких, как обгоревшее дерево. Во время пожара следует покинуть место пожара, при этом стараться не попадать в дымные струи. Сообщить противопожарным учреждениям о местоположении и количестве имеющейся ртути.

3.2.7.3 **Транспортировка**

Транспортировка ртути или приборов, в которых содержится ртуть, воздушным транспортом регулируется Международной ассоциацией воздушного транспорта. По требованию авиакомпании предоставляют специальные условия для такой транспортировки. Транспортировка по железной дороге или автотранспортом в каждой стране обычно регулируется положением о перевозке опасных веществ.

Как правило, металлическая ртуть должна быть упакована в стеклянный или пластиковый контейнер. Упаковку контейнеров следует проводить чрезвычайно осторожно, чтобы не

допустить их разрывов, и на них должны быть наклейки с четкими надписями. Приборы, содержащие ртуть, должны упаковываться в прочные коробки с амортизирующим материалом, которые являются непромокаемыми и непроницаемыми для ртути.

3.3 ЭЛЕКТРОННЫЕ БАРОМЕТРЫ

В большинстве барометров современной конструкции используются датчики, которые переводят реакцию датчика на изменение давления в электрические сигналы. К ним могут относиться аналоговые сигналы, например напряжение (DC или AC с частотой, связанной с действительным давлением), или цифровые, например пульсация частоты или стандартные протоколы данных связи, такие, как RS232, RS422, RS485 или IEEE488. Аналоговые сигналы могут выводиться на дисплеи разнообразных электронных счетчиков. Для вывода на дисплей цифровых данных или оцифрованных аналоговых данных часто используются мониторы и системы получения данных, подобные тем, которые применяются в автоматических метеорологических станциях.

Для повышения точности измерений и достижения длительной стабильности технологии современных цифровых барометров постоянно совершенствуются. Один из методов состоит в использовании трех независимо работающих датчиков под управлением одного микропроцессора. Еще более высокую надежность и стабильность можно достичь при использовании трех абсолютно независимых барометров, включающих три комплекта датчиков давления и микропроцессоров. В каждом комплекте происходит автоматическая компенсация на температуру за счет встроенных датчиков температуры. Тройное приведение обеспечивает отличную длительную стабильность и точность измерений даже в самых экстремальных условиях. Такие подходы позволяют обеспечивать постоянный мониторинг и проверку характеристик отдельного датчика.

При использовании цифровых барометров должны соблюдаться некоторые требования, особенно когда они применяются в автоматических метеорологических станциях; существуют также официальные рекомендации, которых следует придерживаться в целях нормальной работы (см. *Сокращенный окончательный отчет одиннадцатой сессии Комиссии по приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 807), приложение VII). Метеорологические организации должны:

- a) регулярно контролировать или перепроверять калибровочные данные цифровых барометров, имеющиеся в поверочных свидетельствах (ежегодно до тех пор, пока не будет определена скорость дрейфа);
- b) обеспечивать регулярную калибровку цифровых барометров и изучать возможности использования для этой цели оборудования национальных служб;
- c) принимать во внимание, что определенные типы цифровых барометров могут быть использованы в качестве переносных эталонов благодаря их портативности и хорошей краткосрочной стабильности;
- d) считать, что выбор конкретного типа цифрового барометра должен быть основан не только на утвержденных положениях о приборах, но также и на учете особенностей местности и существующего оборудования.

Производители приборов должны:

- a) увеличивать степень независимости цифровых барометров от температуры и обеспечивать долговременную стабильность их работы;
- b) использовать стандартные коммуникационные интерфейсы и протоколы передачи данных;

- с) приспособлять систему энергоснабжения цифровых барометров к широкому диапазону DC напряжения (например, от 5 до 28 VDC).

3.3.1 Деформационные датчики с детекторами смещения

Высокоточные приборы для измерения давления, использующие принцип бесконтактного измерения смещения анероидной коробки, крайне важны в практике метеорологических применений. Применяется широкий диапазон таких датчиков, в том числе емкостные детекторы смещения, потенциометрические детекторы смещения, тензометры, размещаемые в важнейших точках датчика, и рычажные сервосистемы, которые сохраняют размеры датчика постоянными, независимо от давления.

Все чувствительные элементы должны помещаться внутри литого кожуха. Этот кожух следует содержать при постоянной температуре с помощью электронно-управляемого нагревателя. Следует полностью избегать конденсации влаги. Эффективным методом предотвращения этого является помещение в литой кожух гигроскопического вещества, такого как силикат, а диффузии водяного пара в кожух можно избежать с помощью присоединения к нему длинной пластмассовой трубки (примерно 25 м) с диаметром отверстия 2 мм или менее между отверстием давления и статической насадкой (см. раздел 3.8.1).

Кожух датчика давления должен быть воздухонепроницаемым и обеспечивать внешнюю связь с отсеком, где должно измеряться давление.

3.3.2 Цифровые пьезорезистивные барометры

Измерения атмосферного давления стали возможными с использованием пьезоэлектрического (пьезорезистивного) эффекта. Общая схема состоит в том, что четыре измерительных сопротивления, помещенные на гибкой поверхности монолитной кремниевой подложки, соединены между собой таким образом, чтобы образовать мост Уитстона.

В цифровых пьезорезистивных барометрах используются датчики, представляющие собой элементы кристаллического кварца с осевой нагрузкой, при этом они являются датчиками абсолютного давления. Кристаллический кварц выбран из-за его пьезоэлектрических свойств, стабильности частотных характеристик, малой подверженности температурным воздействиям и точно воспроизводимых частотных характеристик. Давление, оказываемое на впускное окно, вызывает осевую подъемную силу с помощью подвижных чашечек, в результате чего на кристаллический кварцевый элемент оказывает воздействие сила давления. Поскольку кристаллический элемент представляет собой довольно жесткую мембрану, то при регистрации изменений давления напрягается вся механическая часть барометра, в результате чего устраняется механический гистерезис.

Упомянутый выше действующий мост Уитстона может состоять либо из полупроводниковых датчиков напряжения, либо из пьезорезистивных датчиков. Датчики напряжения либо связаны с тонкой круглой диафрагмой, которая зажата по окружности, либо автоматически преобразуются в кремниевый контур в форме диафрагмы. В диффузных приборах сама кремниевая интегрированная пластина является диафрагмой. Прилагаемое давление представляет собой распределенную нагрузку на диафрагму, которая в свою очередь обеспечивает изгибающие усилия и результирующие напряжения, на которые реагируют тензодатчики и которые создают напряжение, пропорциональное прилагаемому давлению, в результате чего возникает разбалансирование моста. Выходные данные моста пропорциональны изменению давления, действующего на диафрагму.

Этот принцип работы основан на том, что атмосферное давление воздействует на элемент датчика, покрывающий небольшую камеру, из которой откачан воздух. Через нее сопротивления подвергаются силам сжатия и растяжения. Вследствие

пьезоэлектрического эффекта величины сопротивления изменяются пропорционально атмосферному давлению. Чтобы избежать ошибок за счет температурных воздействий, датчик часто встраивается в термостат.

Выходной сигнал постоянного тока моста Уитстона преобразуется в стандартный сигнал с помощью соответствующего усилителя. Обычно величина измеряемого давления представляется на световом диоде или на дисплее на жидких кристаллах.

В современном варианте пьезоэлектрического датчика давления определяются две резонансные частоты пьезоэлектрического элемента. Путем расчета линейных функций этих частот и применения соответствующего комплекта параметров, полученных после калибровки, с помощью микропроцессора, который не зависит от температуры датчика, рассчитывается давление.

3.3.3 Вибрационно-частотные барометры

В вибрационно-частотных барометрах в качестве измерительного элемента используется тонкостенный цилиндр из никелевого сплава. С помощью электромагнитного поля он поддерживается в режиме вибрации. Изменение давления вызывает изменение опорной резонансной частоты вибрирующей механической системы. Вибрация стенок цилиндра измеряется принимающей катушкой, сигнал которой усиливается и подается на приводную катушку. Давление воздуха измеряется внутри цилиндра, а на его внешней стороне поддерживается стандартный вакуум. Опорная резонансная частота вибрации изменяется пропорционально разнице давлений на стенках цилиндра. Повышение давления вызывает увеличение частоты.

Тонкостенный цилиндр должен иметь достаточную прочность и массу с тем, чтобы выдерживать давление диапазона, в котором он предназначен работать, и находиться на прочном основании. Для метеорологических применений цилиндр помещается в вакуумную камеру, а вход цилиндра соединяется со свободной атмосферой. В связи с тем, что имеется прямая зависимость между опорной резонансной частотой цилиндра и давлением, атмосферное давление можно рассчитывать по измеряемой резонансной частоте. Однако эта зависимость, определенная во время калибровки, зависит от температуры и плотности газа. Поэтому требуется температурная компенсация, и рекомендуется подсушивать воздух до входа в цилиндр.

3.3.4 Отсчет показаний электронных барометров

С помощью электронного барометра измеряется атмосферное давление окружающего пространства или любого пространства, которое соединяется с ним через трубку. Как правило, барометр следует устанавливать так, чтобы снимать показания на уровне прибора. Однако на борту судна или на наземных станциях, расположенных на небольших высотах, прибор может быть установлен таким образом, чтобы показывать давление, соответствующее среднему уровню моря при условии, что разность между давлением на станции и на уровне моря можно считать постоянной.

Электронные барометры дают точные показания на числовой шкале, обычно представленной в гПа, однако в случае необходимости их можно легко перевести и в другие единицы. Как правило, можно обеспечить регистрацию в цифровой форме. Можно также представлять тенденцию изменения давления, если прибор управляется микропроцессором.

Точность показаний электронных барометров зависит от точности их калибровки, эффективности температурной компенсации (от остаточного давления воздуха в чувствительном элементе, температуры, качества термостата) и изменения их калибровки со временем.

К основным датчикам могут присоединяться цепи, которые корректируют основной выходной сигнал на нелинейность датчика и воздействие температуры и переводят выходные значения в стандартные единицы. В состав современного стандартного барометра входят датчик давления, микрокомпьютерное устройство (включая дисплей) и цепь интерфейса для связи с любым регистратором данных или с автоматической метеорологической станцией.

Электронные барометры, имеющие несколько датчиков или чувствительных элементов, обычно рассчитывают средневзвешенное значение по каждому датчику и результирующее выходное значение давления с точностью 0,1 гПа. Во время калибровки каждый чувствительный элемент может быть проверен с точностью 0,01 гПа. Это, тем не менее, не должно привести операторов к мысли о том, что чувствительность датчика выше 0,1 гПа (см. раздел 3.10.3.4).

3.3.5 **Ошибки и погрешности электронных барометров**

3.3.5.1 ***Дрейф калибровки***

Изменение в калибровке является одним из основных источников ошибки электронных барометров. Оно часто является большим, если барометр новый; со временем это отклонение уменьшается. Могут возникать скачкообразные изменения в калибровке.

Чтобы обеспечить надежную работу барометра, поправки калибровки, применяемые к показаниям, должны проверяться сравнительно часто, например, ежегодно, с тем, чтобы своевременно обнаружить и заменить неисправные датчики.

Необходимость частой проверки калибровки электронных барометров ложится дополнительным бременем на национальные метеорологические службы, особенно на те, которые имеют обширные сети барометров. Затраты на эти калибровки должны приниматься во внимание при планировании замены ртутных барометров электронными.

3.3.5.2 ***Температура***

Электронные барометры следует содержать при постоянной температуре с тем, чтобы сохранялась калибровка. Желательно также, чтобы эта температура была близкой к температуре калибровки. Однако многие имеющиеся в продаже электронные барометры не проверяются на зависимость их показаний от температуры, в результате им присущи большие ошибки. Эти ошибки в основном зависят от точности измерения температуры чувствительного элемента и точности электронной коррекции давления в предположении, что в чувствительном элементе барометра нет термических градиентов. В тех случаях, когда изменения температуры происходят довольно быстро, возможны временные ошибки при измерении давления за счет гистерезиса.

Изменения в калибровке также в значительной мере зависят от термической истории барометра. Продолжительное воздействие температур, отличающихся от температуры калибровки, может привести к существенным изменениям в калибровке, как временным, так и постоянным.

Если барометры не находятся при той же температуре, что и температура элемента, то возможно также появление ошибок за счет электронной части барометров. Электронные барометры часто применяются в экстремальных климатических ситуациях, особенно при использовании в автоматических метеорологических станциях. При таких ситуациях барометр может испытывать колебания температуры, превышающие пределы, предусмотренные проектом изготовителя и спецификацией калибровки.

3.3.5.3 **Электрические помехи**

Как и все чувствительные электронные измерительные приборы, электронные барометры следует защищать и содержать вдали от источников сильных магнитных полей, таких как трансформаторы, компьютеры, радиолокаторы и т. д. Это не всегда является проблемой, но может привести к увеличению шума, в результате чего понижается точность прибора.

3.3.5.4 **Характер работы**

Заметные изменения в калибровке электронного барометра могут быть вызваны разницей работы барометра во время калибровки и при его оперативном использовании. Барометр, который работает постоянно и поэтому прогреет, будет показывать иное давление по сравнению с барометром, с которого считываются показания методом пульсации каждые несколько секунд.

3.4 **БАРОМЕТРЫ-АНЕРОИДЫ**

3.4.1 **Требования к конструкции**

Обычный барометр-анероид имеет значительные преимущества по сравнению с ртутным барометром вследствие его компактности и портативности, что делает его особенно удобным для использования в море или в полевых условиях. Основными частями анероида являются закрытая металлическая коробка, из которой полностью или частично выкачан воздух, и сильная система пружин, которая защищает коробку от деформации в условиях внешнего атмосферного давления. При любом определенном давлении будет соблюдаться равновесие между силой внешнего давления и силой противодействия пружины.

Коробка анероида может изготавливаться из материалов (сталь или бериллиевая медь), которые обладают такими эластичными свойствами, что коробка сама может действовать как пружина.

Необходимо какое-то средство для обнаружения и фиксирования деформации коробки. Это может быть система рычагов, которые усиливают деформацию и передвигают стрелку по шкале, проградуированной в единицах давления. В качестве другого принципа действия может использоваться световой луч, отклоняющийся в пределах шкалы. Вместо этих механических средств некоторые барометры снабжены микрометром с ручной настройкой, счетчик которого показывает давление в десятых долях гектопаскаля. Показания снимают в тот момент, когда светящийся индикатор сигнализирует о контакте микрометра с барокоробкой анероида. Анероид этого типа портативен и прочен.

3.4.2 **Требования к точности**

Основными требованиями к хорошему барометру-анероиду являются следующие:

- a) он должен компенсировать температурные колебания так, чтобы при изменении температуры на 30 К отсчеты анероида изменялись не более, чем на 0,3 гПа;
- b) ошибки шкалы в любой точке не должны превышать 0,3 гПа и должны оставаться в этих пределах не менее года при нормальной эксплуатации;
- c) гистерезис должен быть достаточно малым, таким, чтобы различие в показаниях перед изменением давления на 50 гПа и после возвращения к первоначальному значению было не более 0,3 гПа;

- d) он должен противостоять обычным транзитным рискам и сохранять свои характеристики в пределах указанных допусков.

3.4.3 **Снятие показаний барометров-анероидов**

3.4.3.1 **Точность снятия показаний**

Барометр-анероид должен находиться всегда в том же положении (вертикальном или горизонтальном), в котором он калибровался. Перед отсчетом показаний по барометру необходимо слегка постучать. По возможности, показания необходимо снимать с точностью до 0,1 гПа. Для улучшения точности отсчетов и уменьшения ошибок, обусловленных применением механических рычагов, имеются оптические и цифровые приборы.

3.4.3.2 **Поправки к барометрам-анероидам**

Как правило, барометр-анероид должен быть установлен так, чтобы измерять давление на уровне его установки. На борту корабля или на наземных станциях, расположенных на небольших высотах, прибор может быть установлен таким образом, чтобы показывать давление, соответствующее среднему уровню моря при условии, что разность между давлением на станции и на уровне моря можно считать постоянной. В отсчеты должны вводиться инструментальные поправки; кроме того, в приборе предусмотрена компенсация на температуру, и нет необходимости в поправке на ускорение силы тяжести.

3.4.4 **Ошибки и погрешности барометров-анероидов**

3.4.4.1 **Неполная компенсация на температуру**

Ослабление пружины в барометре-анероиде из-за повышения температуры приводит к завышению показаний давления. Этот эффект обычно устраняется одним из следующих способов:

- a) посредством применения биметаллического компенсатора в системе рычагов;
- b) с помощью некоторого количества газа, оставленного внутри анероидной коробки.

В большинстве барометров-анероидов обычного типа компенсация с помощью этих методов бывает полной только при каком-то одном значении давления. Желательно, чтобы все барометры-анероиды и барографы, используемые на метеорологических станциях, были хорошо компенсированы на температуру по всему диапазону давления. В цифровых системах считывания, пригодных для автоматизации, такие суммарные поправки могут применяться, как часть электронной системы.

3.4.4.2 **Погрешности упругости**

Барометр-анероид может подвергаться значительным и быстрым изменениям при воздействии давления. Так, например, при сильном порыве ветра барометр-анероид будет испытывать резкое увеличение давления, после чего последует более плавное возвращение к первоначальному значению. В таких случаях вследствие гистерезиса прибор будет показывать значения давления, несколько отличные от действительных, и потребует какое-то время, прежде чем эта разница станет незначительной. Но поскольку анероиды и барографы на наземных станциях обычно не подвергаются значительным изменениям давления, их погрешности из-за гистерезиса небольшие.

Существуют также постоянные ошибки из-за медленных изменений свойств металла анероидной коробки. Поправка на этот эффект может быть получена путем сравнения

через определенные интервалы времени, например, ежегодно со стандартным барометром. Хороший барометр-анероид должен сохранять точность 0,1 гПа в течение года или более. В целях определения отклонения от этой точности отдельных барометров необходимо установить процедуру регулярной поверки с проведением по необходимости калибровки и корректировки.

3.5 БАРОГРАФЫ

3.5.1 Общие требования

Из всего многообразия барографов здесь будет подробно рассмотрен только anerоидный барограф. Рекомендуется, чтобы ленты барографов, используемых для синоптических целей, отвечали следующим требованиям:

- a) были проградуированы в гПа;
- b) давали возможность производить отсчет с точностью до 0,1 гПа;
- c) имели масштабный коэффициент 10 гПа на каждые 1,5 см ленты.

Кроме того, желательно, чтобы барографы отвечали следующим требованиям:

- a) в барографе должен использоваться первоклассный anerоид (см. раздел 3.5.2);
- b) барограф должен быть компенсирован на температуру таким образом, чтобы при изменении температуры на 20 К, его показания изменялись не более чем на 1 гПа;
- c) ошибки шкалы в любой точке не должны превышать 1,5 гПа;
- d) гистерезис должен быть достаточно малым, таким, чтобы различие в отсчетах перед изменением давления на 50 гПа и после возвращения к первоначальному значению не превышало 1 гПа;
- e) прибор должен снабжаться устройством для отметок времени, позволяющим делать засечки при закрытой крышке;
- f) держатель пера должен поворачиваться в «вилке», ось которой наклонена таким образом, чтобы перо покоилось на ленте под действием силы тяжести; установка пера в определенное положение должна обеспечиваться регулировочным механизмом.

К морским барографам предъявляются особые требования, которые рассматриваются в части II, глава 4.

3.5.2 Устройство барографов

Принцип устройства anerоидного барографа аналогичен принципу барометров-анероидов, за исключением того, что вместо стрелки используется пишущее перо. С этим связаны некоторые изменения в конструкции выводной трубы кожуха, и обычно уменьшение и увеличение количества и размера используемых мембран.

«Нормированную» реакцию барографа можно определить как силу, необходимую для перемещения пера на единицу шкалы (1 гПа), т. е. силу, которая требуется для удержания пера на месте при изменении давления на 1 гПа. Эта мера необходима для преодоления влияния трения, чтобы обеспечить детальную запись.

Сила, которая требуется для преодоления движения диафрагмы, когда давление изменяется на 1 гПа, равна $100 A$ ньютонов, где A — действительная площадь поперечного

сечения мембраны в квадратных метрах. Если усилие равно X , сила, которая необходима для удержания пера на месте, составляет $100 A/X$ ньютонов и изменяется как A/X . Для определенного типа мембраны и масштаба шкалы значение X в основном не зависит от A , и, таким образом, нормированное перемещение пера барографа можно считать примерно пропорциональным действительной площади поперечного сечения мембраны.

3.5.3 **Источники ошибок и неточностей**

Кроме уже упомянутых источников ошибок барометра-анероида (см. раздел 3.4.4), в барографе источником ошибок является трение между пером и бумагой, которое бывает значительным. Нормированное перемещение пера зависит, главным образом, от действительного поперечного сечения анероидной коробки. В хорошем барографе трение пера значительно выше, чем общее трение всех осей и опор прибора, и поэтому необходимо обращать особое внимание на уменьшение таких ошибок по этой причине, например, за счет применения анероидной коробки достаточно большого размера.

Первоклассный барограф должен иметь погрешность не более 0,2 гПа после внесения поправок и должен сохранять эту точность в течение одного-двух месяцев. Значение барической тенденции такого барографа обычно отсчитывается с этой же точностью.

3.5.4 **Приборы с возможностью обработки данных**

Барометр, пригодный для автоматического считывания показаний, может быть присоединен к вычислительному устройству, обычно к микропроцессору, который может быть запрограммирован на обеспечение должным образом отобранных данных. Эти данные также могут быть представлены графически для получения записи, аналогичной записи барографа. Имеются модели, которые печатают данные в собственных масштабах, исключая таким образом, источник ошибки.

3.5.5 **Снятие показаний барографа**

Показания барографа снимаются так, чтобы не касаться прибора. Отметка времени и любой осмотр прибора, включающий поднятие крышки и т. п., следует всегда производить после того, как полностью сделан отсчет.

3.5.5.1 **Точность снятия показаний**

Отсчет по ленте прибора должен производиться с точностью до 0,1 гПа. Барическую тенденцию следует отсчитывать с такой же точностью.

3.5.5.2 **Поправки, вводимые в показания барографа**

Перед использованием каждого прибора необходимо проверить его компенсацию на температуру. Масштабный коэффициент регулируется при проверке в вакуумной камере. Если барограф используется только для определения барической тенденции, поправки в его показания обычно не вводят. В этом случае точная установка пера не имеет значения. Если барограф используется для получения абсолютных значений давления, то показания барографа необходимо сравнивать с исправленными отсчетами ртутного барометра или хорошего барометра-анероида, по крайней мере, один раз в сутки. Искомые значения поправок можно определять методом интерполяции.

3.6 БАРОМЕТРЫ С ТРУБКОЙ БУРДОНА

Барометры с трубкой Бурдона обычно состоят из чувствительного элемента, форма которого, как и мембраны анероида, изменяется при изменении давления (датчики давления), и датчика, который трансформирует эти изменения в форму, непосредственно используемую наблюдателем. Индикаторное устройство может быть удалено от чувствительного элемента. Точные и устойчивые цифровые приборы с кварцевыми трубками Бурдона используются в качестве рабочих стандартных барометров в калибровочных лабораториях.

3.7 БАРИЧЕСКАЯ ТЕНДЕНЦИЯ

Станции, проводящие наблюдения, по меньшей мере, каждые 3 часа, могут пользоваться двумя методами:

- a) тенденцию можно определить по показанию барографа; или
- b) тенденцию можно определить по соответствующим показаниям барометра, приведенным к уровню станции; при выборе между обычным ртутным барометром и первоклассным барометром с открытой шкалой предпочтение отдается последнему по причинам, изложенным в следующем параграфе.

Ошибки, возникающие при снятии показаний барометра, при условии его хорошей работы обычно являются случайными. Поэтому при определении значения тенденции, при вычитании двух показаний, ошибки могут складываться. Ошибки барографа частично имеют систематический характер, поэтому в течение сравнительно короткого трехчасового периода они должны иметь одинаковый знак и уменьшаться при вычитании.

Другим доводом в пользу использования барографа является то, что его показания не нужно приводить к уровню станции. Поэтому именно барограф должен применяться для определения характеристики барической тенденции.

Барометры с цифровым выходом тоже очень удобны для определения значения и характера изменения давления.

3.8 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАЗМЕЩЕНИЮ

Важное значение имеет тщательный выбор местоположения барометров на наблюдательных станциях. К основным требованиям относятся постоянство температуры, хорошее освещение, отсутствие сквозняков, прочное и вертикальное положение, а также защита от грубого обращения. В этой связи прибор должен висеть или располагаться в помещении, в котором температура является постоянной или ее изменения происходят медленно, и при этом не возникают градиенты температуры. Барометр должен быть защищен от прямых солнечных лучей в любое время; его также не следует располагать вблизи нагревательных приборов или на сквозняке.

3.8.1 Влияние ветра

Следует отметить, что ветер оказывает воздействие на все типы барометров. Более подробные данные о воздействии ветра можно получить из работы Liu and Darkow (1989).

Барометр не даст точное показание статического давления, если на него оказывает влияние порыв ветра. Его показания будут флуктуировать в зависимости от скорости и направления ветра, величины и знака флуктуации ветра, зависящих от характера

открытых проемов помещения и их положения по отношению к направлению ветра. На море ошибка всегда присутствует в связи с движением судна. Аналогичная проблема возникает, если барометр установлен в помещении с кондиционером.

Ветер часто может вызывать динамические изменения давления в помещении, где располагается барометр. Эти изменения накладываются на статическое давление и при сильном и порывистом ветре могут достигать 2 или 3 гПа. Обычно не имеет смысла вводить коррекцию на такие флуктуации, поскольку «накачивающее» воздействие на поверхность ртути зависит как от направления, так и от силы ветра, а также от местных условий, в которых находится барометр. Таким образом, даже «среднее значение» не представляет собой действительное статическое давление. Поэтому при сравнении двух барометров, находящихся в различных зданиях, необходимо иметь в виду, что возможны различия в показаниях вследствие влияния ветра.

Это влияние можно существенно уменьшить с помощью статической насадки между атмосферой снаружи и входным отверстием датчика. Подробные сведения, касающиеся принципов использования статических насадок, можно найти в различных публикациях (Miksad, 1976; United States Weather Bureau, 1963). В ртутном барометре резервуар должен быть сделан из воздухонепроницаемого материала, за исключением вывода к специальной насадке, открытой для воздействия атмосферы, и сконструирован таким образом, чтобы давление внутри него было реальным статическим давлением. Анероидные и электронные барометры обычно имеют простые соединения, позволяющие использовать статическую насадку, которая должна находиться на открытой местности и не подвергаться воздействию расположенных поблизости зданий. Выбор конструкции такой насадки требует особого внимания. Насадки статического давления коммерчески доступны, однако опубликованных данных взаимных сравнений для демонстрации их характеристик не имеется.

3.8.2 **Воздействие кондиционирования воздуха**

Кондиционирование воздуха может вызвать значительную разность давления внутри и снаружи помещения. Поэтому если барометр устанавливается в помещении, где есть кондиционер воздуха, то следует использовать статическую насадку с барометром, которая соединит его с воздухом снаружи здания.

3.9 **РАЗМЕЩЕНИЕ БАРОМЕТРОВ**

3.9.1 **Размещение ртутных барометров**

Общие требования к размещению ртутных барометров изложены в предыдущих разделах. Кроме уже упомянутых требований к размещению ртутных барометров, имеются также дополнительные требования. Всегда предпочтительнее, чтобы ртутный барометр висел на внутренней части стены. Для очень точной работы лучшим является размещение в закрытом и не обогреваемом шкафчике с небольшим электрическим вентилятором, предотвращающим любую стратификацию температуры.

Для получения однородного освещения при снятии показаний барометра рекомендуется использовать искусственное освещение для всех наблюдений. Для этой цели годится осветитель, который может обеспечивать светлый и слегка светящийся фон для ртутного мениска и, если необходимо, для начальной точки отсчёта. Если источник света не используется, то следует уделять особое внимание тому, чтобы мениск и начальная точка имели светлый фон, для чего можно использовать такие средства, как кусочки матового стекла, белого целлулоида или кусок белой бумаги. Искусственное освещение должно быть обеспечено также при отсчетах по шкале барометра и термометру-атташе. Однако необходимо принять меры против нагревания барометра от искусственного света при снятии отсчетов.

Барометр должен быть установлен в таком месте, где нет вибрации, желательно на твердой стене. Прибор должен быть установлен вертикально. Ошибки за счет отклонения от вертикального положения чаще возникают у несимметричных барометров. Такие барометры должны устанавливаться с учетом вертикальности их наибольшей оси. Это можно обеспечить такой установкой барометра, при которой правильное положение поверхности ртути по отношению к начальной точке остается точным даже после отклонения прибора от вертикали.

Для защиты барометра от неосторожного обращения, пыли и воздушных порывов прибор рекомендуется поместить в шкафчик с навесной дверцей и обеспечить достаточную вентиляцию, предотвращающую стратификацию воздуха внутри.

При транспортировке ртутного барометра следует проявлять большую осторожность. Самым надежным способом является перевозка барометра вверх чашкой в деревянном ящике с ремнем. Если барометр не может сопровождаться ответственным лицом, то он должен перевозиться в удобной таре, снабженной пружинами, в таком положении, чтобы его чашка всегда была вверх. Барометр не должен подвергаться резким толчкам, и переворачивать его необходимо очень медленно. При переворачивании некоторых типов барометров должна соблюдаться особая предосторожность.

3.9.2 Размещение электронных барометров

Электронные барометры должны размещаться в сухой чистой атмосфере, где нет веществ, вызывающих коррозию. Барометр также должен содержаться при постоянной температуре (см. раздел 3.3.5.2). Барометр следует устанавливать таким образом, чтобы избежать механических толчков и вибрации. Его также следует помещать вдали от источников электромагнитного излучения или, если это невозможно, следует экранировать кабельные соединения и кожух.

Барометры с цифровыми табло должны устанавливаться таким образом, чтобы было общее хорошее освещение, однако они не должны располагаться перед окном или сильным источником света.

3.9.3 Размещение барометров-анероидов

Требования к расположению барометров-анероидов аналогичны требованиям, предъявляемым к размещению ртутных барометров (см. раздел 3.9.1), поскольку в этих приборах не в полной мере компенсируются воздействия температуры. Выбирать место для установки прибора следует так, чтобы была сравнительно постоянная температура в течение всего дня. Таким образом, это должно быть место, которое экранировано от прямых солнечных лучей, а также от других источников тепла или холода, которые могут привести к резким и заметным изменениям его температуры.

На наземных станциях установка барометра-анероида вблизи ртутного барометра позволяет производить взаимную проверку и стандартизацию приборов (см. раздел 3.10).

3.9.4 Размещение барографов

Барограф должен устанавливаться в таком месте, где он защищен от внезапных изменений температуры, вибрации и пыли. Он не должен подвергаться воздействию прямых солнечных лучей. Барограф также должен располагаться в таком месте, которое недоступно для лиц, не имеющих разрешения пользоваться им. Установка на губчатой каучуковой подушке является удобным способом уменьшения воздействий вибрации. Выбранное место должно быть сухим и чистым. В нем также должно быть как можно меньше таких веществ в воздухе, которые вызывают коррозию, загрязнение механизма и т. п.

Важно также, чтобы прибор был установлен таким образом, чтобы его шкала при обычных условиях работы находилась на удобной для снятия показаний высоте с тем, чтобы свести к минимуму явление параллакса. Барограф должен располагаться таким образом, чтобы он равномерно освещался; в случае необходимости следует воспользоваться искусственным освещением.

Если барограф нужно перевезти на самолете или на большой высоте, держатель пера должен быть отведен от барабана и, кроме того, должны быть приняты меры предосторожности, позволяющие механизму противостоять перегрузке, вызванной превышением обычного диапазона работы прибора.

3.10 СРАВНЕНИЕ, КАЛИБРОВКА И ОБСЛУЖИВАНИЕ

3.10.1 Общие требования к поверке барометров

Учитывая необходимость получения точных данных давления, особенно для аэронавигационных и синоптических целей, а также подверженность барометров различного рода ошибкам, все стационарные барометры должны регулярно проверяться инспектором. Некоторые рекомендации, касающиеся используемого для проверок оборудования, частоты, с которой они должны проводиться, а также других связанных с этим вопросов, даются в последующих разделах. Там, где точные барометры-анероиды используются как стационарные барометры, их следует часто (по меньшей мере один раз в неделю) сверять с ртутным или цифровым барометром, а записи всех таких проверок должны заноситься на специальную карту или в специальный журнал.

Можно обойтись без ртутных барометров, если производится ежедневная сверка со вторым барометром-анероидом, имеющимся на станции, и анализ давления в близлежащем районе. Такие мероприятия должны поддерживаться полугодовыми сравнениями с переносным стандартным барометром.

Для обозначения различных категорий барометров, используемых в национальной метеорологической службе, могут применяться следующие символы:

- A: основной или вторичный стандартный барометр, измерение давления по которым производится с точностью, по крайней мере, 0,05 гПа или менее;
- B: рабочий стандартный барометр конструкции, удобной для обычных сравнений давления, с известными погрешностями, которые установлены в результате сравнения с основным или вторичным стандартным барометром;
- C: эталонный стандартный барометр, используемый для сравнений с переносным стандартным или стационарным барометрами на функционирующих станциях национальной метеорологической службы;
- S: барометр (ртутный, анероидный, электронный), находящийся на обычной метеорологической станции;
- P: ртутный барометр высокого качества и точности, который может переноситься с одной станции на другую и при этом сохранять характеристики калибровки;
- N: переносной точный барометр-анероид высшего качества;
- Q: портативный прецизионный цифровой барометр высшего качества, используемый в качестве переносного эталона (Q означает качество);
- M: портативный микробарограф хорошего качества и точности.

Для осуществления программы сравнений барометров на единой основе всеми национальными метеорологическими службами желательно, чтобы применялись единообразные практики в отношении класса точности используемого оборудования, частоты проверок и процедур их проведения, допустимых изменений в коррекции инструментальной поправки и критериев по устранению недостатков.

3.10.2 **Оборудование, используемое для поверки барометров**

3.10.2.1 **Основной стандартный барометр (А)**

Существуют различные мнения относительно наилучшего типа основного стандартного барометра (ВМО, 2010с). В нижеследующих параграфах рассматриваются два типа.

Одним из типов основного стандартного барометра для измерения атмосферного давления является точный весовой контрольно-измерительный прибор, который измеряет калиброванное давление путем взвешивания на точных весах с учетом местной силы тяжести. Этот тип барометра является сравнительно простым, и на его показания практически не влияет загрязненная среда по сравнению с ртутными барометрами.

В качестве основного стандартного барометра может также использоваться высококачественный ртутный барометр, специально сконструированный для этой цели. Основной стандартный ртутный барометр должен иметь высокий вакуум, содержать очень чистую ртуть с хорошо известной плотностью, которая сохраняется при постоянной температуре, и располагаться в среде, где воздействие загрязнения исключается. Барометр также должен иметь откалиброванную шкалу и средства оптического считывания показаний. Барометр такого типа измеряет абсолютное давление с более высокой точностью, чем весовой прибор.

Учитывая стоимость первичных стандартных барометров, а также ограничения по их использованию и обслуживанию, такие приборы главным образом используются в калибровочных лабораториях высокого уровня.

3.10.2.2 **Рабочий стандартный барометр (В)**

Рабочие и эталонные стандартные барометры, а также переносные стандартные барометры, используемые для сравнения барометров, должны иметь очень высокую стабильность в течение длительных периодов времени. Эти барометры могут быть либо ртутными, либо электронными. Ртутные барометры должны иметь трубку с диаметром отверстия, по меньшей мере, 12 мм. Желательно также, чтобы в этих приборах можно было проверить вакуум. Они должны быть тщательно откорректированы на все известные погрешности, которые устанавливаются во время двух или более последних сравнений с барометрами высшей категории.

3.10.2.3 **Переносной стандартный барометр (С)**

Переносной стандартный барометр должен сохранять свою инструментальную поправку в течение транспортировки в пределах 0,1 гПа. Он должен быть стандартизирован путем сравнения с рабочим или эталонным стандартным барометром до и после транспортировки. Стандартизированный барометр ни в коем случае не следует открывать или корректировать до прибытия на станцию, где будет проводится сравнение. Переносные стандартные барометры необходимо перемещать в высококачественном переносном ящике с хорошей амортизацией.

Принимая во внимание ограничения по перевозке ртути и текущую разработку цифровых барометров, национальные метеорологические службы могут использовать соответствующий высокоточный цифровой барометр в качестве переносного

стандартного барометра. В этом случае национальной метеорологической службе следует регулярно проверять дрейф подобных приборов посредством систематических проверок по рабочим или контрольным эталонам.

При использовании переносного ртутного стандартного барометра его следует внимательно осмотреть и проверить на предмет того, что ртуть в трубке и кожух являются чистыми, что в трубке нет пузырьков, и что вакуум над ртутью в трубке является хорошим. Следует предпринять все меры предосторожности при упаковке и транспортировке этих приборов с тем, чтобы свести к минимуму любые причины (какими бы незначительными они ни были), которые могут привести к изменению их инструментальной поправки. Следует избегать быстрых резких движений, что может привести к появлению воздушных пузырьков из трубки кожуха, которые поднимутся в верхнюю часть трубки барометра. Ртутные переносные стандартные барометры должны переноситься в удобном амортизирующем кожаном или металлическом чемодане, при этом конец чашки всегда должен находиться выше конца трубки.

3.10.2.4 **Спецификации переносных ртутных барометров (P)**

Если ртутный барометр должен использоваться в качестве барометра категории P, он должен быть сконструирован таким образом, чтобы можно было проверять вакуум или создавать в верхней части трубки достаточный вакуум с помощью вакуумного насоса. Очень важно наличие контрольного клапана для герметизации трубки. Кроме того, прибор должен сохранять высокую стабильность в течение длительного времени и иметь трубку диаметром, по меньшей мере, 12 мм. Желательно также иметь возможность контролировать, остается ли постоянным количество ртути в чашке с момента ее первоначального наполнения.

Кроме того, в качестве переносного стандартного барометра используется хорошо сделанный барометр Фортеня с трубкой диаметром, по меньшей мере, 9 мм, но предпочтительнее 12 мм. Необходимая степень точности переносных стандартных барометров при неоднократном измерении постоянного давления составляет около 0,1 гПа. Барометры категории P следует калибровать по всем диапазонам значений давления и температуры, которые могут встретиться.

3.10.2.5 **Спецификации переносных электронных барометров (Q)**

Переносные электронные барометры в настоящее время представляют собой довольно совершенные и надежные приборы, что позволяет использовать их в качестве барометров категории Q. Барометр должен иметь историю надежности — устойчивые поправки, определенные в результате нескольких сравнений со стандартным барометром в течение года или более в том диапазоне давления, в котором барометр должен работать.

Предпочтение отдается электронным барометрам с несколькими датчиками давления, работающими под управлением независимого микропроцессора. Необходимо удостовериться в точности механизма компенсации температуры барометра. Метод измерения давления должен быть бесконтактным, а сам барометр должен быть достаточно прочным и выдерживать удары, которые могут возникнуть во время транспортировки.

3.10.3 **Сравнение барометров**

3.10.3.1 **Международные сравнения барометров**

Международным сравнениям барометров придается большое значение. Сравнение ВМО автоматических цифровых барометров проводилось в Де Билте (Нидерланды) в период с 1989 по 1991 гг. Только благодаря таким сравнениям можно обеспечить

сопоставимость национальных стандартных приборов, измеряющих давление, и таким образом предотвратить несогласованность данных давления в международном масштабе. Рекомендуемая процедура таких сравнений приводится в разделе 3.10.4.

В программу сравнений входит следующее:

- a) сравнение национального рабочего стандартного барометра В с основным или вторичным стандартным барометром А, по меньшей мере, один раз в два года. Если барометры А и В находятся в одном и том же центре, то переносные стандартные барометры не нужны;
- b) сравнение эталонного стандарта С с национальным рабочим стандартом В, по меньшей мере, один раз в два года с помощью переносных стандартных барометров;
- c) сравнение станционного барометра S с эталонным стандартом С, по меньшей мере, один раз в год с помощью переносных стандартных барометров или сравнение с рабочим стандартным барометром В один раз в два года, в зависимости от известных характеристик барометров, которые используются. Проведение сравнений на станции и на центральном объекте калибровки зависит от политики, проводимой в области сравнений. В последнем случае не требуются переносные стандартные барометры.

Следует знать, что погрешность каждого барометра в конце любого звена в цепи сравнений определяется по отношению к основному или вторичному стандартному барометру А, так что полученные в результате откорректированные показания барометров носят абсолютный характер на каждой ступени.

3.10.3.2 **Инспекция станционных барометров**

Для инспекции станционных барометров пригодными являются барометры Фортеня с трубкой, имеющей внутренний диаметр 9 мм; однако следует принять во внимание раздел 3.2.7.3 по ограничениям транспортировки ртутных приборов. В качестве переносных стандартных барометров могут также использоваться электронные барометры при условии, что они обладают достаточной стабильностью и точностью.

3.10.3.3 **Процедура сравнения ртутных барометров**

При сравнении необходимо следовать инструкциям, изложенным в предыдущих разделах. Все обычные меры, которые требуются при установке и снятии показаний барометров, должны соблюдаться с еще большим вниманием. Исследования показывают, что в случае принятия достаточных мер предосторожности при сравнениях барометров можно достичь точности в среднем 0,05 гПа.

При сравнении показания барометров должны вноситься в соответствующие формуляры. К прибору должна прилагаться постоянная запись всех поверок, включающая такую информацию, как дата поверки, температура и давление, при которых проводилось сравнение, и полученные поправки.

Отчеты о сравнении барометров должны направляться в штаб-квартиру национальной метеорологической службы для оценки ошибок, вычислений и получающихся поправок, а также для определения необходимых корректирующих действий. Непрерывные записи данных сравнений необходимо накапливать по каждому станционному барометру для изучения его работы в течение нескольких лет и определения дефектов. В программе контроля качества барометров можно использовать табличные и/или графические данные.

3.10.3.4 Поверка электронных барометров

На современном этапе развития важным является проведение калибровки электронных барометров с интервалами около одного года. Стандартная процедура состоит в том, чтобы проводить калибровку электронного барометра на соответствующем объекте калибровки непосредственно перед отправкой на метеорологическую станцию. На станции следует провести ряд сравнений показаний электронного и переносного стандартного барометров при разных условиях давления (либо в течение достаточного периода времени, либо с использованием генератора давления). Показания следует снимать со всех барометров на одной и той же высоте, когда скорость ветра составляет менее $12 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ и когда давление либо стабильное, либо изменяется, менее чем на $1 \text{ гПа} \cdot \text{ч}^{-1}$. Каждый электронный барометр, среднее отклонение показаний которого от показаний переносного стандартного барометра превышает $0,25 \text{ гПа}$, должен считаться непригодным к использованию и должен быть возвращен на объект калибровки для повторной поверки.

Рекомендуется, если это возможно, установить на метеорологической станции два независимых электронных барометра, при этом желательно, чтобы один барометр имел устойчивые небольшие поправки. Этот барометр определяется персоналом на объекте калибровки по истории калибровки и считается барометром с незначительными поправками. По получении на станции каждого нового барометра проводится ряд сравнений его показаний, как указано выше, и устанавливается среднее отклонение показаний нового барометра от показаний барометра с незначительными поправками. После этого следует провести ежедневные снятия показаний обоих барометров и затем рассчитать новое среднее из 25 отклонений. Если новый барометр и барометр с небольшими поправками показывают различные уровни отклонений, то среднее из 25 отклонений изменится по сравнению с первоначальным средним. Если на станции имеется один ртутный и один электронный барометры, то нормальным считается ртутный барометр с небольшим отклонением. Тем не менее, небольшое отклонение ртутного барометра следует проверить путем регулярных проверок калибровки.

Эти проверки не являются инспекцией или новой калибровкой электронного барометра. Каждая национальная метеорологическая служба должна учредить подробные процедуры инспекции и калибровки своих электронных барометров, используя вышеупомянутый метод в качестве практического руководства.

3.10.4 Общая процедура, рекомендуемая для проведения сравнения барометров в разных местах

Сравнение барометров является необходимым и может быть произведено следующим образом:

- a) если барометр «1» сравнивается с барометром «2», то квалифицированный наблюдатель должен перенести портативный(ые) стандартный(ые) барометр(ы), предпочтительно типа Р или Q, от барометра «1» к барометру «2» и затем вернуться к барометру «1», замыкая таким образом круг. Эту процедуру можно использовать для сравнения барометров разных стран и внутри страны. Барометр «1» обычно находится в центральной лаборатории национальной организации стандартов или в лаборатории национальной метеорологической службы. Барометр «2» находится в каком-либо другом месте. Переносить приборы типа N и M необязательно, а микробарографы типа M можно не использовать вообще, если в двух пунктах установлены микробарографы хорошего качества;
- b) для целей стандартизации переносные эталонные приборы должны располагаться рядом со сравниваемым барометром; для проведения сравнений все приборы должны быть подготовлены, по меньшей мере, за сутки до начала официальных

снятий показаний. Поток воздуха от электрического вентилятора, направленный на приборы, поможет выровнять их температуру. Температура в помещении должна поддерживаться, насколько это возможно, одинаковой;

Примечание: вентилятор следует выключить перед началом сравнений.

- c) если прибор М показывает, что давление быстро изменяется, то снимать показания для сравнения не следует. Для проведения сравнений предпочтительны периоды спокойного состояния барометров (давление является постоянным или изменяется очень медленно);
- d) снимать показания при сравнении следует в течение одинаковых интервалов времени продолжительностью не менее 15 минут;
- e) опыт показывает, что в целях стандартизации на обычных станциях для сравнения барометров категории S необходимо снять, по меньшей мере, пять показаний. Для стандартизации барометров категории A, B или C необходимо снять, по меньшей мере, 10 сравнительных показаний барометра;
- f) если позволяют метеорологические условия, то в последних случаях при сравнении следует снимать показания при разном давлении — при высоком и при низком;
- g) записи должны включать отсчеты по термометрам-атташе, показания переносных стандартных и сравниваемых барометров, скорость, направление и порывистость ветра, поправки на силу тяжести, температуру и погрешности прибора, фактическую высоту над уровнем моря нулевой отметки барометров, широту, долготу, название места, дату и время проведения наблюдений;
- h) показания приборов категории N в случае их использования, должны сравниваться с показаниями двух или более точных барометров-анероидов, скорректированных на общей основе, если проверка по приборам категории A или B показывает, что они различны по калибровке. Показания барометров-анероидов считаются корректными, если находятся в допустимых пределах измерения давления данным прибором, иначе сравнения будут недействительными;
- i) что касается сравнения переносных стандартных барометров с барометром «1», то барометр «1» должен быть стандартом самого высокого класса из имеющихся в отправном пункте. Барометр «1» должен быть категории A, B или B_r (см. раздел 3.10.5.1), при этом барометр категории C является барометром с наименее приемлемым качеством. Необходимо провести два сравнения переносных барометров с барометром «1» в следующие моменты времени:
 - i) до переноса стандартных барометров из отправного пункта, в котором расположен барометр «1», к месту расположения барометра «2»;
 - ii) после возвращения переносных барометров к первоначальному пункту, т. е. когда они пройдут путь от барометра «1» к барометру «2» и обратно. Затем необходимо проверить эти два сравнения «до» и «после». Если показания каждого проверяемого прибора соответствуют показаниям барометра «1» в пределах удовлетворительных допусков, то считается, что результаты сравнения переносных стандартных барометров и барометра «2» также находятся в пределах тех же допусков при условии, что во время всех фаз процесса сравнения соблюдалась соответствующая предосторожность. Однако если существует значительное несоответствие или известно, что произошел какой-то срыв, в результате которого может испортиться прибор, или что надежность данных сомнительна по какой-либо причине, сравнения следует считать ненадежными и весь процесс следует повторить;

- j) все расхождения, в конечном счете, должны быть выражены, если это возможно, по отношению к показаниям основного или вторичного барометра категории А. Это дает общую основу для всех сравнений. В каждом случае в отчете о проведенных сравнениях должен быть указан используемый стандартный прибор;

Примечание: когда будет принята программа, предусматривающая устранение остаточных ошибок барометра, появится однородная система данных барометрических наблюдений, подчиняющаяся единому стандарту и позволяющая производить устранения ошибок в горизонтальных градиентах давления, связанных с инструментальными источниками.

- к) сравнения барометров являются необходимыми как до, так и после перемещения барометров в лаборатории или на станции или же после очистки ртути с тем, чтобы своевременно обнаружить развитие дефекта.

3.10.5 Региональные сравнения барометров

3.10.5.1 Номенклатура и символы

Символы, обозначающие категории барометров, следующие:

- A_r : барометр категории А, который выбирается по соглашению на региональном уровне в качестве эталонного стандарта для сравнения с барометрами этого региона;
- B_r : барометр категории В, который национальные метеорологические службы региона согласны использовать в качестве стандартного барометра для региона в том случае, если барометра категории А нет в регионе.

В приложении 3.В содержится перечень региональных стандартных барометров.

3.10.5.2 Система межрегиональных сравнений

При планировании межрегиональных сравнений следует принимать во внимание следующие мероприятия:

- а) страны-члены в каждом регионе назначают основной или вторичный стандартный барометр А в качестве A_r для региона. Если в регионе нет основного или вторичного барометра, то в качестве регионального стандартного барометра для региона совместно назначается барометр категории В; выбранный таким образом барометр обозначают символом B_r . Относительные расходы определяют возможность региона назначить несколько стандартных барометров;
- б) компетентное лицо, осуществляющее перевозку переносных стандартных барометров, отправляется от центральной станции, оборудованной барометром категории A_r , в ближайший регион, оборудованный барометром, по меньшей мере, категории В или B_r . Затем осуществляется сравнение барометров. Когда сравнение проходит в условиях окружающей среды, оно должно соответствовать методу, описанному в разделе 3.10.3. В случае наличия генератора давления сравнение можно провести по разным калибровочным точкам, охватив весь диапазон в течение нескольких циклов. Это позволяет определить точность стандартных приборов для разных уровней давления и выявить такие метрологические характеристики, как гистерезис, повторяемость и воспроизводимость. В целях проверки и проведения взаимных сравнений иногда желательно повторить процесс, сравнивая барометр B_r с барометром категории A_r из другого региона;
- с) копии записей сравнений должны передаваться на каждую центральную станцию, оборудованную барометром категории А, а также на станцию, где расположен

барометр В или B_r , с которым проводилось сравнение. Результаты сравнений должны направляться во все национальные метеорологические службы региона, где есть барометры В или B_r .

3.10.5.3 Система международных сравнений в пределах региона

При планировании международных сравнений следует принимать во внимание следующие мероприятия:

- каждая национальная метеорологическая служба сравнивает свой барометр категории В с барометром категории А, если таковой имеется в регионе, используя процедуру, описанную в разделе 3.10.4. Там, где это возможно, предпочтение должно отдаваться барометру категории А, выбранному в регионе в качестве стандартного прибора для района;
- если в регионе нет барометра категории А, то барометры категории В соответствующей национальной метеорологической службы региона сравниваются с барометром категории B_r для данного региона в соответствии с разделом 3.10.4;
- когда компетентное лицо проводит программу сравнений барометров В и B_r , то желательно, чтобы он проводил сравнения с барометрами категории В и С в местах, находящихся на его маршруте при движении к станции и от станции, на которой расположен прибор B_r для региона;
- в соответствии с пунктом 3.10.5.2 (с) подготавливаются копии записей и сводки результатов сравнений, которые передаются заинтересованным учреждениям.

3.11 ПРИВЕДЕНИЕ ПОКАЗАНИЙ БАРОМЕТРА К ДРУГИМ УРОВНЯМ

Чтобы сравнить показания барометров различных станций, расположенных на разных высотах, необходимо привести эти показания к одному и тому же уровню. Для этого используются различные методы, однако ВМО пока еще не может рекомендовать какой-либо определенный метод, за исключением случая, когда станции расположены на небольшой высоте.

Рекомендуемый метод описан в публикациях ВМО (WMO, 1954, 1964, 1968). В работе ВМО (WMO, 1966) содержится комплексный набор таблиц и формул, которые используются для расчетов, связанных с давлением.

3.11.1 Стандартные уровни

На всех станциях, где это можно сделать с приемлемой точностью, наблюдаемое атмосферное давление должно быть приведено к среднему уровню моря (см. часть I, глава 1) Там, где это невозможно, станция, по региональному соглашению, должна сообщить либо геопотенциал на установленном для нее «постоянном уровне давления», либо давление, приведенное к установленному для этой станции уровню. Уровень, выбранный для каждой станции, должен сообщаться в Секретариат ВМО для опубликования.

Формула для приведения давления к среднему уровню моря рекомендована для станций, расположенных на высотах ниже 750 м (Из публикации WMO, 1964, стр. 22, уравнение 2):

$$\log_{10} \frac{p_0}{p_s} = \frac{K_p \cdot H_p}{T_{mv}} = \frac{K_p \cdot H_p}{T_s + \frac{a \cdot H_p}{2} + e_s \cdot C_h} \quad (3.1)$$

где p_0 — давление, приведенное к уровню моря в гПа; p_s — давление на уровне станции в гПа; K_p — константа = 0,014 827 5 К/гп. м; H_p — высота станции в гп. м; T_{mv} — средняя виртуальная температура условного столба воздуха ниже уровня станции в К, ($T_{mv} = T_s + (a \cdot H_p)/2 + e_s \cdot C_h$); T_s — температура на станции в К; $T_s = 273,15 + t$, t — температура на станции в °С; a — принятый градиент в условном столбе воздуха от уровня моря до уровня высоты станции = 0,006 5 К/гп. м; e_s — парциальное давление на станции в гПа; C_h — коэффициент = 0,12 К/гПа.

Эта же формула часто используется в экспоненциальном виде:

$$p_0 = p_s \cdot \exp \left(\frac{\frac{g_n \cdot H_p}{R}}{T_s + \frac{a \cdot H_p}{2} + e_s \cdot C_h} \right) \quad (3.2)$$

где g_n — стандартное гравитационное ускорение = 9,806 65 м·с⁻²; R — газовая постоянная сухого воздуха = 287,05 Дж/кг/К.

3.11.2 Станции, расположенные на небольшой высоте

На станциях, расположенных на небольшой высоте (а именно, на станциях, расположенных на высоте менее 50 м над уровнем моря), отсчеты давления должны приводиться к среднему уровню моря посредством прибавления к давлению на станции константы приведения C , рассчитываемой по следующей формуле:

$$C = p \cdot H_p / (29,27 T_v) \quad (3.3)$$

где p — наблюдаемое давление на станции в гектопаскалях, H_p — высота станции над уровнем моря в метрах и T_v — среднегодовое нормальное значение виртуальной температуры на станции в кельвинах.

Примечание: виртуальная температура влажного воздуха — это температура, которую имел бы при данном давлении сухой воздух той же плотности, что и влажный воздух. В публикации ВМО (WMO, 1966) содержатся значения приращений виртуальных температур насыщенного воздуха при различных давлении и температуре.

Процедура приведения должна использоваться на станциях, расположенных на таких небольших высотах, для которых абсолютные экстремальные значения виртуальных температур эквивалентны T_v в приведенном уравнении; отклонение результата, обусловленное иными аппроксимациями указанного уравнения (используемого для высоты менее высоты стандартного геопотенциала и C , который должен быть менее p), не принимается во внимание при сравнении.

3.12 БАРИЧЕСКАЯ ТЕНДЕНЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА БАРИЧЕСКОЙ ТЕНДЕНЦИИ

На станциях приземных синоптических наблюдений, барическая тенденция и характеристика барической тенденции должны определяться из наблюдений за последние 3 ч (за 24 ч в тропических регионах). В основном характеристика барической тенденции может быть выражена формой кривой, зарегистрированной барографом в течение 3-часового периода, предшествующего наблюдению (ВМО, 2010b). В случае ежечасных наблюдений количество и характеристика могут основываться только на четырех наблюдениях, что может привести к ошибочным толкованиям. Поэтому

рекомендуется определять характеристику на основе более частых наблюдений, например, с 10-минутными интервалами (WMO, 1985). Имеется определение девяти типов характеристик барической тенденции (см. ВМО, 2010а, стр. II-4-8).

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.А. ПРИВЕДЕНИЕ ПОКАЗАНИЙ БАРОМЕТРА К СТАНДАРТНЫМ УСЛОВИЯМ

Инструментальная поправка

Остаточные погрешности в градуировке шкалы барометра должны быть определены путем сравнения со стандартным прибором. Они могут включать ошибки из-за неточного положения деления шкалы, капиллярности и низкого вакуума. В сертификатах с данными о сравнении со стандартным барометром должны указываться инструментальные поправки не менее чем в четырех точках шкалы, например через каждые 50 гПа. В хорошем барометре эти поправки не должны превышать несколько десятых долей гектопаскаля.

Поправки на силу тяжести

Показания ртутного барометра при данном давлении и температуре зависят от значения силы тяжести, которая, в свою очередь, изменяется с широтой и высотой. Барометры для метеорологических применений градуируются так, чтобы давать правильные значения давления при стандартном ускорении силы тяжести, равном $9,806\,65\text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$, а их отсчеты при других значениях ускорения силы тяжести должны быть исправлены. Рекомендуется следующий метод для приведения таких барометрических показаний к стандартному ускорению силы тяжести. Пусть B — наблюдаемый отсчет по ртутному барометру, B_t — отсчет по барометру, приведенный к стандартной температуре и исправленный инструментальной поправкой, но не приведенный к стандартному ускорению силы тяжести, B_n — отсчет по барометру, приведенный к стандартному ускорению силы тяжести и стандартной температуре и исправленный инструментальной поправкой, B_{ca} — климатологическое среднее B_t на станции, $g_{\varphi H}$ — местное ускорение силы тяжести (в $\text{м}\cdot\text{с}^{-2}$) на станции при широте φ и высоте над уровнем моря H , и g_n — стандартное ускорение силы тяжести $9,806\,65\text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$.

Подходящими соотношениями будут следующие:

$$B_n = B_t (g_{\varphi H} / g_n) \quad (3.A.1)$$

или:

$$B_n = B_t + B_t \left[(g_{\varphi H} / g_n) - 1 \right] \quad (3.A.2)$$

Приближенное уравнение 3.A.3 можно использовать при условии, что результаты, полученные с его помощью, не отличаются более чем на 0,1 гПа от результатов, которые получены с помощью уравнения 3.A.2:

$$B_n = B_t + B_{ca} \left[(g_{\varphi H} / g_n) - 1 \right] \quad (3.A.3)$$

Местное ускорение силы тяжести $g_{\varphi H}$ должно вычисляться по процедуре, описанной в следующем разделе. Значение, полученное таким образом, соответствует Международной гравитационной стандартной системе 1971 г. (IGSN71).

Определение местного ускорения силы тяжести

Для того чтобы определить местное значение ускорения силы тяжести на станции с удовлетворительной точностью, необходимо использовать один из двух методов. Эти методы включают, в первом случае, использование гравиметра (прибора для измерения разности между значениями ускорения силы тяжести в двух точках), а во втором случае — так называемых аномалий Бугера. Предпочтение следует отдать методу с использованием гравиметра. Если нельзя применить ни один из этих методов, можно рассчитать местное значение ускорения силы тяжести, используя простую модель Земли.

Использование гравиметра

Предположим, что g_1 — известное местное ускорение силы тяжести в определенном пункте O . Обычно это установленная геодезической организацией базовая станция для измерения силы тяжести, на которой g_1 определяется в системе IGSN71. Предположим далее, что g — неизвестное местное ускорение силы тяжести в метеорологической гравитационной системе в некотором другом пункте X , для которого нужно определить значение g . Пусть Δg — разность ускорений силы тяжести в двух пунктах, определенных с помощью гравиметра. То есть Δg равно значению в пункте X минус значение в пункте O в соответствующей системе. Тогда g находится по уравнению 3.A.4:

$$g = g_1 + \Delta g \quad (3.A.4)$$

Использование аномалий Бугера

Если гравиметра нет, то для определения значения g в данной точке можно использовать проинтерполированные аномалии Бугера (A_B). Необходимо получить контурную карту этих аномалий из геодезической организации или с сети гравитационных станций, плотность расположения которых в окрестностях данного пункта составляет, по меньшей мере, одна станция на 10 000 км² (расстояние между станциями не более 100 км).

В качестве основы можно использовать гравитационную сеть с меньшей плотностью при условии, что геодезическая организация считает, что этот метод должен дать более надежные результаты по сравнению с результатами, полученными с использованием гравиметра.

Аномалии Бугера (A_B) получают из уравнения 3.A.5:

$$g_s = (g_{\varphi,0})_s - C \cdot H + A_B \quad (3.A.5)$$

где $(g_{\varphi,0})_s$ — теоретическая величина ускорения силы тяжести на широте φ на уровне моря, полученная с помощью формулы, фактически используемой для вычисления аномалии Бугера. Эта формула выражает значение как функцию широты в некоторой системе. H — высота станции (в метрах) над уровнем моря, на которой измеряется g_s , g_s — наблюдаемая величина ускорения силы тяжести (в м·с⁻²), A_B — аномалия Бугера (в м·с⁻²) и C — коэффициент поправки высоты, используемый при вычислении аномалии Бугера (например, при использовании удельной силы тяжести 2,67 для земной коры этот коэффициент составляет 0,000 001 968 м·с⁻²).

Когда требуется значение g для данной станции, а измерить его нельзя, значение g_s следует вычислять по уравнению 3.A.5, при допущении, что соответствующее значение A_B для станции можно найти путем интерполяции на вышеупомянутых картах изолиний или получить по данным аномалий Бугера, построенным на основании измерений на гравитационной сети, как определено выше.

Вычисление местного ускорения силы тяжести

Если ни один из предыдущих методов не может быть применен, то местное значение можно вычислить менее точно, используя простую модель. В соответствии с Геодезической справочной системой 1980 г. теоретическое значение $(g_{\varphi,0})$ ускорения силы тяжести при среднем уровне моря на географической широте, φ , вычисляется с помощью уравнения 3.A.6:

$$g_{\varphi,0} = 9,806\,20 \left(1 - 0,002\,644\,2 \cos 2\varphi + 0,000\,005\,8 \cos^2 2\varphi \right) \quad (3.A.6)$$

Значение ускорения силы тяжести в данной точке поверхности суши на наземной станции вычисляется с помощью уравнения 3.A.7:

$$g = g_{\varphi,0} - 0,000\,003\,086\,H + 0,000\,001\,118(H - H') \quad (3.A.7)$$

где g — местное расчетное значение ускорения силы тяжести в $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$ в данной точке; $g_{\varphi,0}$ — теоретическая величина ускорения силы тяжести в $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$ на среднем уровне моря на географической широте φ , вычисленная по уравнению 3.A.6 выше; H — фактическая высота данной точки в метрах над средним уровнем моря; и H' — абсолютная величина в метрах разницы между высотой данной точки и средней высотой действительной поверхности суши, заключенной в круг радиусом 150 км и с центром в данной точке.

Значение ускорения силы тяжести в данной точке при ее высоте H над средним уровнем моря не более 10 км вычисляется с помощью уравнения 3.A.8:

$$g = g_{\varphi,0} - 0,000\,003\,086\,H - 0,000\,006\,88(D - D') \quad (3.A.8)$$

где D — глубина моря в метрах ниже данной точки; и D' — средняя глубина моря в метрах в пределах круга радиусом около 150 км и с центром в данной точке.

На станциях или в точках на морском побережье местное значение ускорения силы тяжести должно рассчитываться настолько это возможно с использованием в пропорциональном отношении уравнений 3.A.7 и 3.A.8, взвешивая последний член уравнения 3.A.7 в соответствии с относительной площадью суши в пределах определенного круга, а последний член уравнения 3.A.8 в соответствии с относительной площадью моря в пределах круга. Алгебраически суммируя полученные таким образом значения, получаем поправку, которую можно применить к конечному члену правых сторон обоих уравнений так, как это показано в уравнении 3.A.9:

$$g = g_{\varphi,0} - 0,000\,003\,086\,H + 0,000\,001\,118\,\alpha \\ (H - H') - 0,000\,006\,88(1 - \alpha)(D - D') \quad (3.A.9)$$

где α — доля суши, приходящаяся на заданную площадь, а H' и D' — фактические площади суши и водной поверхности соответственно.

Поправки на температуру

Показания барометра должны быть приведены к значениям, которые можно получить, если ртуть и шкала имеют стандартную температуру. Стандартной температурой для ртутных барометров является 0 °C. В том, что касается шкал, то в некоторых барометрах шкала показывает точные значения при этой температуре, а в некоторых — точные показания получают при температуре 20 °C.

Поправка на температуру, которая требуется для барометров с регулируемой чашкой (барометры типа Фортеня), отличается от поправки, которая требуется для барометров с фиксированными чашками, хотя основные причины, связанные с необходимостью введения поправок на температуру, одинаковы для обоих типов, а именно: коэффициент объемного теплового расширения ртути отличается от коэффициента линейного теплового расширения шкалы. Таким образом, для каждого типа ртутных барометров требуется определенная поправка.

Для барометра с фиксированной чашкой требуется дополнительная поправка. Причина состоит в том, что увеличение температуры прибора вызывает увеличение, как объема ртути, так и площади поперечного сечения чашки (железной), а также трубки (стеклянной). Вследствие этих изменений площади увеличение объема ртути в результате повышения температуры будет меньше, чем если бы площади сохранялись неизменными. Это происходит вследствие того, что в результате расширения чашки и трубки некоторая часть ртути барометра стремится занять дополнительную площадь.

У барометра с фиксированной чашкой по ряду причин следует проверять градуировку шкалы, сверяя барометр с основным стандартным барометром с регулируемой чашкой. Некоторые изготовители уменьшают объем ртути на такую величину, что показания испытываемого барометра согласуются с показаниями стандартного барометра при 20 °C.

Можно составить таблицу поправок для шкал барометров с фиксированными чашками, используя показания основного стандартного барометра, шкала которого является точной, когда в качестве стандартной температуры используется 20 °С.

Температурные поправки для ртутных барометров

Исследователи провели обширные изучения температурных поправок для ртутных барометров, результаты которых приведены ниже:

- | | |
|---|---|
| 1. а) Шкала правильная при 0 °С и дополнительно | $C_t = -B(\alpha - \beta) \cdot t$ |
| б) объем ртути правильный при 0 °С | $C_{t,V} = -B(\alpha - \beta) \cdot t - (\alpha - 3\eta) \cdot t \cdot 4V/3A$ |
| 2. Шкала правильная при 0 °С и объем ртути правильный при 20 °С | $C_{t,V} = -B(\alpha - \beta) \cdot t - (\alpha - 3\eta) \cdot (t - 20) \cdot 4V/3A$ |
| 3. а) Шкала правильная при 20 °С | $C_t = -B[\alpha \cdot t - \beta \cdot (t - 20)]$ |
| б) объем ртути правильный при 0 °С | $C_{t,V} = -B[\alpha \cdot t - \beta \cdot (t - 20)] - (\alpha - 3\eta) \cdot t \cdot (4V/3A)$ |
| с) объем ртути уменьшается на величину, эквивалентную 0,36 гПа | $C_{t,V} = -B(\alpha - \beta) \cdot t - (\alpha - 3\eta) \cdot t \cdot (4V/3A)$ |
| 4. Шкала правильная при 20 °С и | |
| а) объем ртути правильный при 20 °С | $C_{t,V} = -B[\alpha \cdot t - \beta \cdot (t - 20)] - (\alpha - 3\eta) \cdot (t - 20) \cdot (4V/3A)$ |
| б) объем ртути уменьшается на величину, эквивалентную 0,36 гПа | $C_{t,V} = -B(\alpha - \beta) \cdot t - (\alpha - 3\eta) \cdot (t - 20) \cdot (4V/3A)$ |

где:

C_t = поправка на температуру;

$C_{t,V}$ = дополнительная поправка для барометров с фиксированной чашкой;

B = снятое показание барометра;

V = общий объем ртути в барометре с фиксированной чашкой;

A = эффективная площадь поперечного сечения чашки;

t = температура;

α = объемное тепловое расширение ртути;

β = коэффициент линейного теплового расширения шкалы;

η = коэффициент линейного теплового расширения чашки.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.В. РЕГИОНАЛЬНЫЕ СТАНДАРТНЫЕ БАРОМЕТРЫ

<i>Регион ВМО</i>	<i>Местоположение</i>	<i>Категория^а</i>
I	Каир, Египет	A _r
	Касабланка, Марокко	A _r
	Дакар, Сенегал	A _r
	Дуала, Камерун	A _r
	Киншаса/Бинза, Демократическая Республика Конго	A _r
	Найроби, Кения	A _r
	Оран, Алжир	A _r
II	Калькутта, Индия	B _r
III	Буэнос-Айрес, Аргентина	B _r
	Маракай, Венесуэла	B _r
	Рио-де-Жанейро, Бразилия	A _r
IV	Майами, штат Флорида, США	A _r
	(субрегиональный)	A _r
	Сан-Хуан, Пуэрто-Рико (субрегиональный)	A _r
	Торонто, Канада (субрегиональный)	A _r
	Вашингтон, О. К. (Гейтерсбург, штат Мэриленд), США	
V	Мельбурн, Австралия	A _r
VI	Гамбург, Германия	A _r
	Лондон, Соединенное Королевство	A _r
	Санкт-Петербург, Российская Федерация	A _r
	Тулуза, Франция	A _r

Примечание:

а в отношении определений категорий см. раздел 3.10.5.1.

СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Всемирная метеорологическая организация, 2010a: *Наставление по Глобальной системе обработки данных и прогнозирования* (ВМО-№ 485), том 1. Женева.
- , 2010b: *Наставление по глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 544), том 1. Женева.
- , 2014: *Руководство по системам метеорологических наблюдений и распространения информации для метеорологического обслуживания авиации* (ВМО-№ 731). Женева.
- Программа ООН по окружающей среде, 2013: *Минаматская конвенция о ртути*. Женева, ООН.
- Liu, H. and G. Darkow, 1989: Wind effect on measured atmospheric pressure. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 6(1):5–12.
- Miksad, R., 1976: An omni-directional static pressure probe. *Journal of Applied Meteorology*, 15:1215–1225.
- Sax, N.I., 1975: *Dangerous Properties of Industrial Materials*. Van Nostrand Reinhold Co., New York.
- United States Weather Bureau, 1963: *Manual of Barometry* (WBAN). 1, US Government Printing Office, Washington DC.
- World Meteorological Organization, 1954: *Reduction of Atmospheric Pressure: Preliminary Report on Problems Involved*. Technical Note No. 7 (WMO-No. 36, TP. 12). Geneva.
- , 1964: *Note on the Standardization of Pressure Reduction Methods in the International Network of Synoptic Stations: Report of a Working Group of the Commission for Synoptic Meteorology*. Technical Note No. 61 (WMO-No. 154, TP. 74). Geneva.
- , 1966: *International Meteorological Tables* (S. Letestu, ed.) (1973 amendment). (WMO-No. 188, TP. 94). Geneva.
- , 1968: *Methods in Use for the Reduction of Atmospheric Pressure*. Technical Note No. 91 (WMO-No. 226, TP. 120). Geneva.
- , 1985: “Pressure tendency” and “discontinuity in wind” – discussion of two algorithms used in Swedish automatic weather stations (L. Bergman, T. Hovberg and H. Wibeck). *Papers Presented at the Third WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation (TECIMO-III)*. Instruments and Observing Methods Report No. 22 (WMO/TD-No. 50). Geneva.
- , 1992: *The WMO Automatic Digital Barometer Intercomparison* (J.P. van der Meulen). Instruments and Observing Methods Report No. 46 (WMO/TD-No. 474). Geneva.
- , 2010c: *Guidance on Instrumentation for Calibration Laboratories, Including RICs* (D. Groselj). Instruments and Observing Methods Report No. 101 (WMO/TD-No. 1543). Geneva.
-