

Н. П. ФАТЕЕВ

ПОВЕРКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

*Допущено Главным управлением
гидрометеорологической службы
при Совете Министров СССР
в качестве учебника для уча-
щихся гидрометеорологических
техникумов*



ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ • ЛЕНИНГРАД • 1975

Гидрометеорологический ин-т
БИБЛИОТЕКА

Рецензенты:

Д. Т. Выставная

(Харьковский гидрометеорологический техникум)

В. И. Ефремычев, Г. Н. Алянчикова

(Научно-исследовательский институт гидрометеорологического приборостроения)

Ответственный редактор

Н. А. Петров

Рассматриваются метеорологические основы измерений и методы поверки метеорологических приборов. Детально излагаются принципы поверки приборов для измерений метеорологических величин, в том числе актинометрических и радиометрических. Большое внимание уделяется поверке дистанционных и автоматических метеорологических станций.

Дается описание средств поверки приборов, методов оценки погрешностей измерений и других характеристик приборов. По основным разделам приводятся лабораторные работы с числовыми примерами оформления результатов поверки и вопросы для самоподготовки учащихся.

Книга предназначена в качестве учебника для учащихся гидрометтехникумов и может быть полезна для студентов гидрометеорологических институтов и специалистов, работающих в области метеорологических измерений.

Meteorological principles of measurements and methods of verification of meteorological instruments are considered. The methods of verification of meteorological instruments for measuring meteorological values including actinometric and radiometric are discussed in detail. Much attention is paid to the verification of distance and automatic meteorological stations.

The description of means for verification of instruments, methods of measuring errors evaluation and other characteristics of instruments are given. The main sections contain laboratory works with numerical examples of the results of verification and questions for self-training.

The textbook is addressed to students of hydrometeorological colleges and institutes and may be of interest to workers who deal with meteorological measurements.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В учебнике излагаются методы и средства поверки метеорологических приборов, дистанционных измерительных устройств и комплексных автоматических телеизмерительных систем.

Поверка мер и измерительных приборов является основной формой метрологического надзора за средствами измерений, применяемыми в различных областях народного хозяйства, науке и технике, и имеет важное государственное значение. В процессе поверки путем точных измерений оцениваются погрешности и другие метрологические качества приборов, определяется их соответствие допускам, установленным Государственными общесоюзными стандартами (ГОСТами) или техническими условиями. Это дает возможность получать достоверные результаты и обеспечить единство измерений.

Для обеспечения единства измерений в Советском Союзе создана единая метрологическая служба, возглавляемая Государственным комитетом стандартов Совета Министров СССР (Госстандартом СССР), в состав которой входит государственная метрологическая служба СССР и ведомственные службы министерств.

Функции государственной метрологической службы выполняют научно-исследовательские институты и их филиалы, управления уполномоченного Госстандарта СССР и лаборатории государственного надзора за соблюдением стандартов и состоянием измерительной техники, имеющиеся во всех областных центрах страны. Деятельность государственной метрологической службы направлена на решение основных научно-технических проблем метрологии и проведение необходимых законодательных и контрольных функций, в том числе на установление единиц физических величин и воспроизведение их с помощью эталонов, разработку общесоюзных поверочных схем, теории измерений, методов оценки погрешностей, а также надзор за приборостроением и эксплуатацией средств измерений, осуществляемый путем государственных испытаний средств измерений, их поверки, ревизии и экспертизы.

Для выполнения указанных задач создан комплекс соответствующих нормативных документов — ГОСТов, образующих Государственную систему обеспечения единства измерений (ГСИ).

Основной задачей ведомственных метрологических служб является обеспечение единства и достоверности измерений по своей отрасли путем повсеместного соблюдения правил законодательной метрологии, изложенных в нормативных документах ГСИ, планомерного внедрения методов и средств измерений, отвечающих современным требованиям производства и обеспечивающих выпуск продукции высокого качества, и постоянного надзора за состоянием и правильностью применения средств измерений.

Ведомственную метрологическую службу осуществляют создаваемые министерствами отраслевые базовые организации метрологической службы, отделы главного метролога предприятия и другие подразделения или лица, назначаемые приказом по предприятию, которые действуют на основании утвержденного положения, согласованного с органами Госстандарта СССР.

Метрологическое обеспечение средств измерений в системе Главного управления гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР (ГУГМС) включает в себя комплекс научно-технических мероприятий: хранение рабочих эталонов и исходных образцовых средств измерения метеорологических величин, разработку руководств, наставлений и методических указаний по поверке приборов, создание поверочного оборудования и образцовых приборов, подготовку кадров поверителей, метрологический надзор за приборами, их поверку и клеймение.

В системе ГУГМС с 1 января 1975 г. введено новое положение о метрологической службе ГУГМС, предусматривающее следующую структуру поверочных органов: техническое управление ГУГМС — головная организация по метрологии — базовые организации по метрологии — территориальные органы метрологической службы — отделы метрологии, лаборатории измерительной техники и ответственные лица учреждений ГУГМС.

Техническое управление ГУГМС осуществляет связь с Госстандартом СССР и через Главного метролога ГУГМС руководит всей деятельностью метрологической службы.

Функции головной организации по метрологии возложены на Научно-исследовательский институт гидрометеорологического приборостроения (НИИГМП).

Базовыми организациями метрологической службы утверждены ведущие научно-исследовательские институты ГУГМС (ГГО, ГГИ, ГОИН, ЦАО и др.), которые отвечают за метрологическое обеспечение измерений в своей отрасли.

Территориальные органы метрологической службы ГУГМС — Бюро поверки УГМС — осуществляют метрологическое обслужи-

вание прикрепленных организаций ГУГМС и ведомств (надзор за гидрометеорологическими приборами, ведомственную поверку и ремонт приборов).

Отделы метрологии научно-исследовательских институтов ГУГМС и лаборатории измерительной техники отдельных учреждений проводят организационно-технические мероприятия по метрологическому обеспечению выполняемых в них научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в следующих основных направлениях: обеспечение единства измерений, внедрение современных средств и методов измерений в практику, обеспечение постоянной готовности применяемых средств измерений к выполнению измерений с нормированной точностью путем организации поверки и ремонта приборов, соблюдение правил метрологии, требований ГОСТов, технических условий и других нормативных документов.

При составлении учебника были использованы новые ГОСТы и положения Госстандарта СССР в области метрологии, существующие инструкции, методические указания и руководства по поверке метеорологических приборов, техническая документация на них, а также новые разработки Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова в области поверки метеорологической аппаратуры, проведенные под руководством автора.

В первых трех разделах предлагаемого учебника приведены основные сведения по метрологии, необходимые для изучения вопросов поверки. В них освещается современная терминология, система единиц измерений, оценка погрешностей измерения, требования к составлению методических указаний по поверке, оформлению и представлению результатов поверки.

В разделах 4, 5, 6 и 9 рассматриваются вопросы поверки приборов для измерения основных метеорологических величин: температуры, атмосферного давления, влажности воздуха, скорости и направления ветра. Изложение этих вопросов начинается с описания поверочных схем, которые пока еще находятся на стадии внедрения и могут в дальнейшем уточняться, но необходимы для правильной постановки задачи.

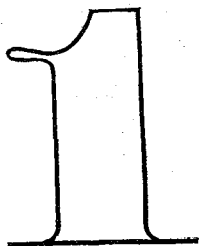
При рассмотрении методики поверки главное внимание уделяется оценке погрешностей измерения и определению поправок. В каждом разделе приводится описание образцовых средств измерения и поверочного оборудования, кратко излагается порядок поверки приборов и даются примеры обработки результатов поверки. По наиболее важным операциям поверки даны лабораторные работы.

В разделах 7 и 8 приводится поверка актинометрических приборов и радиометров, используемых в гидрометслужбе на специализированной сети станций.

Разделы 10—12 посвящены поверке дистанционных и автоматических метеорологических станций. Ввиду сложности

устройства этих систем сначала кратко излагается принцип их действия и даются общие указания по поверке. Затем приводится поэлементная поверка и проверка работоспособности в целом. Поверка первичных измерительных преобразователей УАТГМС и КРАМС, за исключением преобразователей метеорологической дальности видимости и высоты нижней границы облаков, для удобства изучения рассматривается в соответствующих разделах учебника при описании методики поверки средств измерения основных метеорологических величин. Ряд измерительных преобразователей станций (преобразователи грозы, гололеда и др.) не рассматривается.

Для лучшего усвоения предмета приводится список основной литературы. В приложении даны необходимые таблицы для практических расчетов при выполнении лабораторных работ. Предметный указатель поможет учащимся быстро найти пояснения наиболее важных специфических терминов и определений в области поверки.



КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО МЕТРОЛОГИИ

1.1. Термины и определения

Основной задачей метрологии как науки об измерениях является обеспечение единства и необходимой точности измерений.

Под *единством измерений* понимают такое их состояние, при котором результаты измерений выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью. Оно необходимо для того, чтобы можно было сопоставить результаты измерений, выполненных в разных местах и в разное время, с использованием различных методов и средств измерений.

Единицей измерения называют физическую величину, которой по определению присвоено числовое значение, равное единице (например, 1 м, 1 с), а значение физической величины, соответствующее ее единице, называют *размером*. Единство измерений достигается единообразием применяемых средств измерений и их поверкой. *Единообразие средств измерения* характеризуется тем, что они проградуированы в узаконенных единицах и их метрологические свойства соответствуют установленным нормам.

Точность измерений отражает близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Количественно точность выражается величиной, обратной модулю относительной погрешности измерений.

При градуировке средств измерений определяется *градуировочная характеристика*, которая выражает зависимость между значениями величин на выходе и входе прибора, составленная в виде таблицы, графика или формулы.

Поверка средств измерений — это определение метрологическим органом погрешностей средств измерений и установление пригодности этих средств к применению. В отдельных случаях вместо определения значений погрешностей проверяют, находятся ли погрешности в допускаемых пределах.

Важными характеристиками качества измерений являются их правильность и достоверность. *Правильность измерений*

отражает близость к нулю их систематических погрешностей и зависит от того, насколько были верны выбранные средства измерений. *Достоверность* характеризует доверие к результатам измерений и определяется вероятностными характеристиками их отклонений от истинных значений соответствующих величин. Наличие *погрешности* ограничивает достоверность измерений.

Более полно термины и определения основных понятий метрологии даны в ГОСТ 16263—70.

1.2. Система единиц измерений

Для количественной оценки физических величин установлены единицы измерений и их размеры. Чтобы измерить какую-либо величину, надо найти отношение ее размера к размеру единицы измерения этой величины. Единицы некоторых величин установлены произвольно, независимо одна от другой, их называют *основными единицами*. Основные единицы воспроизводятся с помощью эталонов. Единицы других величин выражают через основные единицы по формулам размерности, которые составляются исходя из уравнений, связывающих измеряемые величины с основными. Такие единицы называются *производными*. Совокупность основных и производных единиц измерения, охватывающая все или только некоторые области измерения (механические, электрические, световые и т. д.), называется *системой единиц*. Развитие техники измерений привело к созданию целого ряда систем единиц, которые используются в различных областях науки и техники. С целью унификации единиц измерений утвержден ГОСТ 9867—61 — *международная система единиц* (или сокращенно СИ — система интернациональная), которая принята как предпочтительная во всех областях измерений в СССР.

Международная система единиц СИ состоит из шести основных и ряда производных единиц для различных областей науки [5, 7]. Допускается использовать единицы, представляющие собой десятичные, кратные и дольные единицы, образуемые с помощью десятичных приставок, а также некоторые другие единицы.

1.3. Эталоны и образцовые приборы

Основой обеспечения единства и верности измерений является государственная система эталонов единиц измерений.

Эталон представляет собой средство измерения, которое обеспечивает воспроизведение и хранение единицы физической величины для передачи размера единицы образцовым, а от них рабочим средствам измерений. Если эталон воспроизводит единицу с наивысшей в стране точностью, он называется *первич-*

ным. Первичные эталоны утверждаются в установленном порядке и хранятся в институтах Госстандарта СССР. Для проведения работ с государственными эталонами назначаются особые ответственные лица — *ученые хранители эталонов*.

В отдельных случаях для лучшей организации поверочных работ и наименьшего износа первичных эталонов создаются *вторичные эталоны*, значения которых устанавливаются по первичному. По своему метрологическому назначению вторичные эталоны делятся на эталоны-копии, эталоны сравнения, эталоны-свидетели и рабочие эталоны. *Эталон-копия* заменяют первичные эталоны при передаче единицы рабочим эталонам. *Эталон сравнения* применяются для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам нельзя непосредственно сличить друг с другом. *Эталон-свидетель* служит для проверки сохранности первичного эталона или для замены его в случае порчи или утраты. *Рабочий эталон* используется для хранения единицы и передачи ее размера образцовым средствам измерения высшей точности и при необходимости — наиболее точным рабочим средствам измерения.

Существуют эталоны для воспроизведения как основных единиц системы, так и ряда производных единиц (например, эталон давления), а также эталоны внесистемных единиц (например, эталон единицы активности радиоактивных источников). Применение таких эталонов позволяет повысить точность передачи единиц нижестоящим мерам.

Эталоны единиц измерения могут быть одиночными или групповыми. *Групповой эталон* состоит из совокупности однотипных мер или иных измерительных средств, применяемых как одно целое для повышения надежности хранения единицы (например, эталон-копия вольта, состоящий из группы в 20 нормальных элементов). Применяются также *эталонные наборы*, позволяющие хранить единицу или измерять величину в определенных пределах. Кроме национальных эталонов единиц, существуют *международные эталоны*, с которыми сличаются эталоны различных стран.

Передача размеров единиц от эталонов рабочим мерам и измерительным приборам осуществляется посредством *образцовых средств измерения*. В качестве образцовых средств выбирают меры, измерительные приборы или измерительные преобразователи, обладающие более высокой стабильностью и воспроизводимостью своих показаний по сравнению с аналогичными рабочими средствами измерений. Образцовые средства измерений предназначены только для поверки и градуировки по ним других средств измерений и не могут использоваться для практических измерений. Они должны быть аттестованы и утверждены в установленном порядке. На образцовые средства измерений выдаются свидетельства с указанием метрологических параметров и разряда по общесоюзной поверочной схеме. Между

разрядами образцовых средств измерений соблюдается соподчиненность: образцовые средства измерений низших разрядов подлежат поверке по образцовым средствам непосредственно вышестоящих разрядов. Число разрядов образцовых средств устанавливается стандартами на поверочные схемы для конкретных видов измерений, исходя из требований практики. Отдельные рабочие меры и измерительные приборы высшей точности могут поверяться по рабочим эталонам или образцовым средствам соответствующего разряда.

Применяются следующие виды образцовых средств измерения: *образцовая мера* — средство измерения, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. Например: гиря — мера массы, кварцевый генератор — мера частоты электрических колебаний;

образцовый измерительный прибор — устройство, в котором измеряемая величина преобразуется в показание или сигнал, пропорциональный измеряемой величине или связанный с ней другой функциональной зависимостью. В отличие от меры измерительный прибор не воспроизводит известное значение величины, а измеряемая величина подводится к нему извне, воздействует на него непосредственно или через преобразователь;

образцовый измерительный преобразователь — средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения, но не поддающийся непосредственному восприятию наблюдателем (измерительный преобразователь является частью прибора);

измерительная установка — совокупность функционально объединенных средств измерений (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей) и вспомогательных устройств, предназначенная для измерения одной или нескольких величин. Измерительная установка, укомплектованная образцовыми средствами измерения и предназначенная для проверки других средств измерений, называется *поверочной установкой*.

Очень важен вопрос о выборе оптимального соотношения между допускаемыми погрешностями образцового и поверяемого приборов. Обычно это соотношение принимается равным 1 : 3, когда вводят поправки в показания средств измерения. Если же поправки не вводятся, то образцовые средства выбираются исходя из соотношения 1 : 5. Практически оптимальное соотношение погрешностей устанавливается с учетом выбранного метода поверки и характера погрешностей приборов. Чем больше вариации (нестабильность) показаний образцового прибора, тем больше должно быть указанное соотношение. С другой стороны, могут оказаться приемлемыми отношения 1 : 2 и менее, если случайные погрешности поверяемых и образцовых приборов незначительны, а их точность определяется в основном только систематическими погрешностями, которые могут быть учтены.

1.4. Поверочные схемы

Для обеспечения правильной передачи единиц измерения от эталонов рабочим приборам составляются поверочные схемы (см. ГОСТ 8.061—73). Поверочная схема представляет собой исходный документ, устанавливающий средства, методы и точность передачи размера единицы от эталона или исходного образцового средства измерений рабочим средствам измерений. В ней указывается соподчинение эталонов и образцовых средств измерений, а также порядок передачи размера единицы и методы поверки. Исходные положения и структура поверочной схемы устанавливаются Госстандартом СССР. Типовая поверочная схема (см. рис. 4) состоит из нескольких полей, соответствующих ступеням передачи размера единицы. Поля отделены друг от друга горизонтальными пунктирными линиями. В левой части схемы по вертикали указываются наименования элементов поверочной схемы: эталоны, образцовые и рабочие измерительные средства. На полях в прямоугольниках и кругах располагаются структурные элементы схемы. В прямоугольниках даются наименования эталонов, образцовых и рабочих средств измерения с указанием диапазона и погрешности измерений.

Для образцовых средств указываются погрешности поверки или классы точности, а для рабочих средств измерения — класс точности, предел основной допускаемой погрешности или цена деления. В кругах (или овалах) указываются методы поверки, применяемые в данной области измерений. Соподчиненность структурных элементов указывают соединительными линиями. Передачу размеров единиц от эталонов образцовым и рабочим средствам изображают соединительными линиями, проходящими через круг, в котором указан метод поверки. Поверочные схемы составляются отдельно по каждому виду измерений. Они могут быть общегосударственными или ведомственными (локальными), утверждаемыми ведомствами или предприятиями по согласованию с Госстандартом СССР. Поверочные схемы являются исходным документом поверки. Только строгое соблюдение поверочных схем и своевременная поверка средств измерения в метрологических организациях могут обеспечить точную передачу размеров единиц и обеспечить достоверность проводимых измерений.

1.5. Методы поверки

Методы поверки средств измерений указываются в поверочных схемах. Они определяют способы передачи размеров единицы от вышестоящих средств измерений нижестоящим. К основным методам поверки относятся:

1. *Непосредственное сличение с образцовыми средствами измерений.* Этот метод является самым распространенным. В основе его лежит одновременное измерение одной и той же величины поверяемым и образцовым прибором. При использовании метода необходимо следить, чтобы оба прибора измеряли действительно одну и ту же величину. Поэтому непосредственное сличение приборов обычно проводится в поверочных установках, обеспечивающих точное задание величин и надлежащие условия поверки (например, сличение термометров в термостате и т. д.).

2. *Сличение с использованием прибора сравнения* (компаратора). В качестве компаратора при сличениях мер и приборов часто применяются образцовые весы (при поверке гирь), измерительные мосты и потенциометры (при сличении мер сопротивления и электродвижущей силы) и оптические устройства (для точных сличений мер длины). Компарирующие устройства должны обладать такой чувствительностью, чтобы с их помощью можно было обнаружить изменение измеряемой величины, не превышающее значение погрешности образцового прибора. Сличение приборов с помощью компарирующих устройств может обеспечить очень высокую точность поверки. Метод применяется в основном при сличении с эталонами и исходными образцовыми средствами.

3. *Поверка по образцовой мере.* В этом случае поверка приборов сводится к измерению величины, воспроизводимой образцовой мерой или сопоставляемой с образцовой мерой. Например, поверка штанген-циркуля с помощью образцовой концевой меры или поверка омметра с помощью магазина сопротивлений и др.

С помощью перечисленных методов достигается основная цель поверки — определение или оценка основной погрешности приборов, которая находится как наибольшая разность между результатами измерения и соответствующими им размерами мер.

Кроме определения погрешностей измерительных средств, в поверку входят и другие операции, необходимые для установления соответствия поверяемых приборов требованиям стандартов и технических условий. На практике под методами поверки понимают совокупность операций как по определению погрешностей, так и по выявлению неисправностей средств измерений, которые могут нарушить нормальную работу приборов или увеличить их погрешности. Основные требования на методы и средства поверки средств измерения указаны в ГОСТ 8.042—72. В *инструкциях по поверке* согласно этому ГОСТу предусматриваются следующие разделы: 1) операции поверки и средства поверки; 2) условия поверки; 3) подготовка и проведение поверки; 4) обработка результатов поверки.

К *операциям поверки*, наряду с определением или оценкой погрешностей средств измерения, относятся: внешний осмотр,

проверка комплектности, проверка взаимодействия и исправности отдельных элементов, определение вариации показаний, чувствительности, инерционности и т. п. В перечень *средств поверки* включаются образцовые и вспомогательные приборы с указанием их ГОСТов и основных метрологических параметров (диапазона измерений, погрешности и т. п.), а также вспомогательные устройства и поверочные приспособления.

Под *условиями поверки* следует понимать состояние физических величин, влияющих на метрологические параметры поверяемых средств измерения, таких как температура, влажность и давление воздуха, физико-химические свойства применяемой при поверке среды, частота и напряжение источников питания, вибрации, ускорение свободного падения тел, напряженность магнитных и электрических полей. В поверочных инструкциях должны быть указаны номинальные значения влияющих величин и их допускаемые отклонения. В частности, основные погрешности следует определять при нормальных условиях, которые оговариваются в ГОСТе.

При *подготовке к поверке* выполняются следующие работы: установка и подготовка поверяемых приборов и средств поверки; выдержка поверяемых приборов при данной температуре или под воздействием других влияющих величин; экранирование, проверка герметичности, контактных соединений и освещенности; выполнение правил по технике безопасности.

Проведение поверки осуществляется в соответствии с наменными операциями путем внешнего осмотра, опробования поверяемых средств и определения их метрологических характеристик. Внешний осмотр проводится для выявления каких-либо внешних дефектов, не допускаемых техническими требованиями. При внешнем осмотре проверяют: комплектность, маркировку, обозначения на шкалах классов точности и единиц физических величин, цену делений отсчетных устройств, состояние покрытий и дефекты элементов средств измерений. В результате осмотра должно быть установлено соответствие поверяемых средств измерения требованиям ГОСТов или технических условий.

К операциям опробования относятся проверка исправности поверяемого прибора и взаимодействия его элементов. Проверяется действие органов управления, регулирования и настройки, проверка места нуля указателей, величина мертвого хода, люфтов, работоспособность при подаче на вход сигнала или при переключениях диапазонов измерений и т. п.

При выполнении операций по определению метрологических параметров используются указанные выше методы и средства поверки. В инструкциях по поверке дается конкретное определение применяемого метода с необходимыми пояснениями, схемами и указаниями норм и пределов допускаемых отклонений этих параметров.

При обработке результатов поверки применяются различные формы записи и обработки материала: графики, таблицы, формулы. Запись данных должна быть удобна при анализе и содержать полноценный материал для оценки годности прибора.

Оформление положительных результатов поверки проводится путем клеймения приборов, выдачи свидетельства о государственной или ведомственной поверке и записи в паспорте, выданном предприятием-изготовителем.

Для объективной оценки результатов поверки, по которым определяется годность приборов, необходимо знать характеристики качества изготовления приборов и качество поверки. Качество изготовления партии серийно выпускаемых приборов оценивается при ее испытаниях по величине отклонения характеристик отдельных приборов от номинала.

Качество поверки определяется отношением числа неправильных поверок n к общему числу поверок N , т. е. n/N . Чем ближе значение n/N к нулю, тем более надежны результаты поверки. Анализ показывает [12], что отношение n/N зависит главным образом от двух аргументов

$$\frac{n}{N} = f\left(\frac{\Delta}{\sigma}; \frac{\sigma}{\sigma_{\text{обр}}}\right),$$

где Δ/σ — отношение допустимой погрешности Δ к средней квадратичной погрешности поверяемых приборов σ (поле допуска предполагается симметричным и равным 2Δ); $\sigma/\sigma_{\text{обр}}$ — отношение средних квадратических погрешностей поверяемых и образцовых средств измерения.

Величина Δ/σ характеризует качество изготовления, а величина $\sigma/\sigma_{\text{обр}}$ — качество поверки.

1.6. Государственная система обеспечения единства измерений

При использовании современной сложной техники измерений суммарные погрешности их результатов зависят не только от погрешности средств измерений, но и от погрешности метода измерений, условий эксплуатации, способа обработки и контроля данных и т. д. Поэтому важно обеспечить не только единообразие средств измерений, но и единство самих измерений и их достоверность. Для решения этой задачи создана сеть государственной и входящей в нее ведомственной метрологической службы, которая осуществляет необходимый комплекс научно-технических мероприятий, а также законодательные и контрольные функции.

В основе работы метрологической службы лежит государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ), состоящая из комплекса нормативно-технических документов, регла-

ментирующих: единицы физических величин, систему эталонов, образцовые средства измерений, передачу размеров единиц, установление норм на метрологические характеристики средств измерений, проведение государственных испытаний средств измерений, их поверки, ревизии и экспертизы, проведение стандартизации и аттестации методик выполнения измерений, оформление и представление результатов измерений. Основные положения ГСИ изложены в ГОСТ 8.000—72.

Наиболее эффективным средством обеспечения единства измерений и повышения качества измерительной техники является система государственных испытаний, поверки, ревизии и экспертизы средств измерений.

Организация и порядок проведения государственных испытаний средств измерений изложены в ГОСТ 8.001—71. Установлены два вида государственных испытаний:

1. *Приемочные испытания* опытных образцов средств измерений новых типов, намеченных к серийному производству или импорту в СССР. Эти испытания проводятся Государственными комиссиями, назначаемыми Госстандартом СССР или по согласованию с ним другими ведомствами. В процессе испытаний определяется соответствие средств измерения требованиям ГОСТов, технического задания, возможность метрологического обслуживания и обеспечения нормированных характеристик при серийном производстве и в эксплуатации, периодичность контроля. По результатам испытаний дается рекомендация о целесообразности выпуска средства измерения, после чего Госстандарт СССР принимает решение о выпуске средства измерения в обращение в стране и заносит его в государственный реестр мер и измерительных приборов СССР.

2. *Контрольные испытания* средств измерений серийного производства проводятся метрологическими организациями Госстандарта СССР при выпуске установочной серии, ухудшении качества выпускаемых приборов, при внесении изменений в конструкцию и технологию, влияющих на нормируемые характеристики, а также в порядке госнадзора периодически в установленные сроки. Их цель — проверка соответствия выпускаемых средств измерения (или ввозимых из-за границы) требованиям стандартов и технических условий. По результатам контрольных испытаний выносится решение об устранении недостатков или о запрещении средств измерений к выпуску.

Основные положения системы метрологического надзора путем поверки, ревизии и экспертизы средств измерения, выпускаемых из производства и ремонта и находящихся в эксплуатации, устанавливаются ГОСТ 8.002—71. Государственная и ведомственная поверка средств измерения служит для установления их метрологической исправности. Все средства измерения подвергаются первичной, периодической, внеочередной и инспекционной поверкам.

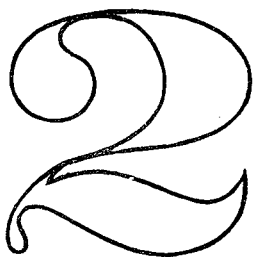
Первичная поверка производится при выпуске средств измерений в обращение из производства или ремонта.

Периодическая поверка проводится при эксплуатации и хранении средств измерений через определенные интервалы, в течение которых гарантируется метрологическая исправность средств измерений.

Если требуется убедиться в исправности средств, а также при потере документов, повреждениях клейма и других недостатках назначается *внеочередная поверка*.

Инспекционная поверка производится для выявления метрологической неисправности средств измерения, находящихся в обращении и при проведении метрологической ревизии различных организаций.

Поверка средств измерения должна осуществляться в соответствии с действующими стандартами на поверочные схемы, методы и средства поверки, а также в соответствии с инструкциями и методическими указаниями по поверке. К поверке допускаются только работники государственного или ведомственного надзора, прошедшие специальную подготовку. В целях контроля за повсеместным соблюдением единства измерений проводится *метрологическая ревизия*. Она охватывает не только проверку состояния средств измерения, выполнение правил их поверки и применения, но и проверку процесса производства, испытаний и контроля качества выпускаемой продукции. По спорным вопросам Госстандартом СССР проводится *метрологическая экспертиза* средств измерений.



ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ

2.1. Погрешности измерений и их основные виды

Виды погрешностей измерений, которые нормируются в технической документации на приборы, регламентированы ГОСТ 16263—70. Согласно этому ГОСТу *погрешность измерений* определяется как отклонение результата измерений от истинного значения измеряемой величины. Поскольку истинное значение величины остается неизвестным, практически вместо него пользуются действительным значением измеряемой величины, которое находится с помощью эталонных и образцовых средств измерений.

Погрешностью измерительного прибора называется алгебраическая разность между показаниями прибора и действительным значением измеряемой величины. Она может быть выражена в значениях измеряемой величины (*абсолютная погрешность*) или как относительная или приведенная погрешность.

Относительная погрешность измерительного прибора определяется как отношение абсолютной погрешности к действительному значению самой измеряемой величины.

Приведенная погрешность прибора выражается отношением абсолютной погрешности к диапазону измерений. Приведенную погрешность, выраженную в процентах, называют *классом точности прибора*.

Точность приборов с различными пределами измерений может сопоставляться только по их приведенным погрешностям, т. е. по классам точности.

Погрешности измерительных приборов возникают в результате неточности их изготовления (инструментальная погрешность), погрешности поверки или градуировки и влияния условий измерения. Погрешности прибора, найденные при нормальных условиях, называют *основными погрешностями*.

Для создания нормальных условий измерения устанавливают температуру окружающей среды 20°C ,

атмосферное давление 760 мм рт. ст.¹ и влажность воздуха около 80%.

Погрешности, вызванные отклонением условий измерения от нормальных, называют *дополнительными погрешностями*.

Погрешности делят на систематические и случайные. *Систематической погрешностью* называют составляющую погрешности измерения, остающуюся постоянной или закономерно изменяющуюся при повторных измерениях одной и той же величины. Систематические погрешности могут быть изучены, а результат измерения уточнен поправкой.

Поправка определяется как разность между действительным и измеренным значением величины, т. е. значением, равным погрешности измерений, но имеющим противоположный знак.

Случайной погрешностью называют составляющую погрешности, изменяющуюся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. Предельные значения случайной составляющей погрешности могут быть вычислены при наличии некоторого ряда измерений на основе теории вероятностей, что позволяет указать значение измеряемой величины, более близкое к истинному, чем результат одного измерения.

Погрешность прибора характеризуется *суммарной предельной допускаемой погрешностью* (без учета знака), при которой он может быть признан годным и допущен к применению.

В общем виде погрешность измерительного прибора может быть представлена как сумма двух составляющих — систематической и случайной погрешности:

$$\Delta = \Delta_{\text{сист}} \pm \Delta_{\text{случ.}}$$

Задача точных измерений состоит в исключении систематических погрешностей и уменьшении влияния случайных.

Правильность (достоверность) измерений характеризуется близостью к нулю систематических погрешностей, а их *точность* — уменьшением величины случайных погрешностей.

2.2. Систематические погрешности

Обнаружение, оценка и исключение систематических погрешностей представляет одну из основных и наиболее трудных задач поверочно-контрольных измерений. В большинстве случаев систематические погрешности могут быть определены лишь в результате экспериментальных исследований (испытаний) приборов, при которых проводятся их сличения с эталонными и образцовыми средствами измерений или применяются специальные методы измерений.

¹ В единицах СИ 1 мм рт. ст. = 133,322 Н/м².

К *систематическим* погрешностям относятся:
инструментальные погрешности, которые возникают вследствие неточности изготовления отдельных узлов, износа, старения или неисправности прибора;

погрешности, вызванные *неправильной установкой* прибора;
погрешности, возникающие вследствие *внешних влияний* (температуры окружающей среды, атмосферного давления и влажности воздуха, электрических полей и т. д.);

погрешности метода измерения или теоретические погрешности, являющиеся следствием тех или иных допущений, применения эмпирических формул и функциональных зависимостей, которые положены в основу принципа действия прибора;

субъективные систематические погрешности, являющиеся следствием индивидуальных свойств наблюдателя;

погрешности вычислений, связанные с приближенными расчетами, интерполяцией и экстраполяцией, выполняемыми в процессе обработки результатов измерений.

По характеру проявления систематические погрешности могут быть постоянными во всем диапазоне измерений или изменяться по шкале. Кроме того, с течением времени они иногда изменяются по определенному закону. При контрольно-поверочных измерениях систематические погрешности можно исключить различными способами. Прежде всего необходимо устранить источники возможных погрешностей до начала измерений. Наилучшим образом это достигается применением специального поверочного оборудования и установок, в которых создаются условия для точных измерений и исключается воздействие внешней среды. Источники инструментальных погрешностей и погрешностей установок приборов устраняются путем регулировки или ремонта, объем которых определяется по результатам поверки приборов, проведенной перед контрольно-поверочными измерениями. В качестве меры, предупреждающей появление температурной погрешности, применяют термостатирование приборов или помещения, в котором проводится поверка. Для устранения влияния магнитных и электрических полей используется экранирование приборов или их узлов с помощью магнитно-мягких материалов. Влияние вредных вибраций устраняется применением соответствующей амортизации: подвесов, губчатой резины и т. д. Влияние таких факторов, как изменение атмосферного давления и влажности, можно устранить применением барокамер и гигростатов. Для исключения систематических погрешностей в процессе поверки применяют способы замещения, исключения погрешности по знаку и введения поправок в результат измерений.

Способ замещения заключается в том, что измеряемую величину заменяют известной мерой в тех же условиях. Он широко применяется, например, при поверке электрических сопротивлений [7].

Способ исключения погрешности по знаку состоит в том, что измерение проводят дважды (или четное число раз) таким образом, чтобы неизвестная по значению погрешность входила в результаты с противоположными знаками. Эта погрешность исключается при вычислении среднего значения.

Способ введения поправок в результат измерений позволяет исключить систематическую погрешность двумя путями. Наиболее часто применяется алгебраическое сложение результата измерения и поправки. В других случаях погрешность исключают путем умножения результата измерения на *поправочный множитель*. Поправочным множителем пользуются тогда, когда погрешность пропорциональна показаниям прибора в пределах определенного диапазона измерения.

Поправки и поправочный множитель находятся по результатам поверки. Исправленный результат можно считать достаточно точным при условии, что поправка мала по сравнению с измеренным значением, а поправочный множитель близок к единице.

В основном способ введения поправок применяется для исключения инструментальных погрешностей. Если систематические погрешности исключить нельзя, то приходится ограничиваться оценкой их возможных границ или прибегать к методам их обнаружения путем дисперсионного анализа [12].

2.3. Случайные погрешности

Для оценки случайной составляющей погрешности необходимо знать закон распределения вероятностей ее появления. В практике измерений встречаются различные законы распределения случайных погрешностей, но наибольшее значение имеет *нормальный закон распределения*, который описывается уравнением

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-X)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где $y = \rho(x)$ — плотность вероятности случайной величины x , характеризующая быстроту изменения функции распределения $F(x)$ с изменением x , т. е.

$$\rho(x) = \frac{dF(x)}{dx},$$

σ и X — параметры распределения, e — основание натуральных логарифмов, $\delta = x - X$ — отклонение величины x от истинного значения (случайная погрешность).

Формула (1) и кривые нормального распределения, приведенные на рис. 1, позволяют наглядно определить основные ха-

рактические случайных погрешностей. Параметр X является центром распределения и представляет собой *математическое ожидание случайной величины*, т. е. ее генеральное среднее или истинное значение. Теоретически математическое ожидание определяется как сумма бесконечно большого числа произведений всех возможных значений случайной величины x на вероятность этих значений, т. е.

$$M(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} x \rho(x) dx.$$

Однако при статической обработке результатов измерений рассчитывается приближенное значение $M(x)$ как среднее арифметическое из многократных наблюдений

$$M(x) \simeq \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \bar{x} \simeq X. \quad (2)$$

Эта величина принимается за *действительное значение измеряемой величины*. Мерой рассеяния значений случайной величины x относительно центра распределения X является параметр $D(x) = \sigma^2$, называемый *дисперсией*. Чем больше дисперсия, тем больше отклонения частных значений случайной величины от математического ожидания, а следовательно, меньше точность измерений.

Если известна плотность распределения случайной величины, то дисперсию можно определять по формуле

$$D(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} [x - M(x)]^2 \rho(x) dx.$$

В качестве меры разброса случайной величины вместо дисперсии применяется также *среднее квадратическое отклонение*

$$\sigma = \sqrt{D(x)}.$$

Приближенные значения дисперсии σ^2 и среднего квадратического отклонения находятся по формулам:

$$D(x) = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}; \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (3)$$

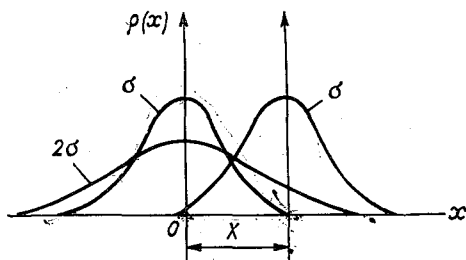


Рис. 1. Кривые нормального распределения.

Вычисленные по этим формулам значения σ^2 и σ характеризуют точность отдельного измерения в ряду, т. е. случайную погрешность отсчета x_i . Рассеяние средних значений $\bar{x}$ будет меньше, чем рассеяние результатов отдельных измерений x_i . Теория дает следующие выражения для определения дисперсии и средней квадратической погрешности $S_{\bar{x}}$ среднего результата измерения:

$$S_{\bar{x}}^2 = \frac{\sigma^2}{n}; \quad S_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}. \quad (4)$$

Таким образом, отдельное измерение (отсчет) характеризуется величиной $x_i \pm \sigma$, а средний результат измерения величиной $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$.

2.4. Доверительный интервал для истинного значения измеряемой величины.

Предел допускаемой погрешности измерений

Из кривых распределения погрешностей (рис. 1) видно, что малому значению σ соответствует преобладание малых случайных погрешностей δ , а следовательно, и большая точность измерения данной величины. При больших же значениях σ крупные случайные погрешности встречаются чаще и точность измерения будет меньше. В метрологии точность измерения среднего результата измерения $\bar{x}$ принято оценивать шириной *доверительного интервала* от $\bar{x} - \Delta_{\text{макс}}$ до $\bar{x} + \Delta_{\text{макс}}$, в котором с заданной *доверительной вероятностью* P_c содержится истинное значение искомой величины x , т. е.

$$\bar{x} - \Delta_{\text{макс}} < x < \bar{x} + \Delta_{\text{макс}}. \quad (5)$$

где $\Delta_{\text{макс}} = t_c S_{\bar{x}}$ — *максимальная, или предельная случайная погрешность* среднего результата $\bar{x}$; t_c — коэффициент Стьюдента, зависящий от числа наблюдений n и выбранной доверительной вероятности P_c .

При малом числе измерений ($n < 20$) его определяют в соответствии с распределением Стьюдента по табл. 1.

Коэффициент t_c показывает, во сколько раз максимальная погрешность больше средней квадратической погрешности результата $S_{\bar{x}}$.

Из формулы (5) видно, что ширина доверительного интервала равна $2\Delta_{\text{макс}} = 2t_c S_{\bar{x}}$. При фиксированном значении $S_{\bar{x}}$, чем больше t_c , тем шире доверительный интервал и тем

Таблица 1

Коэффициент Стьюдента t_c для различных доверительных вероятностей P_c и чисел измерений n

n	P_c									
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,995	0,999
2	1,000	1,376	1,963	3,08	6,31	12,71	31,8	63,7	127,3	637,2
3	0,816	1,061	1,336	1,886	2,92	4,30	6,96	9,92	14,1	31,6
4	0,765	0,978	1,250	1,638	2,35	3,18	4,54	5,84	7,5	12,94
5	0,741	0,941	1,190	1,533	2,13	2,77	3,75	4,60	5,6	8,61
6	0,727	0,920	1,156	1,476	2,02	2,57	3,36	4,03	4,77	6,86
7	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,45	3,14	3,71	3,32	5,96
8	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,36	3,00	3,50	4,03	5,40
9	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,31	2,90	3,36	3,83	5,04
10	0,703	0,883	1,110	1,383	1,833	2,26	2,82	3,25	3,69	4,78
11	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,23	2,76	3,17	3,58	4,59
12	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,20	2,72	3,11	3,50	4,49
13	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,18	2,68	3,06	3,43	4,32
14	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,16	2,65	3,01	3,37	4,22
15	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,14	2,65	2,98	3,33	4,14
16	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,13	2,60	2,95	3,29	4,07
17	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,12	2,58	2,92	3,25	4,02
18	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,11	2,57	2,90	3,22	3,96
19	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,10	2,55	2,88	3,20	3,92
20	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,09	2,54	2,86	3,17	3,88
∞	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,96	2,33	2,58	2,81	3,29

с большей вероятностью P_c он содержит точное значение x . Следовательно, увеличением t_c можно повысить надежность доверительного интервала.

Из табл. 1 видно, что при достаточно большом числе измерений (15—20) практически все погрешности сосредотачиваются в пределах $(2 \div 3) S_x$. Это дает основание за величину максимальной погрешности принимать значение $\Delta_{\max} = (2 \div 3) S_x$.

В метеорологических измерениях, где можно допустить больший процент отклонения погрешности от заданного интервала, максимальная случайная погрешность определяется как $\Delta_{\max} = 2S_x$.

Связь между величинами t_c , P_c и n , характеризующими точность и надежность измерений, иллюстрируется рис. 2. Как видно из рис. 2, с возрастанием n сначала происходит резкое уменьшение t_c , но при значениях $n = 10 \div 20$ уменьшение t_c резко замедляется, а в дальнейшем при возрастании n величина t_c практически остается неизменной. При $n = 10$, как видно из рис. 3, вероятность P_c при увеличении t_c возрастает до единицы, причем P_c практически достигает своего предела (единицы) уже

при $t_c = 3$. Следовательно, доверительный интервал от $\bar{x} - 3S_{\bar{x}}$ до $\bar{x} + 3S_{\bar{x}}$ при условии оценки точности по десяти измерениям

достоверен и наша информация о точности практически такая же, как и при $n \rightarrow \infty$.

Пример. Произвести обработку равноотного ряда измерений по данным табл. 2 и дать оценку точности и надежности полученного результата. Порядок записи измерений дан в табл. 2.

Решение. Вычислим: 1) среднее арифметическое результата

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{23,916}{5} = 4,7832;$$

2) среднее квадратичное отклонение единичного измерения

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \frac{0,0004406}{5-1} = 0,0105;$$

3) среднее квадратичное отклонение среднего результата измерений

$$S_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0,0105}{5} = 0,0047;$$

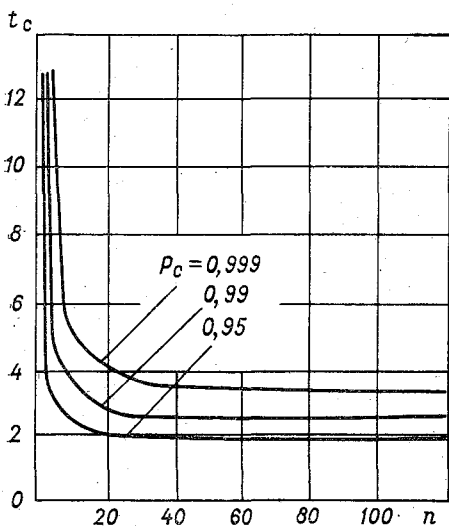


Рис. 2. Зависимость t_c от n при фиксированных значениях P_c .

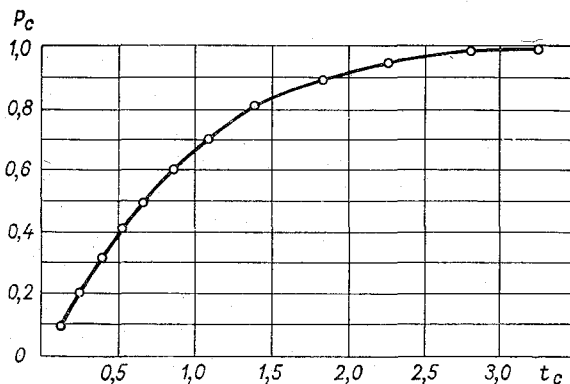


Рис. 3. Зависимость доверительной вероятности P_c от t_c при $n=10$.

4) максимальную погрешность результата (без указания доверительной вероятности)

$$\Delta_{\max} = 2S_{\bar{x}} = 2 \times 0,005 = 0,01;$$

5) доверительный интервал и предел допускаемой погрешности (допуск) для найденного $\bar{x}$.

Для определения доверительного интервала зададимся вероятностью $P_c = 0,99$. По рис. 2 или табл. 1 для $P_c = 0,99$ и $n = 5$ находим $t_c = 4,60$. Тогда предельная допускаемая погрешность измерения будет равна $\Delta = t_c S_{\bar{x}} =$

$= 4,60 \times 0,0047 = 0,0216$ и $\bar{x} = 4,7832 \pm 0,0216$. Следовательно, с вероятностью $P_c = 0,99$ можно утверждать, что измеряемая величина x заключена в пределах $\bar{x} \pm \Delta$, т. е. от 4,7616 до 4,8048. Вероятность того, что x лежит за рассчитанными пределами, составляет всего $1 - 0,99 = 0,01 = 1\%$.

Обоснования по выбору приемлемого значения P_c могут быть получены при исследовании надежности методов измерений. Приблизительно величину P_c можно выбирать, руководствуясь принятой классификацией явлений на редкие ($P_c = 0,95$), очень редкие ($P_c = 0,99$) и чрезвычайно редкие ($P_c = 0,999$).

Если при оценке погрешностей измерения будет обнаружено, что истинное значение измеряемой величины не охвачено границами доверительного интервала, то это свидетельствует о наличии систематической погрешности, которая перекрывает случайные погрешности.

Таблица 2

Запись обработки ряда измерений

n	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	4.781	-0.0022	0.0000048
2	4.795	+0.0118	0.0001392
3	4.769	-0.0142	0.0002016
4	4.792	+0.0088	0.0000774
5	4.779	-0.0042	0.0000176
Сумма	23.916	0.0000	0.0004406

2.5. Представление результата измерений в нормативно-технической документации

Методы обработки и форма представления результата измерения в нормативных документах устанавливается ГОСТ 8.009—72 и в трудах метрологических институтов СССР [20].

Официальный результат измерения должен содержать значение измеряемой величины $\bar{x}$ и характеристики точности этого значения, т. е. неисключенные систематические Θ и случайные $S_{\bar{x}}$ погрешности. Результат измерения записывается в виде

$$\bar{x} \pm \Delta. \quad (6)$$

Систематическими погрешностями можно пренебречь по сравнению со случайными, если $\frac{\Theta}{S_{\bar{x}}} < 0,8$,

тогда

$$\Delta = t_c S_{\bar{x}}. \quad (7)$$

Параметр t_c находят по табл. 1. Если $\frac{\Theta}{S_{\bar{x}}} > 8$, то можно пренебречь случайными погрешностями и точность результата

измерений характеризовать лишь систематической погрешностью

$$\Delta = \Theta. \quad (8)$$

Из неравенства $\frac{\Theta}{S_x} > 8$, учитывая, что $S_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, может быть найдено максимальное число наблюдений

$$n_{\text{макс}} = 64 \left(\frac{\sigma}{\Theta} \right)^2. \quad (9)$$

В промежуточных случаях вычисляется общая (результатирующая) погрешность по формуле

$$\Delta = t_z S_z. \quad (10)$$

Здесь t_z — коэффициент, соответствующий композиции распределения случайных и неисключенных остатков систематических погрешностей; S_z — оценка среднеквадратичного отклонения суммы случайных и остатка систематических погрешностей. Величина S_z находится по формуле

$$S_z = \sqrt{S_\Theta^2 + S_x^2}, \quad (11)$$

где S_Θ — оценка среднеквадратичного отклонения суммы неисключенных остатков систематических погрешностей

$$S_\Theta = \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^n \Theta_i^2}. \quad (12)$$

Полагая, что неисключенные остатки i -той систематической погрешности Θ_i распределены равномерно, для вычисления t_z рекомендуется эмпирическая формула

$$t_z = \frac{t_x S_x + t_\Theta S_\Theta}{S_x + S_\Theta}, \quad (13)$$

где $t_\Theta S_\Theta = \Theta$.

Запись результата осуществляется двумя способами.

1. Если полученные результаты нужны для дальнейших вычислений или анализа, то при написании результата указываются характеристики составляющих погрешности измерения S_x и Θ , число выполненных измерений n , а также доверительная вероятность P_Θ , принятая при оценке S_x , Θ .

2. В том случае, когда измерение некоторой величины является конечной целью, приводится общая (доверительная) погрешность результата Δ . Значение вероятности указывается в скобках после Δ .

Пример. При обработке результатов поверки образцовой угловой меры получены следующие данные: $\bar{x}=1,98''$, $S_{\bar{x}}=0,05''$, $\Theta=0,03''$, $n=20$.

Требуется записать результат измерения, принимая, что истинное значение измеряемой величины лежит в доверительном интервале погрешностей с вероятностью $P_c=0,95$.

Решение.

1. Так как

$$\frac{\Theta}{S_{\bar{x}}} = \frac{0,03}{0,05} = 0,6 < 0,8,$$

то систематической погрешностью пренебрегаем и результат записываем в виде:

$$\bar{x}=1,98'', S_{\bar{x}}=0,05'', n=20, P_c=0,95.$$

2. Определяем общую доверительную погрешность результата Δ следующим образом. При $P_c=0,95$ из табл. 1 находим:

$$t_{0,95}=2,09 \text{ и } \Delta=t_c S_{\bar{x}}=2,09 \times 0,05=0,10''.$$

Результат измерения записываем в виде

$$X=1,98'' \pm 0,1'' (0,95);$$

это означает, что истинное значение измеряемой величины x с вероятностью 0,95 лежит в доверительном интервале

$$1,98'' - 0,10'' < x < 1,98'' + 0,10''.$$

Если в приведенном примере границы неисключенного остатка систематических погрешностей Θ были бы больше и ими нельзя было пренебречь, то запись результата будет иной.

Пусть $\Theta=0,17''$, тогда

$$\frac{\Theta}{S_{\bar{x}}} = \frac{0,17}{0,05} = 3,4 > 0,8;$$

результат можно записать в виде

$$\bar{x}=1,98'', \Theta=0,17'', S_{\bar{x}}=0,05'', n=20.$$

Если записывается конечный результат измерений, то погрешность Δ находят следующим образом: при $P_c=0,95$ из табл. 1 берут значение $t_{0,95}=2,09$, тогда $t_{0,95} S_{\bar{x}}=0,10''$.

Предполагая, что в границах $\pm \Theta$ неисключенная систематическая погрешность распределена равномерно, по формулам (13), (11), (10) вычисляем:

$$t_z = \frac{t_x S_x + \Theta}{S_x + S_\Theta} = \frac{0,1 + 0,17}{0,05 + \frac{0,17}{\sqrt{3}}} = \frac{0,27}{0,15} = 1,8'';$$

$$S_z = \sqrt{S_\Theta^2 + S_x^2} = \sqrt{0,12 + 0,05^2} = 0,11'';$$

$$\Delta = t_z S_z = 1,8'' \times 0,11'' = 0,20''.$$

Результат измерения запишем в виде

$$X=1,98'' \pm 0,2'' (0,95).$$

2.6. Правила округления результатов измерений

Точность результатов вычислений при обработке данных наблюдений должна быть согласована с необходимой точностью результата измерения. Нет никакого смысла вычислять результат измерения с числом цифр, превышающим числовой разряд его погрешности. Поэтому числовое значение результата округляют так, чтобы оно оканчивалось цифрой того же разряда, что и значение погрешности. Промежуточные же вычисления при обработке наблюдений следует выполнять с числом знаков на один или два больше, с тем чтобы погрешности вычислений не могли исказить последнюю значащую цифру результата более чем на половину единицы последнего разряда.

Погрешность результата измерения следует выражать не более чем двумя значащими цифрами.

При округлении пользуются следующими *основными правилами*:

1. Округленный результат измерения должен оканчиваться цифрой того же разряда, что и значение погрешности. Если десятичная дробь в числовом значении результата оканчивается нулями, то нули отбрасывают только до того разряда, который соответствует разряду погрешности.

Например, число 1,070000 при погрешности $\pm 0,001$ округляют до 1,070.

2. Если первая (слева направо) из заменяемых нулями или отбрасываемых цифр меньше 5, то остающиеся цифры не изменяют. Лишние цифры в целых числах заменяют нулями, а в десятичных отбрасывают. Например, при сохранении четырех значащих цифр число 283 435 округляют до 283 400, число 283,435 — до 283,4.

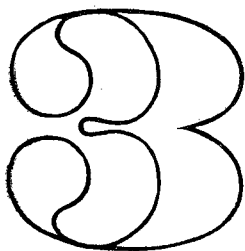
3. Если первая из заменяемых нулями или отбрасываемых цифр равна 5, а за ней нет никаких цифр или идут нули, то округление производят до ближайшего четного числа, т. е. четную последнюю цифру или ноль оставляют без изменения, а нечетную увеличивают на единицу.

Например, при сохранении трех значащих цифр число 264,50 округляют до 264; число 265,5 округляют до 266.

4. Если первая из заменяемых нулями или отбрасываемых цифр больше 5 или равна 5, но за ней следует отличная от нуля цифра, то последнюю оставляемую цифру увеличивают на единицу.

Например, при сохранении трех значащих цифр число 17,58 округляют до 17,6; число 18,598 — до 18,600; число 352,521 — до 353.

Следует учесть, что вопросы округления не решаются только приведенными правилами. Во всех случаях при округлении следует руководствоваться допустимой погрешностью измерения, которая и является критерием возможности округления.



ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ И СРЕДСТВА ПОВЕРКИ

3.1. Методы измерений

При выполнении метрологических работ применяются различные методы измерений, позволяющие исключать систематические погрешности и повышать достоверность результатов измерений. Наибольшее значение из них имеют методы непосредственной оценки (абсолютный), дифференциальный, нулевой и метод совпадения.

Метод непосредственной оценки позволяет определить измеряемую величину непосредственно по отсчетному устройству средства измерения, в котором происходит прямое преобразование этой величины. К приборам непосредственной оценки относятся манометры, барометры, жидкостные термометры, гигрографы и другие, показывающие, а также регистрирующие приборы. Достоинством метода является простота и быстрдействие. Однако точность измерения может быть невысокой из-за погрешностей, связанных с необходимостью градуировки шкал приборов и влиянием условий измерения (непостоянство температур, напряжения источников питания и пр.). При более точных измерениях применяют различные методы сравнения с мерой.

Дифференциальный метод состоит в определении разности между измеряемой величиной и величиной, значение которой известно. Примером дифференциальных методов измерения могут служить сравнения линейных мер с помощью компаратора, где разность между ними определяется окулярным микрометром, измерения с применением дифференциальных мостовых схем, дифференциальных индуктивных или емкостных преобразователей. Дифференциальный метод позволяет получить результаты измерения с высокой точностью даже при использовании относительно грубых приборов, поскольку изготовить точную меру и сравнительно простой прибор для измерения малых величин (разностей) легче, чем прибор для измерения больших величин с той же точностью. Однако применение его возможно только в тех случаях, когда просто и точно реализуется операция

вычитания величин и есть возможность точно воспроизвести образцовую меру, по величине близкую к измеряемой.

Нулевой метод сводится к сравнению измеряемой величины с образцовой мерой. Последнюю подбирают таким образом, чтобы разность между измеряемой и известной величинами равнялась нулю. Совпадение значений этих величин отмечают при помощи нуль-индикатора. В момент равновесия компенсация воздействия влияющих величин оказывается более полной, что является важным преимуществом метода. Его недостатком по сравнению с дифференциальным методом является необходимость иметь наборы мер (магазины сопротивлений, разновесы и пр.), из которых составляются сочетания величин, равные измеряемым при уравнивании схемы. В практике измерений нулевой метод нашел широкое применение в виде различных весовых устройств, равновесных мостовых схем для измерения электрического сопротивления, индуктивности и емкости, компенсационных измерительных систем, при светотехнических измерениях и др.

В *методе совпадений* разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют по совпадению отметок шкал или периодических сигналов. По принципу метода совпадений построены нониусы измерительных устройств, ведется передача точных сигналов времени, измерение с использованием способа биений, интерференции и стробоскопического эффекта.

Выбор того или иного метода измерения определяется конкретными условиями задачи и требуемой точностью. Нельзя действовать по принципу — чем точнее, тем лучше. В действительности, чем выше точность, тем труднее ее достигнуть. Точность методов измерений можно оценивать, определяя границы погрешностей, за пределы которых они не выходят, пользуясь законами теории вероятностей и статистики, что возможно не с абсолютной (100%-ной), а с некоторой меньшей степенью достоверности. Это дает возможность для каждого конкретного случая выбирать те средства и методы измерения, которые обеспечивают получение результата с целесообразной точностью.

При выборе метода измерений в метрологических работах руководствуются поверочной схемой, а при ее отсутствии учитываются погрешности поверяемых приборов и погрешности проверки. В технических измерениях наперед принимается определенная точность, достаточная для решения поставленной задачи.

При выполнении измерений необходимо соблюдать следующие *основные правила*:

1. Все применяемые в измерениях меры и измерительные приборы должны быть поверены в органах государственной или ведомственной метрологической службы и иметь поверочное свидетельство, паспорт или клеймо.

2. Установку, монтаж и размещение средств измерений и вспомогательных приспособлений следует производить так, чтобы было исключено их отрицательное воздействие друг на друга и влияние окружающих предметов (окна, двери, отопительные приборы и пр.).

3. Измерительные приборы и поверочные установки необходимо располагать с учетом удобства управления ими, обеспечения правильности отсчетов, нормального освещения шкал, обеспечения высокой производительности поверочных работ, предохранения поверителя от утомления и от риска порчи приборов или нарушения режима измерений.

4. Должны быть соблюдены: меры технической безопасности от несчастных случаев и санитарное содержание рабочего места, на котором не должно быть посторонних предметов.

5. Измерения следует проводить по тщательно разработанной методике, строго соблюдая порядок выполнения измерительных операций.

6. Необходимо избегать перерыва начатой серии измерений, особенно в тех случаях, когда от регулярности отсчетов зависит исключение систематических погрешностей.

7. Во всех случаях сомнения в правильности полученных результатов измерения необходимо повторить.

8. Журнал наблюдений следует вести тщательно, с отметкой всех дополнительных влияний, возникающих при измерениях. В журнале должно быть указано время измерений: год, число, час, минуты; наименование и номера приборов и их метрологические характеристики.

9. Отсчеты должны записываться в виде таблицы и так, чтобы была видна их последовательность, а рядом — графа результатов и подсчеты. Не допускаются никакие пересчеты в уме. Запись должна отражать показания измерительных приборов без изменений.

10. Ошибочные записи, промахи и сомнительные наблюдения зачеркиваются так, чтобы их можно было разобрать, т. е. одной чертой без замазывания. Это необходимо для всестороннего освещения процесса измерения.

11. Не следует накапливать вычисления или откладывать их на долгий срок. Вычисления полезно производить в процессе самого измерения для непосредственного суждения о ходе измерений и состоянии средств измерений.

3.2. Средства измерений и поверочное оборудование

Измерения выполняются с помощью технических средств, которые имеют нормированные метрологические характеристики и называются *средствами измерений*. Средства измерений включают в себя меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы и вспомогательные средства. Они могут быть

объединены в более сложные комплексы, называемые измерительными устройствами и измерительными системами.

К *мерам* относятся средства измерений, предназначенные для воспроизведения физических величин заданного размера. Применяют однозначные и многозначные меры. К *однозначным* относятся меры, воспроизводящие физические величины лишь одного размера (например, гири, линейка с делениями, рулетка, катушка электрического сопротивления, температурная лампа, нормальный элемент, генератор стандартных сигналов, измерительная бюретка). К ним относятся также стандартные образцы и образцовые вещества, одно из свойств которых при определенных условиях является величиной со строго известным значением (например, образцы цвета, твердости, шероховатости, вещества для воспроизведения реперных точек 0 и 100°).

В качестве многозначных мер применяют наборы мер (например, наборы гирь, концевых мер длины, индуктивности) или магазины мер (например, магазины сопротивления, индуктивности, емкости). Меры характеризуются *номинальной величиной*, которая указывается на ней при выпуске из производства. *Действительное значение меры* находится при ее аттестации путем исключения систематических погрешностей и сведения к минимуму случайных. Разность между номинальным и действительным значениями определяет *погрешность меры*, по которой они делятся на классы точности.

Погрешность определения действительного значения меры называется *погрешностью аттестации меры*. В зависимости от погрешности аттестации меры делятся на разряды 1, 2, 3 и т. д.

Измерительные преобразователи являются составными частями измерительных приборов, служащими для преобразования измеряемой величины в сигналы, удобные для дальнейшей передачи, обработки и хранения измерительной информации, но не поддающиеся непосредственному восприятию наблюдателя. По месту, занимаемому в приборе, *преобразователи* подразделяются на три вида: *первичные*, к которым непосредственно подводится измеряемая величина; *промежуточные*, занимающие в измерительной цепи место после первичных, и *передающие*, на выходе которых образуются величины, удобные для их регистрации и передачи на расстояние.

Измерительный прибор представляет собой устройство, в котором измеряемая величина преобразуется в показание или сигнал измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем. Для наблюдения измеряемой величины прибор снабжается отсчетным устройством, которое выполняется в виде шкалы с указателем, пишущего или счетного механизма. Преобразование и измерение в современных измерительных приборах часто бывает сложным, многоступенчатым. Измерение метеорологических величин осуществляется различными преобразователями. Например, дистанционный

анемометр М-47 (см. рис. 66) в совокупности представляет собой измерительный прибор. Его вертушка находится под непосредственным воздействием измеряемой величины и поэтому является первичным преобразователем, с помощью которого скорость ветра преобразуется в другую физическую величину (число оборотов), удобную для дальнейшего преобразования и измерения. Для передачи на расстояние информации о скорости ветра число оборотов вертушки преобразуется в электрическое напряжение с помощью тахогенератора переменного тока, который можно назвать передающим преобразователем. Выходной сигнал с тахогенератора после выпрямления подается непосредственно на отсчетное устройство.

В качестве преобразователей применяются различные усилители, измерительные микроскопы, измерительные трансформаторы, преобразователи термоэлектрические, индукционные, емкостные, электромеханические и др.

К вспомогательным средствам измерения относятся устройства, приспособления и принадлежности, служащие для улучшения условий измерения (усилитель, лупа, термостат для проверки термометров) или для контроля влияющих на изменение величин (термометры-атташе при барометрах).

Для измерения какой-либо величины или одновременно нескольких величин применяются комплексы функционально объединенных друг с другом мер, преобразователей, измерительных приборов и вспомогательных средств, которые называются *измерительными установками или системами*. Измерительная установка, оснащенная образцовыми средствами измерений и предназначенная для поверки и градуировки других средств измерений, является *поверочной установкой*. В практике поверки метеорологических приборов применяются различные поверочные установки (термостаты, гигростаты, аэродинамические трубы, барокамеры), укомплектованные соответствующими образцовыми измерительными средствами (термометрами, психрометрами, анемометрами, манометрами). Указанные установки будут рассмотрены при описании методов поверки приборов.

3.3. Поверка, градуировка и калибровка средств измерений

Поверка средств измерения производится путем сравнения их показаний с показаниями образцовых мер и измерительных приборов.

Основная цель *поверки мер и измерительных приборов* — выяснить, соответствуют ли их характеристики точности нормированным значениям. Если меры и приборы применяются с учетом поправок к их показаниям, то при поверке определяются значения поправок. При поверке приборов, применяемых без поправок, устанавливается, не выходят ли их погрешности за

пределы допуска. Очень часто пределы допусков бывают настолько малыми, что изготовление приборов с заданными пределами допускаемых погрешностей оказывается технологически неосуществимым. В таких случаях расширяют допуски до целесообразных пределов и прибегают к специальной градуировке измерительных приборов, а также вводят в конструкцию прибора регулировку нуля и чувствительности, посредством которой удается компенсировать систематическую составляющую погрешности.

При *градуировке* определяют: 1) градуировочную характеристику прибора путем нанесения отметок на шкалы средств измерений и 2) значения измеряемой величины, соответствующие уже нанесенным отметкам, по которым составляют градуировочный график или таблицы. При отсутствии шкалы градуировочной характеристикой служат зависимости между значениями величин на выходе и входе, по которым составляют таблицы, график или формулы. Применяют три способа градуировки приборов:

1. Использование типовых (печатных) шкал, которые изготавливаются заранее в соответствии с уравнением градуировочной характеристики идеального прибора.

2. Индивидуальная градуировка шкал приборов. При этом на вход прибора последовательно подают измеряемые величины нескольких наперед заданных или выбранных значений. На шкале наносят отметки, соответствующие положениям указателя при этих значениях измеряемой величины, а расстояния между отметками делят на равные части. Систематическая погрешность в градуируемых точках не должна превышать погрешности обратного хода.

3. Градуировка условной шкалы, которая состоит в определении при помощи образцовых мер или приборов значений измеряемой величины, соответствующих некоторым нанесенным на ней отметкам. В результате определяют зависимость числа делений шкалы от измеряемой величины в виде таблицы или графика. Если нужно избавиться и от погрешности обратного хода, то градуировку осуществляют отдельно при прямом и обратном ходе.

В тех случаях, когда образцовые средства измерений не охватывают все номиналы или диапазоны измерений поверяемых мер и приборов, прибегают к калибровке средств измерений.

Калибровка — это способ проверки мер путем совокупных измерений. Она заключается в сравнении различных мер, их сочетаний или отметок шкал многозначных мер в различных комбинациях и вычислении по результатам этих сравнений значений мер или отметок шкалы (или поправок к ним), исходя из известного значения одной из них. Другими словами, действительные значения мер и погрешности их аттестации находят по результатам косвенных измерений.

3.4. Основные метрологические показатели средств измерений

Измерительные средства характеризуются рядом метрологических показателей.

Для мер основной характеристикой является *номинальное значение меры*, т. е. указанное на мере значение воспроизводимой величины заданного размера. Действительное значение меры получают при аттестации. Оно равно действительному размеру воспроизводимой величины. Для многозначных мер, магазинов мер и приборов применяют термин *показание меры* или *показание прибора*.

Показание прибора — это значение измеряемой величины, определяемое по отсчетному устройству и выраженное в принятых единицах этой величины. Показание прибора выводится из отсчета. Переход от отсчета к показаниям осуществляется путем умножения отсчета на цену деления шкалы или с помощью градуировочной кривой.

Ценой деления шкалы называется значение измеряемой величины, соответствующее одному делению. Деления шкалы могут быть различными по величине. Расстояние между двумя соседними отметками (штрихами) шкалы называется *длиной деления шкалы*. Отношение длины деления шкалы к цене деления определяет *чувствительность прибора*. В общем случае под чувствительностью измерительного прибора понимают отношение изменения сигнала на выходе ΔI прибора к вызывающему его изменению измеряемой величины Δx . Чувствительность приборов на различных участках диапазона измерения может быть неодинаковой. *Абсолютная чувствительность* определяется формулой $S = \frac{\Delta I}{\Delta x}$, а *относительная* $S_0 = \frac{\Delta I}{\Delta x/x}$.

Изменение измеряемой величины, вызывающее наименьшее изменение показаний измерительного прибора, которое еще может быть обнаружено при нормальном для данного прибора способе отсчета, называется *порогом чувствительности* (реагирования) прибора.

Очень важной характеристикой средств измерения являются *пределы измерения*, т. е. наименьшее и наибольшее значения измеряемой величины, которые могут быть измерены данным прибором.

Область шкалы, ограниченная ее конечным и начальным значением, определяет *диапазон показаний прибора*, а та часть диапазона показаний, в которой установлены нормы на погрешности прибора, называется *диапазоном измерений*. Границами диапазона измерений являются соответственно нижний и верхний пределы измерений.

Во многих приборах диапазоны показаний и измерений совпадают. Но часто точность измерения малых значений величин настолько снижается, что в качестве нижнего предела измерения приходится принимать не нуль, а некоторое значение (20—30%) от верхнего предела, т. е. нормировать погрешность не во всем диапазоне.

Основными метрологическими параметрами приборов являются их характеристики точности, или погрешности. *Погрешности измерительных средств* характеризуются отклонениями номинальных значений мер и показаний измерительных приборов от истинных значений, воспроизводимых или измеряемых ими величин. Стандартами и техническими условиями на отдельные виды средств измерений устанавливаются нормы на значения их основных и дополнительных погрешностей.

Основная погрешность определяется при нормальных условиях применения средств измерения, т. е. при нормальных, или нормированных, значениях влияющих величин (температуры, влажности, частоты и напряжения питания и др.). Согласно ГОСТ 13600—68 основная погрешность нормируется путем задания ее допускаемых пределов и выражается в виде абсолютных, приведенных или относительных погрешностей.

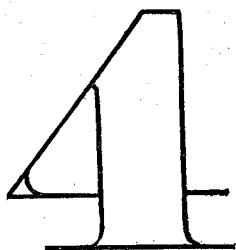
В нормируемую основную погрешность входят систематические и случайные погрешности. В некоторых случаях пределы систематических и случайных погрешностей устанавливаются раздельно.

Дополнительные погрешности возникают при отклонении влияющих величин от нормальных и обычно выражаются в абсолютных величинах, процентах от номинального значения или в долях основной погрешности.

Степень непостоянства, или *воспроизводимость*, показаний измерительных приборов во многих случаях характеризуется вариацией показаний. *Вариация показаний* определяется как наибольшая разность между повторными показаниями измерительного прибора, соответствующими одному и тому же действительному значению измеряемой величины при неизменных внешних условиях.

Во многих случаях для оценки точности измерительных приборов определяется также *погрешность обратного хода*. Эта погрешность возникает из-за зазоров и трения в сочленениях подвижных деталей механизмов прибора или вследствие гистерезисных явлений в чувствительных элементах и проявляется в несовпадении статических характеристик прибора при увеличении и уменьшении измеряемой величины.

Для полной оценки свойств прибора часто необходимо знать также его *динамические погрешности*, которые зависят от таких параметров как постоянная времени прибора, его быстродействие и полоса пропускания частот.



ПОВЕРКА ТЕРМОМЕТРОВ И ТЕРМОГРАФОВ

4.1. Поверочная схема

Поверочная схема для средств измерения температуры, применяемых в гидрометслужбе (рис. 4), устанавливает порядок поверки жидкостных и деформационных термометров, медных термометров сопротивления и платиновых термометров сопротивления повышенной точности. В ней указаны пределы измерения, средние квадратические погрешности образцовых приборов и предельные допустимые погрешности рабочих средств измерения.

Исходным образцовым средством измерения служит платиновый термометр сопротивления I разряда [29], который поверяется во Всесоюзном научно-исследовательском институте метрологии им. Д. И. Менделеева по реперным точкам: кипения кислорода $-182,97^{\circ}\text{C}$, тройной точки воды $+0,01^{\circ}\text{C}$ и кипения воды 100°C . Средняя квадратическая погрешность поверки S в этих точках соответственно не превышает 0,02, 0,003 и $0,005^{\circ}\text{C}$, что обеспечивает передачу размера единицы температуры образцовым средствам измерения II разряда с высокой точностью. Образцовый термометр I разряда хранится в отделе метрологии ГГО.

В качестве образцовых термометров II разряда применяются платиновые термометры аналогичной конструкции. Эти термометры поверяются в точке плавления льда (0°C) и кипения воды (100°C) по инструкции Госстандарта СССР. Точность воспроизведения температуры в указанных точках контролируется платиновым термометром I разряда. Средняя квадратическая погрешность поверки в точке 0° не превышает $0,01^{\circ}\text{C}$ (на схеме указана предельная погрешность $\Delta=3S$). Образцовые платиновые термометры II разряда используются для поверки преобразователей температуры автоматических метеорологических станций и других приборов. Поверка производится методом сличения в жидкостных термостатах или в постоянных точках 0 и 100°C . В качестве образцовых средств измерения III разряда применяются образцовые ртутные и спиртовые термометры.

Образцовые спиртовые термометры сличаются с платиновым термометром II разряда. Средняя квадратическая погрешность поверки их не превышает $0,025^{\circ}\text{C}$. Образцовые спиртовые термометры служат для поверки рабочих спиртовых термометров и других приборов. Образцовые ртутные термометры III разряда

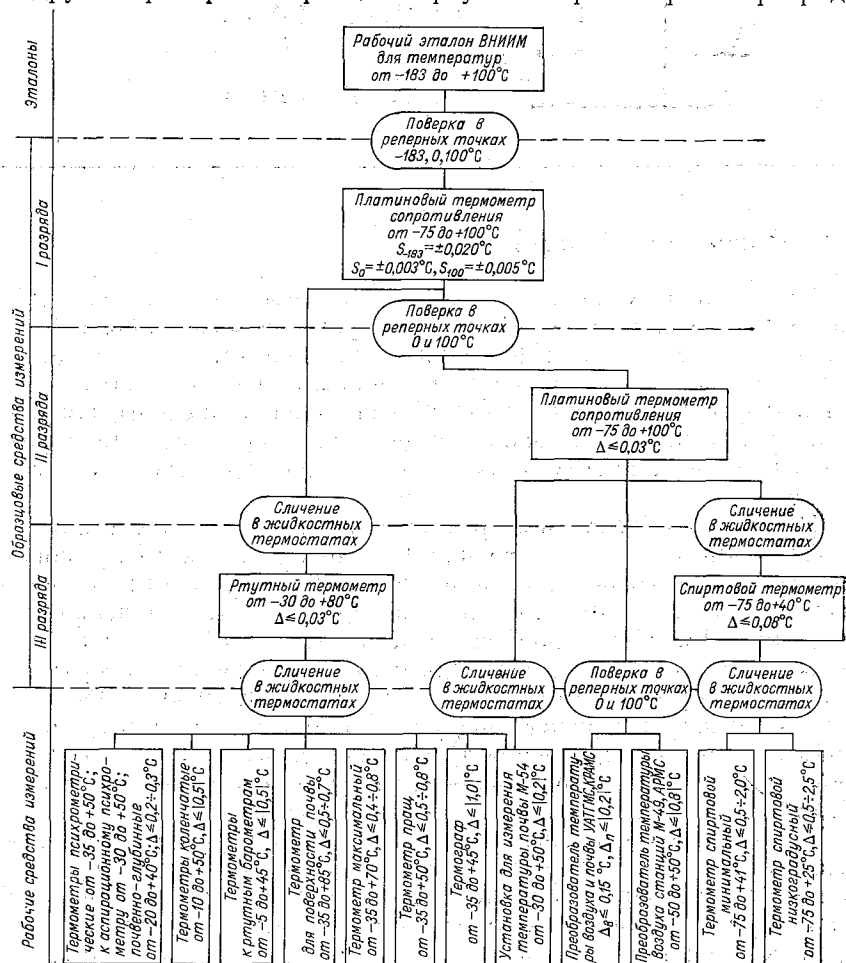


Рис. 4. Поверочная схема для средств измерения температуры.

служат для поверки рабочих ртутных термометров всех типов. Эти термометры сличаются в жидкостных термостатах с образцовым платиновым термометром I разряда. Предел допускаемой погрешности для них составляет $\Delta = \pm 0,03^{\circ}\text{C}$. Пределы допускаемых погрешностей рабочих средств измерений, указанные в поверочной схеме, устанавливаются техническими условиями на приборы.

4.2. Образцовые приборы и поверочное оборудование

Для воспроизведения и передачи Международной практической температурной шкалы (МПТШ) в интервале от $-182,97$ до $+630^{\circ}\text{C}$ служит *эталонный платиновый термометр*. Конструкция термометра и предъявляемые к нему требования описаны в [29].

Чувствительный элемент эталонного термометра 1 (рис. 5) состоит из кварцевого каркаса 2 геликоидальной формы, на котором укреплена спираль 3, изготовленная из платиновой проволоки диаметром 0,1 мм. Термосопротивление имеет четыре вывода (по два от каждого конца платиновой спирали). Одна пара выводов токовая, вторая потенциальная, служащая для измере-

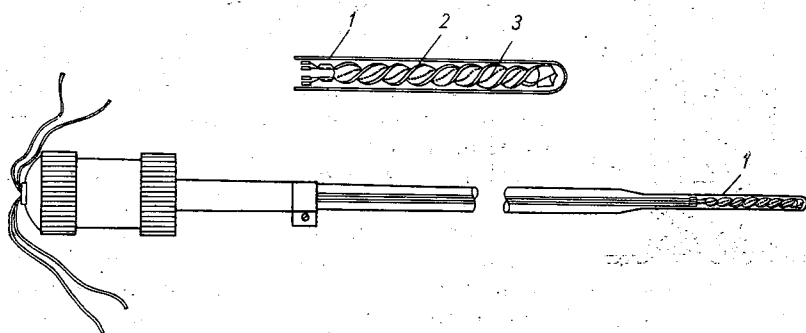


Рис. 5. Образцовый платиновый термометр.

ния только сопротивления элемента без сопротивления подводящих проводов. Чувствительный элемент термометра помещен в герметичную кварцевую оболочку, заполненную гелием с 10% кислорода. Аналогичную конструкцию имеют и *образцовые платиновые термометры*.

Эталонные и образцовые термометры изготавливаются из чистой платины с $R_0=10$ Ом для температур выше 0°C или 100 Ом (а также 50 Ом) для температур менее 0°C и с $R_{100}/R_0=1,3920\div 1,3925$.

Стабильность термометра определяется постоянством R_0 , которое не должно изменяться на величину, соответствующую $0,001^{\circ}\text{C}$ у эталонных и $\pm (2\div 6) \cdot 10^{-5} R_0$ у образцовых приборов за время между двумя ежегодными поверками.

Эталонный термометр градуируют в постоянных точках МПТШ, и при его помощи контролируют температуру постоянных точек, используемых для градуировки образцовых платиновых термометров I разряда.

При поверке и градуировке рабочих термометров используют точки кипения кислорода, точки таяния льда и точки кипения воды.

Для воспроизведения точки кипения жидкого кислорода служит кислородная ванна (рис. 6). Ванна состоит из цилиндрического вакуумного сосуда 1, заполненного жидким техническим кислородом. Градуируемые термометры устанавливаются в каналах медного блока 2, позволяющего уравнивать температуры образцового и поверяемых термометров. На дно сосуда помещается нагреватель 3 на 10—20 Вт, с помощью которого поддерживается постоянное кипение кислорода, необходимое для получения стабильной температуры. Температура кипения кислорода зависит от изменения атмосферного давления и чистоты кислорода. Поэтому при градуировке температуру в кислородной ванне измеряют образцовым платиновым термометром.

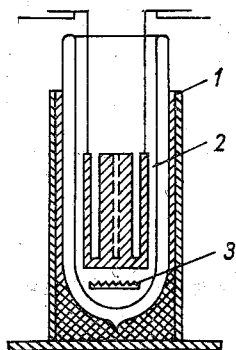


Рис. 6. Кислородная ванна.

Точка таяния льда 0°C наиболее часто используется при градуировке и проверке метеорологических термометров всех типов. По этой точке поверяются также и образцовые ртутные и платиновые термометры I и II разрядов.

При воспроизведении температуры таяния льда важное значение имеет чистота льда: растворимые примеси вызывают понижение температуры таяния льда. Чистоту воды, взятой для изготовления льда, можно контролировать по ее электропроводности, которая не должна превышать $10 \times 10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ при 20°C для образцовых термометров и $1 \times 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ для технических термометров.

При проверке метеорологических термометров используют речной лед, лед, приготовленный из водопроводной воды, или чистый снег. При этом температуру точки таяния льда контролируют по образцовому термометру. Для градуировки образцовых термометров необходимо брать лед, приготовленный из чистой дистиллированной воды. Для нулевой ванны используется чистый сосуд с теплоизолированными стенками, предохраняющими лед от быстрого таяния, или сосуд Дьюара. При подготовке нулевой ванны сосуд заполняется мелко дробленным или наструганным льдом. Лед заливают водой так, чтобы уровень воды был ниже уровня льда на 1—2 см. Недостаточное количество воды ухудшает теплообмен между льдом и поверяемым термометром за счет воздушных прослоек. При избыточном количестве воды лед будет всплывать, при этом нижний слой может иметь температуру выше 0°C . При соблюдении всех условий точка таяния льда воспроизводится с точностью до $0,01^{\circ}\text{C}$.

Градуировка эталонных термометров осуществляется при температуре равновесия трех фаз воды — твердой, жидкой и газообразной (тройной точке воды $+0,01^{\circ}\text{C}$), — воспроизводимой с точностью до $0,0001^{\circ}\text{C}$. Для получения тройной точки исполь-

зуется специальная стеклянная ампула 1, помещенная в сосуд с тающим льдом 2 (рис. 7). В герметически запаянном и откачанном до 5 мм рт. ст. объеме ампулы 1 находится чистая дистиллированная вода, окружающая пробирку 3, в которую вставляется поверяемый термометр. Тройную точку воды осуществляют следующим образом: ампулу охлаждают в тающем льде до 0°C , затем в пробирку 3 засыпают размельченную твердую углекислоту и намораживают вокруг нее слой льда 4, толщиной 15—20 мм. После этого сухой лед из пробирки удаляют и наливают туда воду комнатной температуры, чтобы между стенкой пробирки и льдом образовался тонкий слой воды. В наличии водяного зазора убеждаются, повернув сосуд так, чтобы ледяная рубашка свободно вращалась. Если после этого поместить пробирку в сосуд с тающим льдом, то окружающая пробирку вода, а следовательно, и термометр будет поддерживать при температуре равновесия трех фаз ($+0,01^{\circ}\text{C}$).

Точка кипения воды воспроизводится с помощью парового термостата (рис. 8). Паровой термостат состоит из теплоизолированного цилиндрического резервуара 7, в нижнюю часть которого наливается вода, доводимая до кипения электронагревателем 4. Для получения равномерного температурного поля в рабочем объеме термостата установлен экранирующий цилиндр 6. Пары воды проходят между стенками резервуара и экранирующего цилиндра и попадают в рабочее пространство, куда через отверстия в крышке 1 погружают поверяемые термометры. Из нижней части экранирующего цилиндра пары попадают в трубку 3 холодильника 2, сообщаемую с атмосферой. Вода, сконденсировавшаяся в холодильнике из паров, стекает обратно в нижний резервуар, уровень воды в резервуаре контролируется по водомерной трубке 5. Избыточное давление водяного пара измеряется водяным манометром 8. Температура пара кипящей воды существенно зависит от атмосферного давления. При изменении давления на 1 мм рт. ст. температура кипения воды изменяется приблизительно на $0,037^{\circ}\text{C}$. Влияние атмосферного давления учитывается путем измерения давления ртутным барометром и внесения соответствующей поправки в измерения или путем измерения температуры кипения пара воды образцовым термометром. Комплект аппаратуры для поверки термометров сопротивления и термопар (рис. 9) состоит из образцового термометра 1, парового термостата 5, нуль-термостата 4, измерительного поста Р-348 2 и пульта 3.

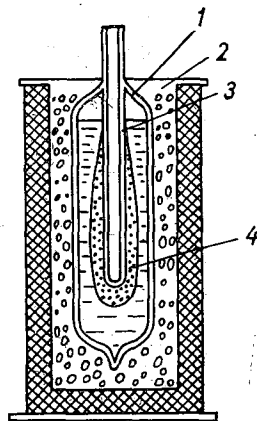


Рис. 7. Воспроизведение тройной точки воды.

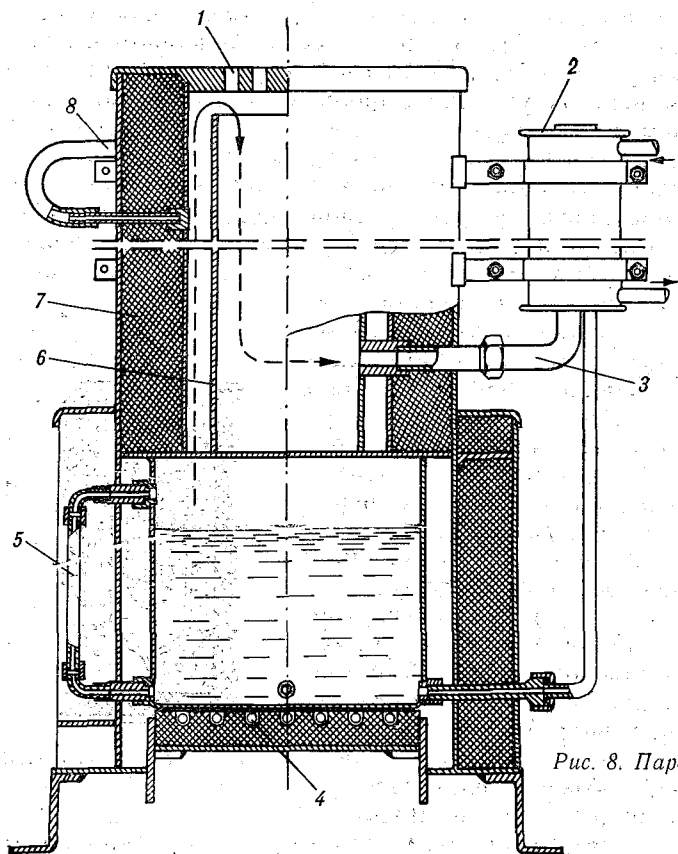


Рис. 8. Паровой термостат.

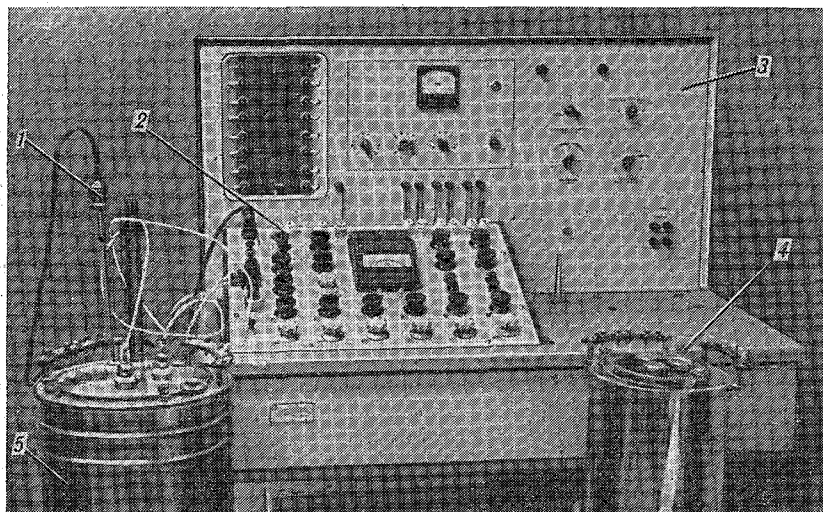


Рис. 9. Установка УТТ-5.

Кроме описанных устройств, для воспроизведения постоянных точек шкалы в практике поверки применяются также *жидкостные термостаты и криостаты*, в которых градуировка и поверка термометров может осуществляться в любой точке диапазона измерений путем сличения их показаний с образцовыми термометрами.

Устройство типового термокриостата для диапазона температур $\pm 60^\circ\text{C}$ показано на рис. 10. Рабочая жидкость находится в медном цилиндрическом резервуаре 5, окруженном теплоизоляцией 6 и кожухом 2. Внутри резервуара симметрично вертикальной оси установлен циркуляционный цилиндр 4, имеющий открытые окна, и пропеллерная мешалка 9. Цилиндр и мешалка обеспечивают вертикальную циркуляцию жидкости. Направление движения жидкости показано стрелками. Нагревательный элемент 8 расположен симметрично по центру рабочего объема и своими концами выведен через дно к соединительным клеммам. Охлаждение жидкости осуществляется твердой углекислотой, которая закладывается в кольцевой цилиндрический объем 3 в верхней части термокриостата.

Крепление поверяемых и образцового термометров осуществляется в крышке 1 на специальных пазах, снабженных разрезными теплоизоляционными втулками. Отливная трубка 10 автоматически поддерживает постоянный уровень жидкости в термостате, а по сливной трубке 7 с краном вся жидкость выливается из него. В качестве рабочей жидкости обычно используется вода, этиловый спирт, а также силиконовые масла, имеющие незначительную зависимость вязкости от температуры. При большой вязкости жидкость плохо перемешивается, что способствует неравномерному распределению температуры в рабочем объеме.

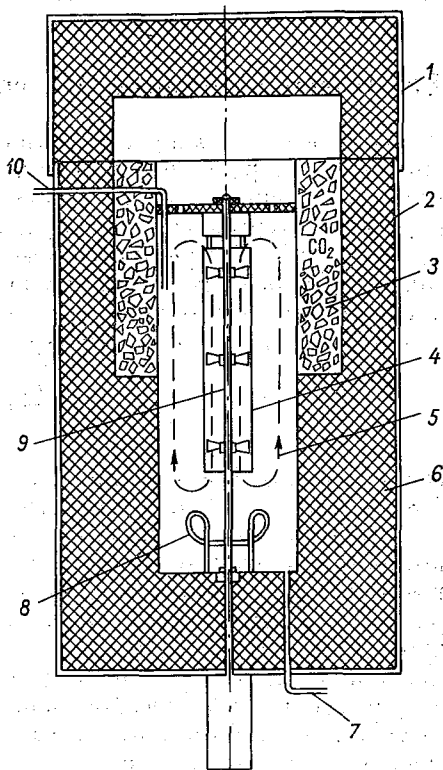


Рис. 10. Термокриостат.

Для работы в области отрицательных температур в термокриостат заливается спирт и закладывается твердая углекислота. После выдержки в течение нескольких часов достигается самая низкая точка диапазона градуировки. Промежуточные точки получают, регулируя напряжение, подаваемое на клеммы электронного нагревателя, через автотрансформатор или с помощью автоматического регулятора температуры.

Погрешность поддержания температуры в любой точке рабочего объема в описанном термокриостате не превышает $0,1^{\circ}\text{C}$.

4.3. Поверка термометров сопротивления

Основные характеристики. В метеорологических приборах широко применяются платиновые и медные термометры сопротивления. Они состоят из чувствительного элемента — термосопротивления, измерительной схемы и отсчетного устройства. Чувствительные элементы термометров сопротивления характеризуются величиной температурного коэффициента α , который определяется как относительное изменение их сопротивления при изменении температуры на 1°C по формуле:

$$\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 t}, \quad (14)$$

где α — в град^{-1} , R_t — сопротивление при некоторой температуре t , R_0 — сопротивление термометра при $t=0^{\circ}\text{C}$.

Чувствительный элемент выполняется из тонкой проволоки, которая закрепляется на изоляционном каркасе и помещается в металлическую защитную оболочку. Для подсоединения к измерительной схеме имеются специальные выводы. С целью уменьшения инерционности и исключения механических деформаций проволоки часто применяется бескаркасная намотка (в виде свернутого пучка). Особое внимание уделяется герметизации чувствительного элемента и выводов. Учитывая, что всякие примеси уменьшают температурный коэффициент, для точных термометров берут только химически чистый материал, который не изменяет своих физических свойств и не окисляется при взаимодействии с окружающей средой. Материал чувствительного элемента должен быть обработан так, чтобы его свойства значительно не изменялись со временем.

Платиновые термометры могут применяться в диапазоне температур от -200 до 630°C . Температурный коэффициент сопротивления платины примерно равен $0,0044 \text{ град}^{-1}$, что соответствует увеличению сопротивления при повышении температуры на каждый градус приблизительно на $0,4\%$ от R_0 .

Зависимость сопротивления платинового термометра от температуры выражается формулами:

для диапазона температур от 0 до 630,5° С

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2); \quad (15)$$

для диапазона температур от 0 до —182,97° С

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3], \quad (16)$$

где A , B и C — постоянные коэффициенты, значения которых определяются при градуировке в реперных точках.

Медные термометры сопротивления применяются в дистанционных метеорологических станциях, почвенных термометрах и в других приборах. Они могут работать в диапазоне температур от —50 до 180° С. В этом диапазоне сопротивление меди находится в линейной зависимости от температуры и определяется выражением

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t). \quad (17)$$

Поскольку медь легко окисляется при нагревании, медные термометры сопротивления могут работать только при невысокой температуре. Температурный коэффициент у медных термометров довольно велик: $\alpha = 0,0043 \div 0,0044$ град⁻¹.

В метеорологических измерениях используются также полупроводниковые термосопротивления (термисторы) типа МТ-54, ММТ и др. Достоинством их является большой температурный коэффициент, достигающий до 3—5% на один градус, и высокая чувствительность. Зависимость сопротивления термистора от температуры выражается формулой

$$R_t = A t^b e^{\frac{B}{T}}, \quad (18)$$

где R_t — сопротивление при температуре T ° К; A , B и b — постоянные коэффициенты, зависящие от свойств материала термистора, его конструкции и размеров (эти параметры указываются в паспорте термистора), e — основание натуральных логарифмов.

В узких интервалах температур (не более 25° С) можно пользоваться более простой формулой

$$R_t = A e^{\frac{B}{T}}.$$

Одним из существенных недостатков полупроводниковых термометров сопротивления является невысокая стабильность и воспроизводимость градуировочной характеристики. Поэтому такие термометры даже одного и того же типа имеют индивидуальные градуировки и не взаимозаменяемы.

Основные метрологические характеристики термометров сопротивления — чувствительность, стабильность показаний и постоянная времени. В случае необходимости иметь чувствительные элементы малых размеров применяют низкоомные

термометры. Однако они требуют сложных измерительных схем и применяются только для специальных измерений.

Повышение сопротивления чувствительного элемента приводит к увеличению его размеров и инерционности, но дает возможность применять более простые измерительные устройства и повысить дистанционность измерений, так как при этом легче учитывать влияние сопротивления подводящих проводов.

Образцовые платиновые термометры сопротивления изготавливаются с $R_0=10$ Ом, технические платиновые термометры — с $R_0=46$ или 100 Ом, датчики температуры ДМС — с $R_0=100$ Ом и датчики УАТГМС и КРАМС — с $R_0=500$ Ом.

Стабильность чувствительных элементов термометров сопротивления определяется постоянством сопротивления R_0 и зависит от чистоты материала и конструкции.

Для метеорологических термометров сопротивления чистота платины должна быть такой, чтобы отношение R_{100}/R_0 было не меньше 1,391; а стабильность $\Delta R_0/R_0$ не хуже 0,05%. В соответствии с ГОСТ 6651—59 технические платиновые термометры сопротивления первого класса имеют $R_{100}/R_0=1,391 \pm 0,0007$ и $(\Delta R_0/R_0) = \pm 0,05\%$; медные термометры второго класса $1,426 \pm 0,001$ и 0,1% соответственно.

Для образцовых платиновых термометров используется платина с $(R_{100}/R_0) \geq 1,392$.

Тепловая инерционность термометров сопротивления определяется величиной коэффициента тепловой инерции λ , который может быть найден из выражения, описывающего поведение термометра в окружающей среде:

$$\frac{dt}{t-t'} = - \frac{d\tau}{c/sk} = - \frac{d\tau}{\lambda}, \quad (19)$$

где t — температура термометра, t' — температура среды, τ — время выдержки термометра, c — теплоемкость чувствительного элемента, s — площадь его соприкосновения со средой, k — коэффициент теплоотдачи.

При проверке чувствительные элементы термометров сопротивления обычно погружаются в среду с $t' = \text{const}$. В этом случае после интегрирования уравнения по времени от 0 до τ и по температуре от t_0 до t получим

$$\ln \frac{t-t'}{t_0-t'} = - \frac{\tau}{\lambda}. \quad (20)$$

Из выражения (20) может быть рассчитано минимально необходимое время выдержки термометра $\tau_{\min}$ или его коэффициент инерции λ . При выборе времени выдержки термометра в среде при поверке следует исходить из того, чтобы в момент отсчета разность температур термометра и среды не превышала заданной погрешности измерений. Чем меньше погрешность измерений, тем больше должно быть время выдержки термометра.

Обычно оно берется с некоторым запасом, однако чрезмерное увеличение может привести к нежелательному снижению производительности поверки в условиях массового производства.

Очень важной эксплуатационной характеристикой термометров сопротивления является взаимозаменяемость их чувствительных элементов. Основное условие взаимозаменяемости — равенство сопротивлений всех чувствительных элементов данного типа в каждой точке градуировки в пределах установленных допусков. Взаимозаменяемость стандартных технических термометров сопротивления достигается при помощи стандартной градуировки, когда все чувствительные элементы одной градуировки имеют одинаковое сопротивление R_0 при 0°C и одинаковое значение температурного коэффициента сопротивления α или R_{100}/R_0 . Отклонения величины R_0 и R_{100}/R_0 любого термометра от стандартных значений не должны превышать допустимых (ГОСТ 6651—59). Преимущество стандартных градуировок состоит в том, что они позволяют наносить без предварительных вычислений стандартные температурные шкалы на электроизмерительные приборы, в комплекте с которыми работают термометры сопротивления, обеспечивая взаимозаменяемость как самих чувствительных элементов, так и измерительных приборов к ним. Однако невысокая точность стандартных термосопротивлений не всегда позволяет их использовать в метеорологических устройствах. Здесь чаще применяются специальные термосопротивления с индивидуальной градуировкой.

Схемы включения. Определение сопротивления чувствительных элементов при поверке осуществляется с помощью компенсационных и мостовых измерительных схем. Компенсационный метод обычно применяют для измерения низкоомных термосопротивлений (эталонных и образцовых термометров), которые имеют $R_0 \approx 10$ Ом. Сущность метода (рис. 11) состоит в том, что потенциометром измеряют падение напряжения на термосопротивлении R_t и на образцовой катушке R_k , которые включаются последовательно в цепь постоянного тока с источником питания.

При этом $U_t = R_t I$, $U_k = R_k I$. Так как $I = \frac{U_t}{R_t} = \frac{U_k}{R_k}$, то

$$R_t = R_k \frac{U_t}{U_k}.$$

Чтобы исключить перегрев чувствительного элемента термометра, рабочий ток в измерительной цепи ограничивают определенной величиной и контролируют миллиамперметром. Обычно его величина не превышает 2 мА, поэтому значения U_t и U_k не выше нескольких десятков милливольт. Для измерения этих величин применяют низкоомные потенциометры типа Р330 класса точности 0,01—0,02, Р308 и Р348 класса 0,002. Сопротивление образцовой катушки известно с погрешностью не хуже 0,001—0,002 %.

Для повышения точности измерения применяют катушки с сопротивлением того же порядка, что и сопротивление чувствительного элемента. При работе с образцовыми термосопротивлениями предусматривается переключатель для изменения направления тока в цепи потенциометра и термосопротивления, позволяющий исключить влияние паразитных термоэлектродвижущих сил, которые возникают в местах соединений разнородных металлов.

Преимуществом компенсационной схемы является отсутствие влияния подводящих проводов на результаты измерения.

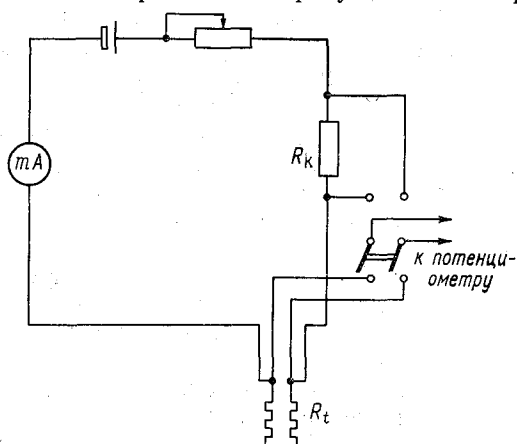


Рис. 11. Компенсационная схема измерения сопротивлений.

При проверке высокоомных термосопротивлений ($R > 10$ Ом) используются как компенсационные схемы, так и уравновешенные мостовые схемы. Уравновешивание в последних осуществляется либо изменением отношения сопротивлений смежных плеч R_2/R_1 (рис. 12) движком потенциометра в вершине диагонали, либо изменением сопротивления одного из плеч моста. Результат измерения в равновесной схеме не зависит от колебаний напряжения питания. Чтобы исключить или существенно уменьшить погрешность за счет влияния сопротивления соединительных проводов применяют трех- или четырехпроводную схему включения термосопротивлений. При трехпроводной схеме (рис. 13) одна из вершин моста переносится непосредственно к выводу термосопротивления. При этом сопротивления R_{ab} и R_{cd} , подбираемые равными, оказываются включенными в разные плечи моста и их влияние взаимно компенсируется. Однако полная компенсация достигается только при симметричном мосте, т. е. когда $R_1 = R_2$.

Четырехпроводная схема включения термосопротивления (рис. 14) в комплекте с симметричным мостом позволяет полно-

стью исключить влияние сопротивления подводящих проводов, независимо от того, равны или не равны между собой их сопротивления.

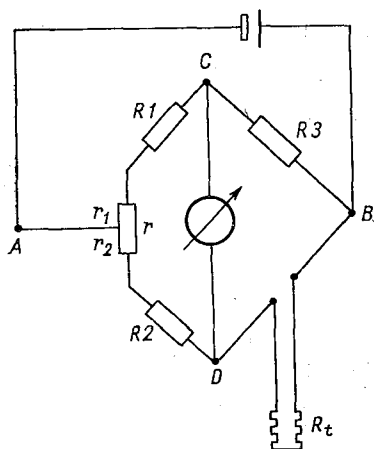


Рис. 12. Схема равновесного моста.

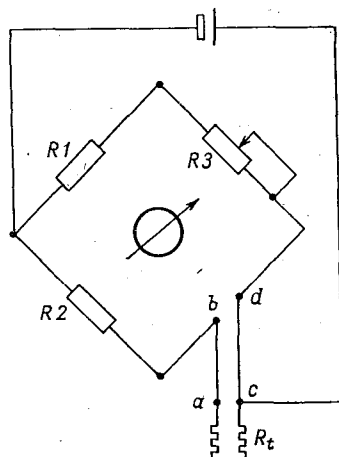


Рис. 13. Трехпроводная схема включения термометра сопротивления.

Как следует из схемы (рис. 14), если $R1=R2$ и контакты находятся в положении 1, при равновесии моста соблюдается равенство

$$R_t + R_{ab} = R_3 + R_{cd},$$

если контакты находятся в положении 2, имеем

$$R_t + R_{cd} = R_3 + R_{ab}.$$

Складывая оба равенства, получаем

$$R_t = (R_3 + R_3')/2,$$

при этом сопротивления участков проводов, идущих от мест разветвления до контактов 1 и 2, должны быть равны, т. е. $R_{b_1} = R_{b_2}$ и $R_{a_1} = R_{a_2}$.

Переключение с контактов 1 на контакты 2 дает возможность также менять направление тока в цепи схемы, чем исключается влияние на результаты измерений паразитных термоэлектродвижущих сил.

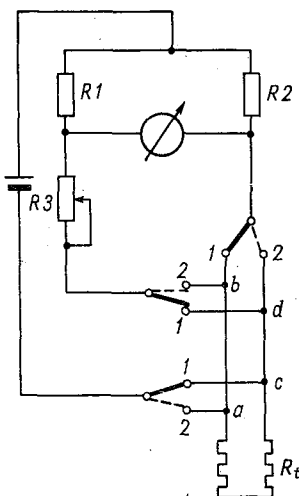


Рис. 14. Четырехпроводная схема включения термометра сопротивления.

Для измерений в практике поверки применяют одинарные и одинарно-двойные лабораторные равновесные мосты Р316, Р329, Р333, МОД61 и др.

Источники погрешностей. Погрешности измерений температуры термометрами сопротивления возникают из-за нестабильности и погрешности градуировки чувствительного элемента, неточности подгонки сопротивления соединительной линии и его изменения при колебании температуры окружающей среды, погрешности измерительного прибора и погрешности, связанной с условиями применения термометра (неблагоприятные условия теплообмена, перегрев чувствительного элемента измерительным током, инерционность).

Стабильность градуировки зависит от постоянства сопротивления чувствительного элемента R_0 . Допустимые отклонения сопротивления ΔR_0 от его номинального значения при 0°C для различных термометров между двумя ежегодными поверками составляют для образцовых платиновых термометров I и II рядов $\pm 2 \times 10^{-5} R_0$ и $\pm 6 \times 10^{-5} R_0$ соответственно, для ТСМ I класса $\pm 0,05\%$, для ТСМ II класса $\pm 0,1\%$.

Погрешности градуировки определяются точностью образцовых измерительных средств. Возможная погрешность подгонки сопротивления подводющих проводов не должна превышать $1/3$ допустимого значения основной погрешности прибора.

Основная погрешность измерительного прибора состоит из погрешности градуировки и вариации показаний, вызванной влиянием сил трения на перемещение указателя. *Дополнительные погрешности* прибора возникают при отклонении от нормальных условий работы (повышенная температура, влажность, изменение положения прибора, наличие внешних магнитных полей и т. п.).

Неблагоприятное влияние внешних условий на точность измерений приводит к нарушениям теплообмена между термометром и средой (плохой контакт, внешние излучения, утечки тепла по подводящим проводам). От условий теплообмена термометра в значительной мере зависит и перегрев чувствительного элемента. Допустимый перегрев термометров измерительным током регламентируется ГОСТ 6651—59.

Вследствие тепловой инерции чувствительного элемента показания термометра будут отличаться от действительной температуры среды при измерениях в нестационарном режиме. Возникающие при этом погрешности будут зависеть от характера изменения температуры среды и инерции самого термометра.

В условиях поверки точность измерения сопротивления в основном определяется погрешностью потенциометра или измерительного моста, а также погрешностью образцовых катушек и магазинов сопротивлений, из которых составляется измерительная схема. В отличие от рабочих измерительных средств, у которых допустимая погрешность имеет одно и то же значение

во всем диапазоне измерений, допустимые погрешности в этом случае зависят от показания потенциометра U или величины измеряемого сопротивления R .

Одним из возможных источников погрешностей при проверке термометров является отток тепла от чувствительного элемента при недостаточной глубине его погружения, а также теплообмен между чувствительным элементом и стенками поверочной установки за счет излучения.

Оценка возможной погрешности измерения за счет различных источников производится исходя из теории погрешностей. Согласно принятой методике [29], предельная погрешность термометра в комплекте рассчитывается как корень квадратный из суммы квадратов допустимых погрешностей отдельных его звеньев. Так же рассчитываются дополнительные погрешности, когда условия работы прибора отклоняются от нормальных.

Пример. Комплект термометра состоит из платинового термосопротивления группы 21 класса 2 и электронного моста класса 0,5 с допустимой погрешностью $\pm 2,5^\circ\text{C}$. Измеряемая температура $t = 400^\circ\text{C}$. Найти погрешность термометра.

Решение. Допустимая погрешность показаний термометра в точке 400°C в соответствии с ГОСТ 6651—59 равна $\pm 1,3^\circ\text{C}$, допустимая погрешность в подгонке сопротивления линии равна 0,1 Ом, что соответствует примерно $0,5^\circ\text{C}$. Отсюда, предельная погрешность комплекта

$$\Delta t = \pm \sqrt{2,5^2 + 1,3^2 + 0,5^2} \approx 3^\circ\text{C}.$$

Точность измерения можно повысить, применяя индивидуальную градуировку термометра и учитывая при измерениях отклонения этой градуировки от стандартной градуировочной таблицы с помощью поправок.

Вычисление температуры по сопротивлению образцового платинового термометра. При индивидуальной градуировке термометров значения температуры определяются интерполяционными формулами МПТШ:

для температуры от 0 до $-630,5^\circ\text{C}$

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2); \quad (21)$$

для температуры от 0 до $-182,97^\circ\text{C}$

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3]. \quad (22)$$

Для удобства расчетов t по R_t эти формулы представляются в виде:

$$t = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R_t}{R_0} - 1 \right) + \delta \left(\frac{t}{100} - 1 \right) \frac{t}{100};$$

$$t = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R_t}{R_0} - 1 \right) + \delta \left(\frac{t}{100} - 1 \right) \frac{t}{100} + \beta \left(\frac{t}{100} - 1 \right) \left(\frac{t}{100} \right)^3.$$

Константы α , δ и β связаны с коэффициентами A , B , C следующими соотношениями:

$$\alpha = A + 100B, \quad A = \alpha(1 + \delta \cdot 10^{-2});$$

$$\delta = -\frac{B \cdot 10^4}{A + 100B}, \quad B = -\alpha\delta \cdot 10^{-4};$$

$$\beta = -\frac{C \cdot 10^8}{A + 100B}, \quad C = -\alpha\beta \cdot 10^{-8}.$$

Значение температуры рассчитывают либо по измеренным значениям R_t , R_0 и константам α , δ и β , которые приводятся в паспорте на термометр, либо по значениям R_t или $W_t = \frac{R_t}{R_0}$, соответствующим температурам постоянных точек, используемых при градуировке термометра.

В зависимости от требуемой точности измерения применяют различные способы расчета.

Наиболее точный способ предполагает расчет вспомогательной величины платиновой температуры $t_{\text{п}}$ и использование специальных таблиц перехода от $t_{\text{п}}$ к температуре t . Платиновая температура вычисляется для средних значений констант платины $\delta = 1,500$ и $\beta = 0,110$ по выражению

$$t_{\text{п}} = \frac{R_t - R_0}{R_{100} - R_0} \cdot 100 = \frac{R_t - R_0}{\alpha R_0}. \quad (23)$$

В таблицах [22] приводятся поправочные множители для вычисления поправок на отклонение действительных постоянных термометра δ и β от принятых при расчете таблиц значений 1,500 и 0,110.

Искомую температуру t получают путем прибавления поправки к вычисленному значению $t_{\text{п}}$.

Погрешность расчета t по этому способу не превышает $\pm 0,003^\circ \text{C}$.

Другой способ расчета t по R_t предусматривает предварительное вычисление градуировочной таблицы для термометра по формулам МПТШ (21), (22). В таблице для отдельных температур (например 0, 10, 20 $^\circ \text{C}$ и т. д.) даются соответствующие значения R_0 , R_{10} , R_{20} и т. д. Любое значение промежуточной температуры находится линейной интерполяцией. Допускаемая при этом погрешность не превышает $\pm 0,004^\circ \text{C}$.

Если термометры градуировать только в двух постоянных точках t_1 , t_2 , то формулы МПТШ (21), (22) для расчетов могут быть представлены в более простом виде [2]:

$$W_t = \frac{t}{t_2} W_2 + k(t; t_2) \quad (24)$$

или

$$R_t = \frac{t}{t_2} R_2 + k(t; t_2) R_1, \quad (25)$$

где $W_t = \frac{R_t}{R_0}$; $W_2 = \frac{R_2}{R_1}$; R_1, R_2 — градуировочные значения сопротивления в точках t_1, t_2 ; $k(t; t_2)$ — коэффициент, зависящий от температуры и марки платины и определяемый по формулам: для $t > 0^\circ \text{C}$

$$k(t; t_2) = 1 - \frac{t}{t_2} [1 + B t_2 (t_2 - t)]; \quad (26)$$

для $t < 0^\circ \text{C}$

$$k(t; t_2) = 1 - \frac{t}{t_2} [1 + B t_2 (t_2 - t) + C (t - t_2) t^3]. \quad (27)$$

Как видно из формул (26), (27), коэффициент $k(t; t_2)$ не зависит от градуировочного значения W_2 и может быть легко вычислен, если известны величины t, A, B и C .

При градуировке в постоянных точках 0 и 100°C $R_0 = R_1, R_2 = R_{100}, t_2 = 100$.

В этом случае расчетная формула (25) примет вид

$$R_t = R_0 \left[\frac{R_{100}}{R_0} \frac{t}{100} + k(t) \right]$$

или

$$R_t = R_0 W \left(t, \frac{R_{100}}{R_0} \right), \quad (28)$$

где $W \left(t, \frac{R_{100}}{R_0} \right)$ — градуировочный параметр, который находится из таблиц (см. приложение 1) по данным $t, R_{100}/R_0$ и коэффициентов A, B, C термометра.

Таким образом, сопротивление термометра при любой температуре определяется простым умножением R_0 на градуировочный параметр, взятый из таблиц.

Погрешность измерения температуры Δt в этом случае будет определяться погрешностью градуировки термометра в постоянных точках Δt_1 и Δt_2 и может быть найдена по выражению

$$\Delta t = k(t; t_2) \Delta t_1 + \frac{t}{t_2} \Delta t_2. \quad (29)$$

Если принять, что термометры выполнены из платины марки ПЛ-2 и погрешности их градуировки в точках 0 и 100°C равны $\Delta t_1 = 0,01^\circ \text{C}$ и $\Delta t_2 = 0,02^\circ \text{C}$ соответственно, то максимально возможная погрешность измерения температуры таким термометром будет не более $0,030^\circ \text{C}$ при $t = -60^\circ \text{C}$ и $0,015^\circ \text{C}$ при $t = 50^\circ \text{C}$. В остальных случаях погрешность будет еще меньше. Точность измерения температуры будет тем выше, чем выше точность градуировки и чем ближе искомая температура к выбранным двум точкам. Рассмотренный метод градуировки можно применять для метеорологических платиновых термометров, допустимая

погрешность измерения которых составляет от 0,2 до 0,15°С и, следовательно, влияние погрешности градуировки будет незначительным.

Методика поверки термометров сопротивления. Поверка метеорологических термометров сопротивления производится при выпуске их из производства или ремонта и в процессе эксплуатации в установленные сроки. При поверке определяют соответствие термометров только основным требованиям технических условий или ГОСТа. Методика поверки термометров и оформление результатов указывается в инструкциях по поверке. Поверка начинается с внешнего осмотра, в процессе которого необходимо убедиться в исправности прибора. Если при внешнем осмотре будут обнаружены какие-либо дефекты, неисправности, а также несоответствие прибора или его отдельных элементов требованиям инструкции по поверке, то прибор бракуют и дальнейшей поверке не подвергают. После внешнего осмотра определяют правильность и точность показаний термометров. В ряде случаев эта операция сводится к градуировке термометра, в результате которой получают градуировочную таблицу зависимости R от t , или определяют численное значение коэффициентов интерполяционных формул. Применяют два метода поверки термометров сопротивления: 1) по постоянным точкам 0 и 100°С и 2) путем сравнения с показаниями образцового термометра во всем рабочем диапазоне в термостате или криостате [23].

Более распространена поверка термометров по двум точкам. Она сводится к измерению сопротивлений термометров R_0 и R_{100} и вычислению отношения R_{100}/R_0 , которое однозначно связано с температурным коэффициентом сопротивления термометра α :

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 \cdot 100} = 0,01 \left(\frac{R_{100}}{R_0} - 1 \right). \quad (30)$$

Отклонение вычисленных величин R_0 , R_{100}/R_0 (а значит и α) от их первоначальных значений характеризует сохранность градуировочной характеристики термосопротивления и не должно превышать величины, установленной техническими условиями, ГОСТом или поверочной инструкцией.

Для измерения R_0 термосопротивление погружают в нулевую ванну, а для измерения R_{100} — в паровой термостат. Глубина погружения и время выдержки термометра до начала измерения должны быть такими, чтобы обеспечивалось уравнивание температуры чувствительного элемента термометра с температурой 0 или 100°С. В стандартных поверочных устройствах термосопротивления погружаются не менее чем на 30 см, а время выдержки составляет не менее чем 20 мин. Сопротивление поверяемого термометра измеряется компенсационным методом либо двойным мостом.

4.4. Поверка ртутных и спиртовых термометров

Типы термометров и основные их характеристики. *Ртутные термометры* благодаря сравнительно высокой точности и простоте конструкции широко применяются на гидрометеорологических станциях при измерении температуры воздуха, почвы и воды. Для измерения низких отрицательных и минимальных температур используются также *спиртовые термометры*. Перечень метеорологических термометров и их основные метрологические характеристики указаны в табл. 3. В зависимости от назначения термометры различаются по конструкции, размерам и техническим характеристикам. Приемной частью этих термометров (рис. 15) служит стеклянный резервуар 2 с капиллярной трубкой 1, прикрепленной к шкальной пластине 3. Резервуар и часть капиллярной трубки заполнены ртутью (или спиртом) и вместе со шкальной пластиной помещены в стеклянную оболочку. У *ртутных термометров* пространство над ртутью заполнено инертным газом (азотом), у максимального термометра над ртутью вакуум. В спиртовых термометрах пространство в капилляре над спиртом заполнено воздухом под давлением, что препятствует испарению и дистилляции спирта в верхнюю часть капилляра. На лицевой стороне шкальной пластины нанесена шкала в градусах международной шкалы температур и указан заводской номер термометра. На оборотной стороне шкальной пластины указывается товарный знак завода-изготовителя, дата выпуска и номер ГОСТа.

Термометры максимальные, минимальные и пр. имеют следующие особенности. В дно резервуара *максимальных термометров* впаивается стеклянный штифт, входящий верхним концом в капиллярную трубку (рис. 16). Штифт препятствует спаданию ртутного столбика при понижении темпе-

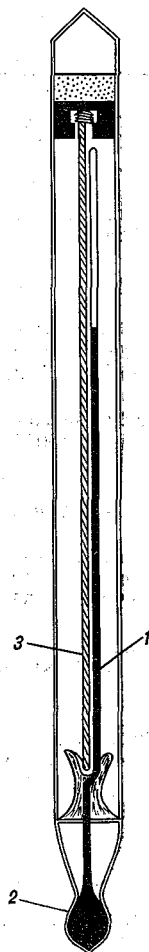


Рис. 15. Ртутный термометр.

ратуры и сохраняет максимальное показание термометра вследствие того, что в месте сужения между штифтом и капилляром силы трения о стенки превышают силы молекулярного сцепления ртути и ртутный столбик оказывается оторванным от массы ртути, заключенной в резервуаре. При встряхивании термометра ртутному столбику сообщается ускорение, при котором ртуть проталкивается в резервуар.

Характеристики метеорологических жидкостных термометров (°C)

Термометр	Пределы измерений		Цена деления	Допуски на абс. величины поправок	
	верхний	нижний		поправка	диапазон температуры
Максимальный ТМ-1, ГОСТ 630—69	70 50	—20 —35	0,5	$\leq \pm 0,4$ $\leq \pm 0,5$ $\leq \pm 0,8$	от —10 до +50 20, +60, +70 —30
Минимальный ТМ-2, ГОСТ 6085—51	21 31 31 41	—75 —61 —51 —41	0,5	$\pm 0,5$ $\pm 0,8$ $\pm 1,0$ $\pm 1,5$ $\pm 2,0$	от 40 до 20 —30 —40 —50 —60
Для измерения температу- ры поверхности поч- вы ТМ-3, ГОСТ 6079—69	85 70 60	—10 —25 —35	0,5	$\pm 0,5$ $\pm 0,7$	от —20 до 80 —20
Психрометрический ТМ-4, ГОСТ 15055—69	40 50	—35 —25	0,2	$\pm 0,2$ $\pm 0,3$	0—50 <0
Коленчатые (Савинова) ТМ-5, ГОСТ 112—51	50	—10	0,5	$\pm 0,5$	
К аспирационному пси- хрометру ТМ-6, ГОСТ 15055—69	50 50	—30 —25	0,2	$\pm 0,2$ $\pm 0,3$	0—50 <0
Пращ ТМ-8, ГОСТ 381—69	50 40	—30 —35	0,5	$\pm 0,5$ $\pm 0,6$ $\pm 0,8$	от —10 до 50 —10 " —20 —20 " —30
Низкоградусный (спир- товой) ТМ-9, ГОСТ 4497—52	25 25	—65 —75	0,5	$\pm 0,5$ $\pm 0,8$ $\pm 1,0$ $\pm 1,5$ $\pm 2,0$ $\pm 2,5$	" —20 " —20 " —20 " —30 " —30 " —40 " —40 " —50 " —50 " —60 " —60 " —70
Почвенно-глубинные ТМ-10, ГОСТ 6083—69	30 40	—20 —10	0,2	$\pm 0,2$ $\pm 0,3$	" 0 " +40 <0
К ртутным барометрам ТМ-11, ГОСТ 6082—69	45	—5	1,0	$\pm 0,5$	
Родниковые, ТМ-14, ГОСТ 59—51	65	—4	0,5	$\pm 0,5$	

В капиллярной трубке *минимальных термометров* находится стеклянный штифт, свободно перемещающийся внутри спирта вниз под действием ускорения свободного падения. В горизонтальном положении термометра штифт остается неподвижным при увеличении температуры, удерживаемый силами трения о стенки. При понижении температуры штифт перемещается в сторону резервуара, увлекаемый поверхностной пленкой спирта, и по его положению на шкале фиксируют минимальную температуру.

Термометр праиц представляет собой толстостенную капиллярную трубку с расширением внизу под резервуар. Шкала нанесена на внешней поверхности трубки. Со стороны противоположной шкалы вдоль трубки вставлена белая эмалевая полоска для обеспечения лучшей видимости ртутного столбика.

Мерой измеряемой температуры при пользовании жидкостными термометрами служит длина столбика жидкости, вытес-



Рис. 16. Резервуар максимального термометра.

ненной из резервуара при его нагревании вследствие изменения объема термометрической жидкости. Изменение объема в зависимости от температуры характеризуется *коэффициентом объемного (теплого) расширения жидкости* $\beta = (V_t - V_0)/V_0 t$, где V_t и V_0 — объемы, соответствующие температурам t и 0°C .

Поскольку в стеклянном жидкостном термометре при измерении температуры изменяется не только объем жидкости, но и объем стеклянного резервуара, то в термометре наблюдают лишь видимое изменение объема жидкости, или *видимый коэффициент расширения термометрической жидкости* в стекле β , равный разности коэффициентов расширения жидкости $\beta_{\text{ж}}$ и стекла $\beta_{\text{ст}}$, т. е. $\beta = \beta_{\text{ж}} - \beta_{\text{ст}}$.

Чувствительность и точность жидкостного термометра определяется длиной градусного интервала шкалы $l = L/(t_{\text{к}} - t_{\text{н}})$, где L — длина шкалы (капилляра) между нижним $t_{\text{н}}$ и верхним $t_{\text{к}}$ пределами измерений термометра.

Если объем термометрической жидкости при 0°C составляет V_0 и поперечное сечение канала капилляра равно S , то приращение объема жидкости при нагревании от $t_{\text{н}}$ до $t_{\text{к}}$, вытесняемое в измерительный капилляр, будет равно $V_0 \beta (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) = LS$.

Из приведенных формул следует, что $l = V_0 \beta / S$.

Таким образом, чувствительность, а следовательно, и точность жидкостных термометров пропорциональна объему термометрической жидкости, видимому коэффициенту расширения β , и обратно пропорциональна поперечному сечению канала капилляра S . При фиксированной длине шкалы L необходимое увеличение чувствительности может быть достигнуто лишь при соответствующем уменьшении диапазона шкалы термометра $t_n \div t_n$. Наиболее точные и высокочувствительные стеклянные ртутные термометры (образцовые) изготавливаются с ценой деления $0,01—0,02^\circ\text{C}$ и диапазоном шкалы от $4—5$ до $8—10^\circ\text{C}$.

Источники погрешностей. К основным источникам погрешностей измерения температуры жидкостными термометрами относятся: погрешности градуировки шкалы, вносимые при изготовлении термометров (неточности в нанесении отметок шкалы, неравномерность сечения канала капилляра по всей длине, нелинейная зависимость объемов термометрической жидкости и резервуара от температуры);

термические последствия в стекле, вызывающие изменения объема резервуара и смещение основных точек термометра (вековое повышение или временное понижение точек — депрессия);

погрешность на выступающий столбик термометрической жидкости $\Delta t = \beta n (t - t_1)$, пропорциональная величине выступающего столбика n , разности между измеряемой температурой t и средней температурой выступающего столбика t_1 , которая определяется по вспомогательному термометру. Указанная погрешность возникает у термометров, градуированных при полном погружении, если по условиям измерений они не могут быть полностью погружены в измеряемую среду;

задержка движения ртутного столбика, зависящая от сил трения между ртутью и капилляром. Чтобы исключить неравномерность движения столбика, перед отсчетами показаний термометр слегка постукивают;

дефекты термометра: разрывы столбика жидкости, смещение шкалы, возгонка термометрической жидкости, наличие пузырьков газа в резервуаре;

погрешности, вносимые наблюдателем — погрешности отсчета показаний и определения поправок.

В ГОСТах установлены допустимые погрешности показаний термометров. С целью повышения точности измерений в показания метеорологических термометров вносят поправки, определяемые в результате поверки термометров в нескольких точках шкалы. Наблюдение за постоянством показаний термометров производится путем периодической поверки точки 0° .

Поверка термометров. При поверке термометров производят внешний осмотр, поверку точки 0° , поверку показаний при положительных и отрицательных температурах, обработку данных поверки и составляют поверочное свидетельство прибора [27].

Для получения поправок к термометрам с достаточной точностью необходимо соблюдать следующие правила:

перед определением поправок выдержать термометры не менее трех дней при температуре около 20°C для снятия депрессии;

спиртовые термометры за 5—7 дней до определения поправок установить в вертикальное положение и сохранять в этом положении во время поверки шкалы, чтобы спирт не растекался по стенкам капилляра;

чтобы обеспечить постоянство высоты мениска, отсчеты на всех поверяемых точках, кроме нулевой, вести при медленном повышении температуры жидкости в термостате;

отсчеты снимать по касательной к вершине мениска: при выпуклом мениске — к верхней точке, при вогнутом — к нижней точке;

при отсчетах глаза располагать так, чтобы штрихи шкалы, возле которых виден мениск жидкости, представлялись прямыми линиями без изгибов в средней части вверх или вниз;

отсчеты производить через лупу всегда одновременно двумя глазами с точностью до сотых долей градуса для термометров с ценой деления шкалы $0,2^{\circ}$, с точностью до $0,05^{\circ}$ для термометров с ценой деления шкалы $0,5^{\circ}$ и с точностью до $0,1^{\circ}$ для термометров с ценой деления шкалы 1° .

Внешний осмотр. При внешнем осмотре термометры должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1) резервуар, капилляр, шкальная пластина, седловина и оболочка должны быть без дефектов, мешающих отсчету (трещин, изломов и др.);

2) воздух внутри оболочки должен быть сухим, при изменении температуры в пределах шкалы термометра на стекле не должно наблюдаться следов влаги;

3) шкала термометра должна быть четкой, без размытых делений и цифр, а шкальная пластина надежно закреплена;

4) капиллярная трубка должна быть прямой и проходить по середине шкалы, прилегая к шкальной пластине на всем ее протяжении с зазором не более 1 мм;

5) столбик жидкости в капиллярной трубке не должен разрываться на несоединимые части; на стенках трубки не должно оставаться следов ртути.

Термометры максимальные, минимальные и спиртовые низкоградусные проверяются на работоспособность следующим образом.

После каждого встряхивания *максимальных термометров* штифт должен оставаться чистым, т. е. между штифтом и капилляром не должно быть капелек ртути или грязи. Над мениском ртути в капилляре термометра не должно быть воздуха или другого газа. При повороте термометра резервуаром вверх ртуть должна доходить до верхнего конца капилляра.

Необходимо убедиться в максимальной точности термометра, т. е. в том, что при понижении температуры его показания не меняются. Для этого поверяемые термометры встряхивают и подносят резервуаром к поверхности горячей воды (или погружают в теплую воду), чтобы ртуть медленно поднялась приблизительно до 30° . Затем термометр погружают резервуаром в снег под углом наклона его к горизонтальной плоскости около 30° . Если столбик ртути при этом не спадает, то термометр исправно работает как максимальный при данной температуре. Такую поверку максимальной точности производят последовательно при температурах около 30 , 50 и 70°C . При этих же температурах у термометра, находящегося в горизонтальном положении, при легком постукивании по нему столбик ртути не должен отходить от конца штифта.

Показания термометра в вертикальном и горизонтальном положении не должны отличаться между собой более чем на $0,1^{\circ}\text{C}$.

При встряхивании термометра ртутный столбик должен без особых усилий спадать до высоты, соответствующей температуре окружающего воздуха. Проверяется это попутно с поверкой максимальной точности.

При осмотре (с помощью лупы) максимального термометра на присутствие пузырьков воздуха в столбике ртути необходимо убедиться, что разрыв происходит между ртутью и штифтом, а не между ртутью и капелькой ее, прилипшей к штифту.

Для проверки работоспособности *минимального и спиртового* низкоградусного термометров необходимо убедиться в том, чтобы в столбике спирта не было воздушных пузырей (разрывов спирта), а в верхнем расширении капилляра — капелек спирта.

Термометр с пузырьками газа в жидкости не поверяется до тех пор, пока пузырьки не будут удалены.

В случае обнаружения спирта в расширении капиллярной трубки необходимо обмыть спиртом верхнюю часть капилляра и расширение. Для этого пользуются раскручивающим приспособлением. Термометры укрепляют вначале резервуарами к оси вращения и вращением добиваются, чтобы спирт заполнил верхнее расширение. Затем их поворачивают резервуарами в обратную сторону и вращением добиваются соединения столбика спирта и удаления из него воздушных пузырьков. После этого термометр должен быть выдержан в вертикальном положении; затем необходимо убедиться в «минимальности» термометра, т. е. в том, что стеклянный штифт увлекается поверхностной пленкой спирта при понижении температуры и остается на месте при повышении температуры. Для этого термометр при температуре около 20°C поворачивают резервуаром вверх и наблюдают падение штифта под влиянием собственного веса. Если штифт, падая, задевает за капилляр, отмечают, у какого деления это происходит, и термометр бракуют. Когда штифт дойдет

до поверхности спирта, термометр кладут горизонтально в кюветку с твердой уголекислотой резервуаром в уголекислоту. Если спирт при опускании увлечет за собой штифт, то минимальность термометра можно считать обеспеченной. Поверку на минимальность повторяют три раза.

Поверка точки 0°. Определение поправок термометров начинают с поверки точки 0°. При этом рабочий журнал для записи заготавливают сразу для поверки по всей шкале (см. табл. 4).

Таблица 4

Запись результатов поверки термометров с ценой деления шкалы 0,2°

	Образцовый 335	943209A 984	943210A 1116	943211A 1177	943212A 1233
	—10.20	—0.15 —05	17 —0.03	18 —0.02	33 +0.13
	—10.12	06 —06	08 —04	08 —04	22 +10
	—10.00	00 00	00 00	99 —01	14 +14
	—9.88	90 +02	90 +02	90 +02	02 +14
	—9.80	79 —01	78 —02	81 +01	92 +12
Средняя разность		—0.02	—0.01	—0.01	+0.13
Поправка образцового	+0.01				
Поправки термометров		—0.01	0.00	0.00	+0.14
Отсчеты в точке 0° С		+0.01 +0.01	0.00 0.00	—0.01 0.00	0.00 0.00
Поправки термометров в точке 0° С (средний отсчет с обратным знаком)		—0.01	0.00	0.00	0,00

Спиртовые термометры на точке 0° поверяют два раза: в начале и в конце поверки.

Поверка точки 0° производится в тающем снегу или мелко настиганном льду с добавлением дистиллированной воды.

Снег помещают в металлический сосуд, уплотняя его деревянной лопаткой и обильно смачивая водой. Кран сосуда во время поверки термометров должен быть открыт. Над верхним краем сосуда делают горку из снега примерно на 10 см выше края. Сосуд ставят на такой высоте, чтобы точка 0° у поставленных на поверку термометров находилась на уровне глаз поверителя. Если качество снега вызывает сомнение, его следует проверить, измеряя температуру таяния образцовым термометром.

Перед установкой в снег термометры тщательно моют, но без мыла. Особенно хорошо должен быть вымыт резервуар.

Термометры вставляют в снег в вертикальном положении так, чтобы они образовали ряд на расстоянии 2—4 см от края сосуда. Точка 0° у термометра должна находиться при этом у самой поверхности снега. Если какой-либо термометр опустится слишком глубоко в снег, его вынимают и переставляют в другое место. Не рекомендуется просто подтягивать термометр, так как при этом между снегом и резервуаром термометра остается воздух. Когда все термометры будут вставлены в снег, их плотно обкладывают со всех сторон снегом до деления шкалы $+10^{\circ}$ и выдерживают с момента установки последнего термометра: ртутные 10—15 мин, а спиртовые 30 мин. Выдержав термометры в снегу не менее положенного времени, приступают к отсчетам. Для этого с лицевой стороны их очищают от снега лишь настолько, чтобы удобно было отсчитать точку 0° , приставив лупу небольшого диаметра.

Термометры очищают от снега партиями в 5—10 штук в зависимости от опытности поверителя. Отсчеты каждой партии производят два поверителя. Форма записи приведена в табл. 4.

При проверке точки 0° у максимальных термометров необходимо перед установкой в снег охладить их ниже 0° и стряхнуть.

Проверка при положительных и отрицательных температурах. Сравнение поверяемых термометров с образцовым производится на оцифрованных делениях, кратных 10° в жидкостных термостатах.

Перед началом проверки в термостате по образцовому термометру устанавливают температуру примерно на $0,5$ — 1° ниже той, при которой предполагается поверять термометры. После этого в термостат устанавливают поверяемые термометры, выравнивают их так, чтобы штрих на шкале, около которого будет производиться отсчет, находился у всех термометров на одном уровне и на уровне середины лупы, укрепленной перед смотровым окном термостата.

Количество жидкости в термостате должно быть таково, чтобы весь столбик жидкости в капиллярах термометров находился ниже уровня жидкости в термостате.

Отсчеты показаний ртутных термометров производят не ранее чем через 5 мин после установления требуемой температуры, спиртовые термометры при температуре -10 и -20°C выдерживают 15 мин, а ниже -20°C — около 30 мин.

Температуру в термостате регулируют так, чтобы к моменту начала отсчетов она была ниже поверяемой точки на $0,08$ — $0,10^{\circ}$ при положительных температурах и на $0,1$ — $0,2^{\circ}$ при отрицательных температурах. За время отсчета температура в термостате не должна повыситься больше чем на $0,2^{\circ}$ при положительных температурах и больше чем на $0,4^{\circ}$ при отрицательных температурах.

При проверке при отрицательных температурах минимальные и спиртовые низкоградусные термометры рекомендуется охлаждать предварительно до установки в термостат.

При проверке максимальных термометров на точке ниже комнатной температуры их предварительно охлаждают и стряхивают. Перед установкой в термостат максимальные термометры должны показывать на $3-5^{\circ}$ ниже температуры в термостате. Тогда их поочередно быстро вставляют в заранее приготовленный термостат.

При проверке всех термометров, кроме термометров для измерения температуры поверхности почвы, производится пять сравнительных отсчетов с образцовым термометром. Первый поверитель делает первые два отсчета и пятый отсчет, второй поверитель — третий и четвертый отсчеты.

Отсчеты начинают с образцового термометра, затем последовательно отсчитывают все поверяемые термометры и каждый последующий отсчет производят в обратном порядке.

Отсчитывают и записывают только доли градуса. Целые градусы (один раз) записывают только в графе для образцового термометра. В отсчетах поверяемых термометров целые градусы при первом отсчете записывают только в том случае, если они отличны от значения по образцовому термометру. Показания поверяемых термометров записывают в левой стороне графы, оставляя правую для вычисления разностей показаний (см. табл. 4).

Обработка данных проверки. При обработке данных проверки вычисляют поправки к показаниям термометров на каждой поверяемой точке.

Обработку начинают с вычисления разностей между отсчетами образцового термометра и каждого поверяемого. Вычисленные разности записывают рядом с отсчетами термометров. После этого просматривают разности в каждой серии и отсчеты на точке 0° . Если расхождение между отсчетами на точке 0° или между наибольшей и наименьшей разностью для термометров с ценой деления $0,2^{\circ}$ не превышает соответственно 0,02 и $0,15^{\circ}$, а для остальных термометров 0,1 и $0,2^{\circ}$, то можно качество проверки считать удовлетворительным и приступить к вычислению поправок.

При большем расхождении разностей на какой-либо точке термометр следует на этой точке перепроверить и при подтверждении больших расхождений забраковать из-за непостоянства показаний. Затем приступают к вычислению поправок.

Для точки 0° за поправку принимают среднее из отсчетов, взятое с обратным знаком. Поправки записывают под отсчетами каждого термометра.

Для минимальных и спиртовых низкоградусных термометров на точке 0° вычисляется среднее из двух поправок, полученных в начале и конце проверки. На других точках шкалы для каждого

термометра вычисляют среднее из разностей на каждой поверяемой точке. Среднее округляют до сотых долей градуса: для термометров с ценой деления $0,2^\circ$ — до $0,05^\circ$ для максимальных и до $0,1^\circ$ для всех остальных термометров.

Вычисленные средние значения разностей являются поправками поверяемого термометра относительно образцового термометра.

Приведение поправок к международной температурной шкале. Для приведения поправок, полученных относительно образцового термометра к международной температурной шкале, необходимо учесть поправку самого образцового термометра. Для этого из поверочного свидетельства к образцовому термометру берут поправку для соответствующей точки шкалы, исправляют ее поправкой на точке 0° , полученной при последней поверке, и подписывают под отсчетами образцового термометра. Поправку образцового термометра суммируют алгебраически с поправками, вычисленными относительно образцового термометра (см. табл. 4). Сумма этих поправок дает поправку поверяемого термометра относительно международной температурной шкалы.

Составление поверочного свидетельства. В поверочное свидетельство вписывают поправки двух видов: поправки, полученные на целых десятках градусов, выписанные непосредственно из архивного журнала, так называемые поправки «при» и поправки для всего диапазона температур, округленные до десятых долей градуса, для которых определяют границы их применения «от—до».

Поправки «при» даются с той же точностью, с которой они записаны в журнал.

В поверочном свидетельстве термометров для измерения температуры поверхности почвы даются только поправки «при».

Интервал шкалы, на который распространяется та или иная поправка, может быть определен путем интерполяции и вычерчивания графика поправок «при» в предположении, что поправка в промежутке 10° шкалы изменяется линейно. Рассмотрим пример.

Пример. Найти поправки «от—до» для термометра, имеющего следующие поправки «при»:

При	0°	10°	20°
Поправки	+0,02	+0,14	+0,19

Решение. Округлив поправки до десятых долей градуса, получим следующие значения поправок:

При	0°	10°	20°
Поправки	0,0	+0,1	+0,2

Необходимо определить границы действия каждой из поправок.

Построим график поправок. По оси абсцисс отложим шкалу термометра, по оси ординат — поправки (рис. 17).

Рассмотрим участок шкалы от 0 до 10°. При округлении до десятых долей поправки от 0,02 до 0,05° можно округлить до 0,0°, а поправки больше 0,05 до 0,1°. Точка шкалы термометра, для которой поправка равна 0,05°, является границей распространения поправок 0,0 и 0,1°. Найдем численное значение этой точки.

Из точек A и D (соответствующих значениям поправок при 0 и 10°) проведем прямые, параллельные оси абсцисс и оси ординат, до пересечения их в точке E . Из точки на оси ординат, соответствующей 0,05°, проведем прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с линией AD в точке B . Из точки B опустим перпендикуляр. Абсцисса точки B , численно равная AC , будет соответствовать точке на шкале термометра, до которой распространяется по-

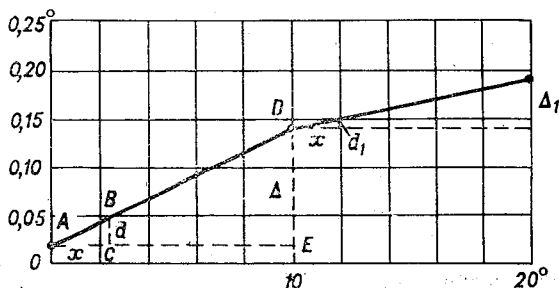


Рис. 17. График поправок термометра.

правка 0,0°. Это значение можно определить по графику, но точнее вычислить. Из подобия треугольников ABC и ADE имеем $AC/AE = BC/DE$, откуда

$$AC = \frac{AE \cdot BC}{DE},$$

где AC — промежуток шкалы термометра в интервале 10°, на который распространяется поправка 0,0° (обозначим его через x); AE — промежуток шкалы термометра, равный 10°, на крайних точках которого известны значения поправок; BC — разность между предельным значением поправки (т. е. значением, которое еще можно округлить до того значения, что и первую поправку) и поправкой на первой точке. Обозначим ее через d (дополнение к пределу); DE — разность поправок на двух соседних поверенных точках шкалы (через 10°), между которыми происходит изменение поправки. Обозначим ее через Δ .

Подставляя принятые обозначения в выражение (AC) , получим

$$x = \frac{10 \cdot d}{\Delta}.$$

В нашем примере:

$$d = 0,05 - 0,02 = 0,03^\circ;$$

$$\Delta = 0,14 - 0,02 = 0,12^\circ;$$

$$x = \frac{10 \times 0,03}{0,12} = 2,5^\circ.$$

Таким образом, для промежутка шкалы 0—10 до 2,5° поправка равна 0,0° и, следовательно, от 2,6° поправка равна +0,1°.

По формуле для x можно определить границы распространения поправок для любого 10-градусного промежутка положительной части шкалы. Нужно только помнить, что x представляет собой отрезок шкалы термометра от первой рассматриваемой точки (более низкой температуры) до точки, на которой поправка является предельной. Поэтому для нахождения действительного значения точки шкалы термометра, на которой поправка является предельной, к вычисленному значению x нужно прибавить целые десятки градусов, соответствующие первой рассматриваемой точке. Так, если в рассматриваемом примере будем искать точку перехода поправки с +0,1 на +0,2° в интервале шкалы от 10 до 20°, то к найденному значению x надо прибавить 10°.

Так как в этом случае нужно найти границу перехода поправок с +0,1 на +0,2°, то предельной поправкой будет +0,15°.

Имеем:

$$\Delta_1 = 0,19 - 0,14 = 0,05^\circ;$$

$$d_1 = 0,15 - 0,14 = 0,01^\circ;$$

$$x = \frac{10 \times 0,01}{0,05} = 2,0^\circ;$$

т. е. в интервале шкалы 10—20° до 12,0° поправка равна +0,1°, а от 12,1° поправка равна +0,2°.

Объединяя полученные результаты и сведя поправки в табличку, имеем:

от	до	поправка
0,0°	2,5°	0,0°
2,6	12,0	+0,1
12,1	20,0	+0,2

Полная поверка термометров производится при выпуске их с завода. В процессе эксплуатации проводится лишь периодическая поверка точки 0°. Новую поправку при 0° сравнивают с прежней и полученное изменение поправки вводят в поправки на всех остальных точках шкалы. По этим данным выписывают новое поверочное свидетельство. В архивный журнал на термометр записывают только новую поправку при 0° и время ее определения. При последующих поверках точки 0° смещение поправок всегда следует брать от основной поверки (первичной). Поскольку поправки термометров всегда определяются с некоторыми погрешностями, то при повторной поверке точки 0° не следует менять поправки термометров в том случае, если изменения поправки на точке 0° не превышает 0,02° для термометров с ценой деления 0,2, 0,5 для максимальных термометров и 0,1° для всех остальных термометров. Абсолютные величины поправок термометров и их изменения не должны превышать величин, указанных в ГОСТах (табл. 5 и 6).

Допуски на абсолютные величины поправок термометров

Тип термометра	Точки шкалы (°C)														
	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30	+40	+50	+60	+70
Психрометрический	—	—	—	—	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	—	—
К аспирационному психрометру б/м	—	—	—	—	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	—	—
Почвенно-глубинный	—	—	—	—	—	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	—	—	—
Родниковый	—	—	—	—	—	—	—	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	—	—	—
Максимальный	—	—	—	—	0,8	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
Минимальный	2,5	2,0	1,5	1,0	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	—	—	—
Спиртовой низкотемпературный	2,5	2,0	1,5	1,0	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	—	—	—	—	—
К ртутному барометру	—	—	—	—	—	—	—	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	—	—	—
Савинова	—	—	—	—	—	—	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	—	—
Праш	—	—	—	—	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	—	—
Для измерения температуры поверхности почвы	—	—	—	—	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Допуски на изменение поправок термометров на каждые 10°

[illegible]

4.5. Поверка термографа

Термографы широко применяются для регистрации изменения температуры воздуха в пределах -45 до $+55^{\circ}\text{C}$. На ленте термографа имеются три шкалы от -35 до $+45$, от -25 до $+55$ и от -45 до $+35^{\circ}\text{C}$. Шкалы используются в зависимости от температурного диапазона, в котором будет работать термограф.

Чувствительным элементом в термографе М-16 (ГОСТ 6416—62) является биметаллическая пластина 4 (рис. 18). Пла-

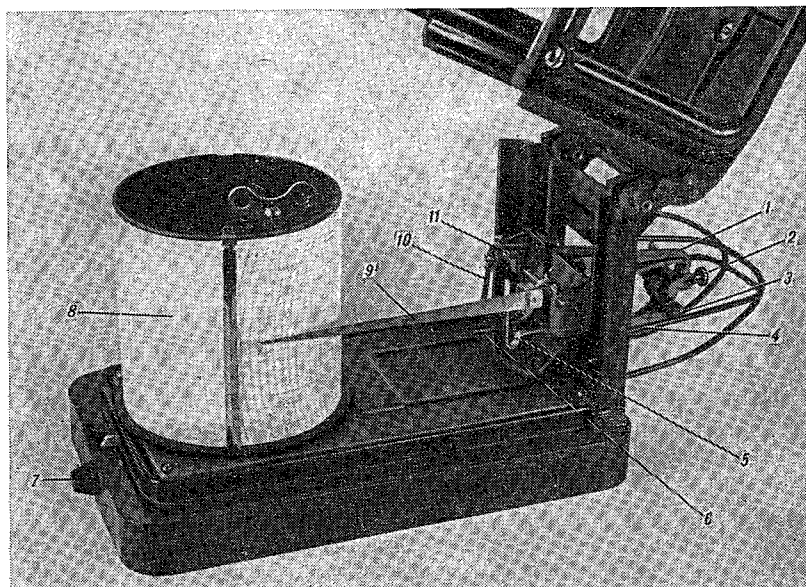


Рис. 18. Термограф М-16.

стина изготавливается из стали и инвара, имеющих различные коэффициенты расширения. Пластина 4 одним концом закреплена в кронштейне 3, укрепленном на кронштейне 1. Другой конец пластины посредством изогнутого рычага 6, тяги 10 и рычага 11 соединен со стрелкой 9. Рычаг 11 закреплен на оси. Меняя длину рычага 11, можно изменить чувствительность термографа.

На конце стрелки 9 укреплено перо. Для получения записи на барабан 8 с часовым механизмом надевается лента, которая крепится лентодержателем. Посредством зубчатой передачи барабан вращается вокруг центральной оси. Часовой механизм заводится ключом. Отвод стрелки с пером от барабана осуществляется поворотом отводки 5.

Прибор снабжен отметчиком времени, дающим возможность, не открывая крышки, делать засечки на ленте. Отметка времени производится нажатием на кнопку. Установка пера на

соответствующее деление ленты осуществляется вращением установочного винта 2.

Прибор смонтирован на металлической плате, которая помещена в пластмассовый корпус с откидной крышкой, закрывающейся на замок 7.

В зависимости от времени оборота барабана термографы изготавливаются двух типов: суточные термографы с продолжительностью одного оборота барабана за 26 ч и недельные с продолжительностью одного оборота барабана за 176 ч.

Ленты, применяемые для регистрации температуры, имеют прямые горизонтальные и дуговые вертикальные линии. Расстояние между горизонтальными линиями соответствует одному градусу, а между дугowymi — 15 мин у суточного термометра и двум часам у недельного.

Поверка термографа состоит из внешнего осмотра, проверки хода часового механизма и проверки шкалы. При внешнем осмотре проверяется техническое состояние прибора, правильность взаимодействия отдельных частей механизма и отсутствие видимых дефектов, которые могут нарушить его работоспособность. При осмотре руководствуются инструкцией по эксплуатации. Перед проверкой термограф должен быть отрегулирован так, чтобы при вращении установочного винта 2 перо плавно перемещалось по всей высоте барабана и прочерчивало сплошную тонкую линию, не отклоняясь за пределы допуска от дуговой линии на ленте.

При проверке часового механизма проверяют ход часов при комнатной температуре.

Поверку хода часового механизма производят по радиосигналам.

Приступая к проверке часового механизма, надо надеть на барабан ленту, налить в перо чернила и завести часы. Поворачивая барабан, устанавливают перо в начале ленты. Для уничтожения мертвого хода окончательное вращение барабана должно быть против движения часовой стрелки, если смотреть сверху.

У недельного самописца перо при проверке ставится на первый день ленты, т. е. всегда на понедельник, независимо от фактического дня недели, с тем расчетом, чтобы в момент радиосигнала перо находилось приблизительно на первой или второй дуге. В момент радиосигнала делают контрольную отметку. Для получения отметки нажимают на отметчик времени или поднимают немного перо для получения вертикальной черточки на ленте. Затем ежедневно в течение недели в тот же час делают таким же способом контрольные отметки. По истечении недели приборы оставляют на восемь суток для определения продолжительности действия пружины. При полном заводе работа часового механизма рассчитана не менее чем на 180 ч. На восьмые сутки, убедившись, что перо прошло за лентодержателем не менее чем 2 ч, просматривают отметки, характеризующие ход ча-

сов. Исходной точкой является первая контрольная отметка, сделанная в день установки часов.

Погрешность хода часов определяется измерением расстояния между крайними контрольными отметками металлической линейкой. Линейка должна прикладываться к ленте параллельно горизонтальным линиям ленты. Для измерения расстояния одна из отметок должна быть смещена по дуге до одного уровня с второй меткой. Расстояние между крайними контрольными отметками должно быть равно 7 суткам ± 30 мин по шкале времени ленты или $279,2 \text{ мм} \pm 0,8 \text{ мм}$ линейного расстояния по шкале.

При проверке хода часов у суточного самописца ставят перо так, чтобы в момент радиосигнала перо находилось приблизительно на дуге. Удобнее ставить перо за 15 мин до радиосигнала, так как расстояние между двумя смежными часовыми дугами равно 15 мин. По радиосигналу делают контрольную отметку.

По истечении суток по радиосигналу делают вторую контрольную отметку и оставляют часы на вторые сутки для определения продолжительности действия пружины. При полном заводе часовой механизм должен работать не менее 36 ч.

После остановки часового механизма просматривают правильность хода за сутки. Ошибка хода часов определяется измерением линейкой расстояния по горизонтальной линии между контрольными отметками.

Расстояние между контрольными отметками должно быть равно $24 \text{ ч} \pm 5 \text{ мин}$ или $270 \text{ мин} \pm 0,9 \text{ мм}$.

Проверка шкалы термографа производится по средней шкале ленты при температурах около 0 , -30 и $+40^\circ \text{C}$ в жидкостных термованнах. Объем ванны должен быть не менее 6 л. Температура ванны должна поддерживаться постоянной с точностью $\pm 2^\circ \text{C}$. Для установки термографов ванны снабжаются полками: горизонтальной (для термографов М-16) и под углом (для термографов М-22). Внутри ванны помещен вентилятор для перемешивания жидкости. Для проверки термографов необходимо иметь три ванны. В качестве рабочей жидкости при температуре $+40^\circ \text{C}$ используется вода, а при температурах 0 и -30°C — спирт, охлажденный углекислотой.

Приготовив ванны с требуемой температурой, устанавливают в ванне с температурой около 0°C поверяемый термограф так, чтобы термометалл полностью был погружен в жидкость. Термограф М-16 устанавливают на горизонтальной полке, термограф МТ-22 — на наклонной. В продолжение нескольких минут наблюдают за показаниями термографа. Когда его показания установятся, производят отсчет показаний термометра и устанавливают перо термографа на то деление ленты, которое соответствует показанию термометра, исправленному соответствующей шкаловой поправкой. Вновь отсчитывают показания термометра и термографа и записывают в рабочий журнал.

Из ванны с температурой 0°C термограф переносят в ванну с температурой около -30°C , где выдерживают его до тех пор, пока перо не перестанет двигаться. Затем отсчитывают и записывают показания термометра и термографа.

Наконец помещают термограф в ванну с температурой около $+40^{\circ}\text{C}$ и после выдержки отсчитывают и записывают показания термометра и термографа. Вычисляют разности между исправленными показаниями термометра и показаниями термографа. Полученные разности являются поправками к показаниям термографа на данной точке.

Приняв условно поправку на точке 0° , равной $0,0^{\circ}$, изменяют соответственно все поправки на величину поправки при 0° .

Оценивают годность прибора, сравнивая величину измененных поправок с допуском.

Лабораторные работы

4.1. ПОВЕРКА ПЛАТИНОВОГО ТЕРМОМЕТРА СОПРОТИВЛЕНИЯ

Содержание работы. Определение сопротивления термометра, изготовленного из платины марки ПЛ-2, при температуре 0 и 100°C и вычисление его сопротивления при различных температурах.

Поверочное оборудование и приборы. Нуль-термостат; термостат точки 100°C . Собранная схема измерения (рис. 19).

Указания по выполнению работы. Для защиты от попадания влаги на выводы термосопротивления помещают в длинные стеклянные пробирки, закрыв их сверху ватой. Пробирки с термосопротивлениями сначала устанавливают

в нуль-термостат, заполненный тающим льдом или снегом. Подключив термосопротивление к измерительной схеме, после соответствующей выдержки производят измерение R_0 три раза с интервалами в 2—3 мин. Рабочий ток через термосопротивления не должен превышать 1 мА. Затем термосопротивления устанавливают в термостат точки 100°C на требуемом уровне и, включив

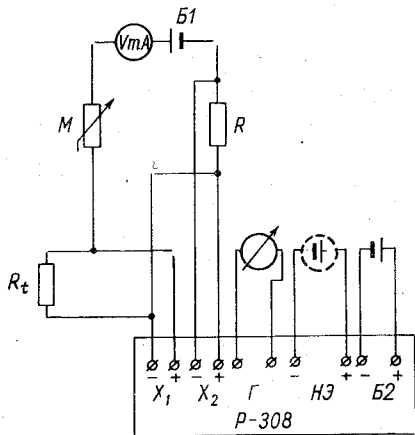


Рис. 19. Компенсационная схема с потенциометром для проверки термометров сопротивления.

термостат, доводят в нем воду до кипения. Выдержав термосопротивление при установившейся температуре кипения воды, трижды измеряют его сопротивление R_{100} . Одновременно отсчитывают температуру и давление по контрольному барометру B_t , вводя поправки на ускорение свободного падения ΔP_d , на приведение к 0°C — ΔP_t и инструментальную ΔP_n , после чего термостат выключают. Результаты измерений записывают в журнал по форме табл. 7. Затем переходят к вычислению R_{100}/R_0 и R_t .

Запись результатов измерений R_{100} и R_0

R_0	R_{100}	Показания по барометру						t_k
		t°	B_t	ΔP_d	ΔP_t	ΔP_H	B_0	
10.187	14.149	18,9	763.34	+0.98	-2.37	+0.27	762.22	
10.187	14.149	19,0	763.38	+0.98	-2.37	+0.27	762.26	
10.187	14.148	19,0	763.42	+0.98	-2.37	+0.27	762.30	
$\bar{R}_0 = 10.187$	$\bar{R}_{100} = 14.149$						762.26	100.08

В приложении 2 по показанию барометра $\bar{B}_0 = 762,26$ мм рт. ст. находят температуру кипения воды $t_k = 100,08^\circ \text{C}$. Сопротивление термометра при температуре 100°C вычисляют по формуле [22]:

$$R_{100} = R_{t_k} + \frac{R_{t_k} - R_0}{t_k} (100 - t_k) - 5,847 \times 10^{-5} R_0 (100 - t_k) =$$

$$= 14,149 + \frac{14,149 - 10,187}{100,08} (-0,08) - 5,847 \times 10^{-5} \times 10,187 (-0,08) =$$

$$= 14,146 \text{ Ом.}$$

Отношение R_{100}/R_0 будет равно $14,146/10,187 = 1,3886$. По формуле (28) находят сопротивление термометра R_t для любых значений температуры t .

Для примера вычислим R_t для 10 и -10°C . Согласно формулам (26) и (27) для температуры 10°C коэффициент $k(t)$ равен

$$k(t_{10}) = 1 - \frac{10}{100} [1 + (-5,847 \times 10^{-5}) (100 - 10)] = 0,9005,$$

а для температуры -10°C

$$k(t_{-10}) = 1 - \frac{-10}{100} [1 + (-5,847 \times 10^{-5}) \cdot 110] +$$

$$+ (-422 \times 10^{-12} \times 110) \times (-1000) = 1,0994.$$

Тогда

$$R_{10} = 10,187 \left[\left(1,3886 \times \frac{10}{100} \right) + 0,9005 \right] = 10,586 \text{ Ом;}$$

$$R_{-10} = 10,187 \left[\left(-1,3886 \times \frac{-10}{100} \right) + 1,0994 \right] = 9,787 \text{ Ом.}$$

Аналогично находят сопротивления термометра при любых других значениях температуры. По рассчитанным значениям R_t и t^0 составляется градуировочный график или таблица. Найденная величина R_{100}/R_0 данного термометра должна соответствовать установленному допуску.

4.2. ПОВЕРКА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Содержание работы. Определение R_{100} и R_0 для платинового термометра ПТС-500 и вычисление отношения R_{100}/R_0 . Вычисление сопротивления термометра R_t в диапазоне от -60 до $+50^\circ \text{C}$ через 10°C .

Поверочное оборудование и приборы. Для измерения сопротивления термометра собирают компенсационную потенциометрическую схему (см. рис. 19), в которую входят потенциометр постоянного тока, зеркальный гальванометр Γ , образцовая катушка сопротивления R на 100 Ом, вольтмиллиамперметр, магазин сопротивления M и две батареи $B1$ и $B2$.

Подключение платинового термометра R_t к схеме производится с помощью дополнительных проводников с точно известными сопротивлениями.

Указания по выполнению работы. При измерениях R_0 и R_{100} в нуль-термостате и термостате точки 100° устанавливают с помощью магазина M рабочий ток через термосопротивление не более 1 мА. При установившейся температуре в термостатах выдерживают термометры около 30 мин. Затем измеряют падение напряжения V на термосопротивлении и образцовой катушке V' при прямом и обратном направлении тока.

Отсчеты делают три раза. Измеряют давление по контрольному барометру и температуру образцовой катушки t_k в начале и в конце измерений по вставленному в нее ртутному термометру с ценой деления $0,5-1^\circ\text{C}$.

Запись и обработку результатов поверки производят по форме табл. 8. Полученные значения V и V' исправляются поправками, взятыми из поверочного свидетельства (в данном случае использовался потенциометр Р-306) и вычисляется отношение средних значений падения напряжения на термосопротивлении и образцовой катушке $k = V/V'$.

Значение сопротивления R_0 и R_{100} находят путем умножения k на сопротивление образцовой катушки, т. е.

$$R_0 = k_1 R_K; \quad R_{100} = k_2 R_K.$$

Значение сопротивления образцовой катушки R_K с учетом температуры находят из поверочного свидетельства. Из трех отсчетов R_0 и R_{100} , определяют средние значения $\bar{R}_0$ и $\bar{R}_{100}$, из которых вычитают сопротивление подводящих проводов ($R_n = 0,15$ Ом). Если температура кипения воды будет отличаться от 100°C , то R_{100} следует определять по формуле, как это показано в лабораторной работе 4.1.

По найденным значениям R_0 и R_{100} вычисляют отношение $R_{100}/R_0 = 695,5/499,95 = 1,3911$; сопротивление термометра R_t в диапазоне от -60 до $+50^\circ\text{C}$ определяют по формуле (28) $R_t = R_0 W(t, R_{100}/R_0)$.

Коэффициент $W(t, R_{100}/R_0)$ находят в приложении 1 по значениям температуры и отношения $R_{100}/R_0 = 1,3911$. Например, для температуры 50°C $W = 1,1970$.

Умножая $R_0 = 499,95$ на коэффициент W , получают сопротивление термометра на любой из точек.

Для температуры 50°C сопротивление термометра будет $R_{50} = 499,95 \times 1,1970 = 598,44$ Ом.

Полученные значения сопротивлений записывают в поверочное свидетельство (табл. 9).

4.3. ПОВЕРКА МЕДНОГО ТЕРМОМЕТРА СОПРОТИВЛЕНИЯ

Содержание работы. Определение сопротивления термометра, изготовленного из меди, при температуре 0 и 100°C и вычисление его сопротивления при различных температурах.

Поверочное оборудование и приборы. См. указание к работе 4.1. В качестве поверяемых термометров используют термометры ДМС М-49, СДС ГМ-6 и др.

Указания по выполнению работы. Измерения при температуре 0 и 100°C выполняют по указанию в работе 4.1. Затем по найденным значениям R_0 и R_{100} определяют температурный коэффициент термосопротивления α и вычисляют сопротивление термометра R_t при температурах от -50 до $+40^\circ\text{C}$ через 10°C . Результаты поверки термометра записывают по форме, приведенной в табл. 10.

Запись результатов поверки преобразователя температуры автоматической станции

Поверяемый термометр				Образцовая катушка 100 Ом			$R_0 = kR_K$	Контрольный барометр				Примечания
V	$\bar{V}$	$V_{испр}$	V'	$\bar{V}'$	$V'_{испр}$	$k = \frac{V}{V'}$		t°	B	B_0	t	
Определение R_0												Сопротивление подводящих про- водов 0,15 Ом. Сопротивление $R_K = 100.002$ Ом. Температура ка- тушки при опре- делении R_0 $t_1 = 21.2$ $t_2 = 21.3$ $t_{ср} = 21.2$
5.4194	5.4194	5.4194	1.0835	1.0837	1.0837	500.09						
5.4194			1.0839									
5.4194			1.0837									
5.4188	5.4191	5.4191	1.0836	1.0836	1.0836	500.10						
5.4188			1.0834									
5.4193	5.4190	5.4190	1.0836	1.0836	1.0836	500.092						
			1.0839			500.10						
						-0.15						
						499.95						
Определение R_{100}												Температура ка- тушки при опре- делении R_{100} $t_1 = 21.2$ $t_{ср} = 21.2$ $t_2 = 21.2$
7.5389	7.5395	7.5395	1.0839	1.0838	1.0838	695.66	20.1	761.64				
7.5401			1.0836					+0.98	760.13	100.00		
7.5389	7.5381	7.5381	1.0834	1.0836	1.0836	695.66	20.2	-2.49				
7.5373			1.0839					+0.98	761.57	100.00		
								-2.50				
								00				
7.5375	7.5380	7.5380	1.0839	1.0836	1.0836	695.65	20.2	761.56				
7.5385			1.0834					+00.98	760.04	100.00		
								-2.50				
								0.00				
						695.66						
						-0.15						
						695.51						
						$\frac{R_{100}}{R_0} = \frac{695.51}{499.95}$						

**Запись результатов в поверочное свидетельство термометра
сопротивления АТМС**

Термометр сопротивления платиновый № 73
 Сопротивление термометра при $t=0^{\circ}\text{C}$ $R_0=499,95\text{ Ом}$
 Отношение $R_{100}/R_0=1,3911$

Сопротивление термометра при $t^{\circ}\text{C}$

$t^{\circ}\text{C}$	$R_t\text{ Ом}$	$t^{\circ}\text{C}$	$R_t\text{ Ом}$
-60	379.76	0	499.95
-50	399.96	10	519.80
-40	420.06	20	539.55
-30	440.16	30	559.24
-20	460.15	40	578.84
-10	480.05	50	598.44

Время поверки: май 1972 г.

Начальник Бюро поверки:

Ответственный поверитель:

Таблица 10

Запись результатов измерения R_t и R_0 для медного термометра сопротивления

№ измерения	При температуре 0°C R_0	При температуре кипения воды							
		R_{t_K}	t	B_t	ΔP_d	ΔP_t	ΔP_n	B_0	t_K
1	460.1	655.4	20.3	767.5	+0,98	-2.5	-0.18	765.8	100.2
2	460.1	655.5	20.5	767.4	+0,98	-2.6	-0.18	765.6	100.2
3	460.1	655.5	20.8	767.3	+0,98	-2.6	-0.18	765.5	100.2
	$\bar{R}_0 = 460.1$	$\bar{R}_{t_K} = 655.5$							$\bar{t}_K = 100.2$

Температурный коэффициент термосопротивления находят по формуле (30)

$$\alpha = \frac{\bar{R}_t - \bar{R}_0}{\bar{R}_0 t_K} = \frac{655,5 - 460,1}{460,1 \times 100,2} = 4,24 \times 10^{-3}.$$

По формуле (17) $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ рассчитывают сопротивление термометра в диапазоне от -50 до $+40^{\circ}\text{C}$ через каждые 10°C . Найденные значения R_t устанавливают на образцовом магазине сопротивления, подключенном к измерительной схеме термометра вместо термосопротивления. Отсчеты по указателю записывают в журнал по форме табл. 11. Разность между отсчетами по шкале указателя термометра и расчетным значениям температуры будет равна величине поправки шкалы Δt .

Поправки определяются относительно значений температуры t , для которых рассчитываются сопротивления R_t (например, $t = -50^{\circ}\text{C}$, $\Delta t = -50 - (-49,7) = -0,3$). Абсолютная величина поправок не должна превышать установленный допуск.

Таблица 11

Запись результатов поверки медного термометра сопротивления

t	Расчетное R_t	По шкале указателя t	Поправки Δt	t	Расчетное R_t	По шкале указателя t	Поправки Δt
-50.0	362.5	-49.7	-0.3	0.0	460.1	0.0	0.0
-40.0	381.9	-39.7	-0.3	10.0	479.6	10.0	0.0
-30.0	401.7	-29.9	-0.1	20.0	499.1	19.8	0.2
-20.0	421.0	-20.2	0.2	30.0	518.6	29.4	0.6
-10.0	440.8	-10.5	0.5	40.0	538.1	39.6	0.4

4.4. ПОВЕРКА И РЕГУЛИРОВКА ТЕРМОГРАФА

Содержание работы. Поверка шкалы термографа. Регулировка чувствительности.

Поверочное оборудование и приборы. Термованны, психрометрические термометры (3 шт.), лупа для отсчета показаний термометров и снятия показаний с ленты термографа, спирт, твердая углекислота.

Указания по выполнению работы. Производится внешний осмотр термографа и подготовка его к работе в соответствии с описанием и инструкцией по эксплуатации. В термованнах устанавливают температуру около 0, -30 и +40°С, затем в ванны поочередно помещают термографы и производят отсчеты температуры t по термометру и термографу T . Форма записи приведена в табл. 12. Отсчеты производят с точностью до 0,1°. Сравнивают отсчеты по термографу с исправленными отсчетами по термометру и вычисляют разности Δ (поправки) на всех точках. Приняв условно на точке 0° поправку равную 0,0°, сдвигают соответственно поправки на точках +40 и -30°С. Для этого алгебраически вычитают поправку при 0° из поправок на других точках. Полученные окончательно поправки Δ' сравнивают с допусками. Если поправки превышают допуск, производят регулировку чувствительности термографа.

Таблица 12

Запись результатов поверки термографов

Термограф № 454				Термограф № 528				Термограф № 327			
t	T	Δ	Δ'	t	T	Δ	Δ'	t	T	Δ	Δ'
38.0	36.5	+1.5	+1.3	40.2	41.7	-1.5	-1.7	37.5	35.4	+2.1	+2.4
0.2	0.0	+0.2	0.0	-0.1	-0.3	+0.2	0.0	-0.3	0.0	-0.3	0.0
-28.7	-27.5	-1.2	-1.4	-28.7	-30.5	+1.8	+1.6	-29.0	-29.5	+0.5	+0.8
мала				чувствительность велика				неравномерна			

Чувствительность термографа определяется величиной смещения пера при изменении температуры на 1°. Регулировку чувствительности термографа производят изменением рабочей длины регулировочного винта, или изменением взаимного расположения рычагов передаточной системы, путем поворота

стрелки относительно оси. О чувствительности термографа судят по шкаловым поправкам на крайних значениях шкалы. Один оборот регулировочного винта дает изменение поправки на один градус.

Из табл. 12 видно, что у прибора № 454 поправки Δ' на крайних точках шкалы выходят за пределы допуска $1,0^\circ$, причем на значении $+40^\circ$ поправка с плюсом, а на -30° — с минусом. Следовательно, чувствительность термографа *мала*, поскольку смещение пера по ленте меньше действительного изменения температуры. Для того чтобы увеличить чувствительность, необходимо повернуть регулировочный винт приблизительно на 1,5 оборота по часовой стрелке.

У прибора № 528, наоборот, на значении $+40^\circ$ поправка с минусом, а на значении -30° — с плюсом; чувствительность прибора *велика*. Регулировочный винт в этом случае следует повернуть на 1,5 оборота против часовой стрелки.

У прибора № 327 поправки имеют одинаковые знаки, следовательно, чувствительность прибора *неравномерна* по шкале. В пределах шкалы от 0 до 40°C она мала, в пределах от 0 до -30° — *нормальна*. Для выравнивания чувствительности следует повернуть стрелку приблизительно на $2,4 \times 10 = 24^\circ$ по шкале в сторону нормальной чувствительности, т. е. вниз на 24° , и установочным винтом установить перо по температуре помещения.

После изменения чувствительности термографа следует снова определить его поправки при температурах около 0, $+40$ и -30°C и, если они не будут удовлетворять допускам, повторить регулировку.

Контрольные вопросы

1. Как отличить суточный барабан часового механизма от недельного?
2. Как регулируется люфт барабана часового механизма?
3. Для каких самописцев ход часового механизма проверяется при отрицательных температурах?
4. С какой целью на ленте термографа наносятся три шкалы? На какой из них производится поверка термографов в Бюро поверки и на заводе?



ПОВЕРКА ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

5.1. Поверочная схема

Для измерения и регистрации атмосферного давления применяются приборы и преобразователи, основанные на различных принципах действия [16]. Наибольшее распространение получили ртутные барометры и манометры, а также деформационные барометры-анероиды и барографы. Деформационный барометр, состоящий из блока анероидных коробок, применен в качестве измерительного преобразователя автоматической радиометеорологической станции (АРМС-М). В унифицированной автоматической телеметрической гидрометеорологической станции (УАТГМС) применен чашечный барометр с фотоэлектрическим устройством для автоматического слежения и измерения уровня ртути в барометре. В качестве первичного преобразователя давления станции КРАМС используется вакуумированный сильфон с автоматическим силокомпенсационным устройством [1], [16]. Поверка перечисленных приборов и преобразователей атмосферного давления осуществляется в соответствии с поверочной схемой, которая устанавливает порядок передачи размера единицы давления от эталона образцовым и рабочим средствам измерения.

Единице измерения давления в системе СИ — ньютон на квадратный метр (Н/м^2) — присвоено название паскаль (Па). В метеорологических измерениях используются внесистемные единицы: $1 \text{ бар} = 1 \times 10^5 \text{ Н/м}^2$ и $1 \text{ мм рт. ст.} = 133,322 \text{ Н/м}^2$, соответствующий давлению, которое оказывает столб ртути высотой 1 мм при температуре 0°C и нормальном ускорении свободного падения $g_n = 980,665 \text{ см/с}^2$. Все шкалы метеорологических барометров наносятся в миллибарах или в мм рт. ст.:

$$1 \text{ мбар} = 0,750062 \text{ мм рт. ст.} = 100 \text{ Н/м}^2;$$

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 1,333 \text{ мбар} = 133,3 \text{ Н/м}^2.$$

Иногда применяются и другие единицы измерения:

$$1 \text{ мм вод. ст.} = 9,80665 \text{ Н/м}^2; \quad 1 \text{ дин/см}^2 = 1 \times 10^{-1} \text{ Н/м}^2;$$

$$1 \text{ кгс/м}^2 = 9,80665 \times 10^4 \text{ Н/м}^2.$$

Соотношения между различными единицами измерения атмосферного давления, необходимые для технических расчетов, приведены в [5].

Поверочную схему для средств измерения атмосферного давления (рис. 20) возглавляют рабочие эталоны Гидрометслужбы

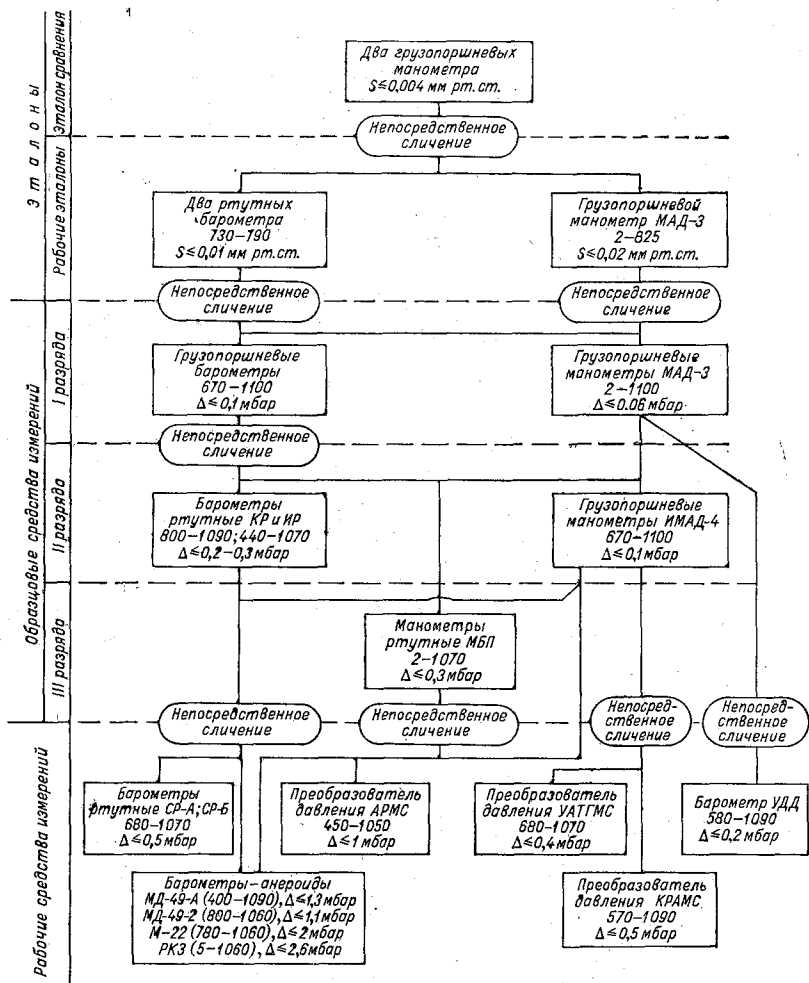


Рис. 20. Поверочная схема для средств измерения атмосферного давления.

СССР, состоящие из 2-х специальных ртутных барометров № 1 и 2 и грузопоршневого манометра абсолютного давления МАД-3 [13, 42].

Передача единицы измерения атмосферного давления (1 мбар или 1 мм рт. ст.) от эталонов к рабочим приборам осуществляется через образцовые средства измерения I, II и III разряда.

Ртутные эталонные барометры [42] обеспечивают воспроизведение и передачу размера единицы давления в узком диапазоне давлений 730—790 мм рт. ст. со средней квадратической погрешностью не более 0,01 мм рт. ст. Манометры МАД-3 обеспечивают передачу размера единицы измерения в широком диапазоне давлений (2—825 мм рт. ст.) со средней квадратической погрешностью измерения не более 0,012 мм рт. ст.

Рабочие эталоны подлежат сличению с первичным эталоном Госстандарта СССР через эталон сравнения — два грузопоршневых манометра. Первичным эталоном давления является Государственный групповой эталон Паскаля [13], состоящий из набора грузопоршневых манометров. Первичный эталон хранится во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева.

От рабочих эталонов размер единицы давления передается барометрам, которые поверяются при атмосферном давлении, и манометрам или измерительным преобразователям атмосферного давления, которые необходимо поверять по всей шкале.

Проверка всех средств измерения производится путем непосредственного сличения по следующим схемам.

1. Эталонные ртутные барометры — инспекторский грузопоршневой барометр (манометр) I разряда — контрольные и инспекторские ртутные барометры УГМС II разряда — рабочие средства измерения (станционные чашечные барометры и др.).

2. Эталонный грузопоршневой манометр МАД-3 — манометр МАД-3 I разряда — измерительный преобразователь атмосферного давления УДД.

3. МАД-3 I разряда — инспекторский грузопоршневой манометр ИМАД-4 — измерительные преобразователи атмосферного давления УАТГМС и КРАМС.

4. МАД-3 — МАД-3 I разряда — манометры ртутные МБП III разряда — измерительные преобразователи станции АРМС, барометры — анероиды МД-49-А, МД-49-2, барографы М-22, радиозонды РКЗ.

Согласно поверочной схеме с манометрами МАД I разряда могут сличаться также ртутные барометры II разряда, а с инспекторскими манометрами ИМАД II разряда — станционные барометры и анероиды.

На схеме указаны средние квадратические погрешности S эталонов и предельные погрешности Δ образцовых и рабочих средств измерения.

5.2. Образцовые приборы и поверочное оборудование

Образцовый грузопоршневой манометр. Грузопоршневые манометры и барометры по своим метрологическим характеристикам значительно превосходят ртутные приборы, а отсутствие вредных паров ртути делает их более удобными

в эксплуатации. Принцип действия поршневых приборов основан на уравнивании давления, действующего на торцевую поверхность неуплотненного поршня [10], [14]. Поршневая измерительная система (рис. 21) состоит из тщательно притертого к цилиндру 2 поршня 1, вакуумного насоса для откачки воздуха над поршнем 5, уравнивающих грузов 3 и указателя нуля 4. Для устранения сухого трения и износа соприкасающихся поверхностей поршня и цилиндра зазор между ними заполняется жидким маслом, а поршню придается вращательное движение.

Измеряемое давление определяется из уравнения равновесия сил, действующих на поршень

$$P = \frac{mg}{F} + \Delta P, \quad (31)$$

где m — масса поршня и наложенных на него грузов, g — ускорение свободного падения в месте измерения, ΔP — остаточное давление в цилиндре над верхним торцом поршня, F — приведенная площадь поршня, равная сумме геометрической площади поршня и эквивалентного увеличения этой площади из-за наличия жидкостных сил трения в зазоре между поршнем и цилиндром.

Приведенная площадь может быть определена путем сличения с государственным эталоном с погрешностью 0,02—0,04 мм рт. ст. Погрешность определения параметров m , g и ΔP , входящих в формулу, значительно меньше. Влияние температуры на измерение давления также невелико ввиду небольшой величины коэффициентов линейного расширения материалов поршня и цилиндра и легко учитывается введением поправок. В практике проверки наибольшее значение имеют манометры абсолютного давления типа МАД-3. Общий вид и конструкция такого манометра показаны на рис. 22 и 23.

Рис. 21. Схема грузопоршневого барометра.

Манометр состоит из измерительной головки 1, весов 8 и стола 6. В головке установлены два измерительных цилиндра 3 и 10, в которые вставлен вращающийся поршень 13. Через присоединительные штуцеры верхний цилиндр соединяется с вакуумной системой, а нижний — с объектом измерения (барокаме-

Рис. 21. Схема грузопоршневого барометра. Детальное описание: На рисунке изображена вертикальная конструкция. В центре находится поршень 1, который может вращаться, что показано стрелкой. Он расположен внутри цилиндра 2. Над поршнем 1 находится грузопоршневая система, состоящая из поршня 5, грузов 3 и указателя нуля 4. Стрелка 5 указывает на вакуумный насос. Цилиндр 2 имеет зазор, который заполняется жидким маслом. Внизу поршня 1 находится указатель 4, который показывает на шкалу. Цилиндр 2 соединяется с вакуумной системой (5) и объектом измерения (4).

рой, поверяемым манометром и др.). В средней части поршня укреплен круговой подшипник 12, к наружной обойме которого

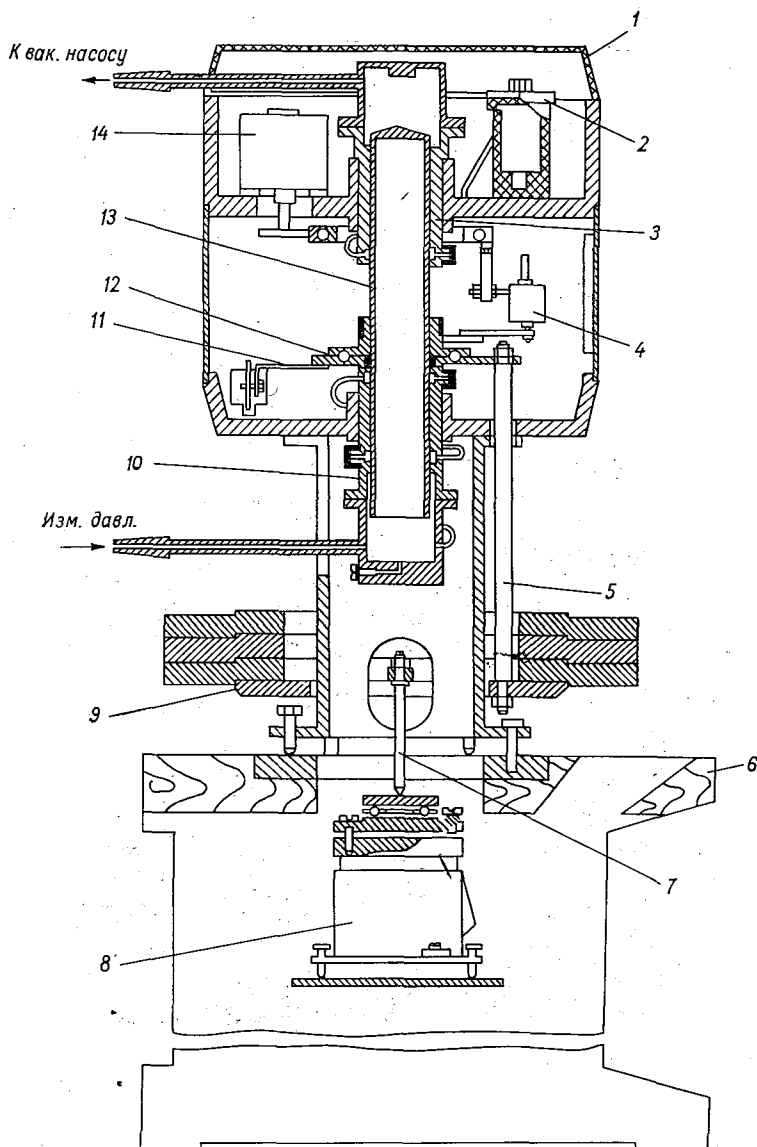


Рис. 22. Схема образцового грузопоршневого манометра.

на тягах 5 подвешена тарелка с грузами 9. Тарелка оканчивается штоком 7, через который усилие от поршня передается на квадрантные веса 8, установленные в низу стола. Вращение

поршня осуществляется от привода электродвигателя 14 через поводковое устройство и ролик 4, закрепленный на цилиндре. Чтобы при вращении поршня тарелка с грузами оставалась неподвижной, предусмотрен опорный поводок 11.

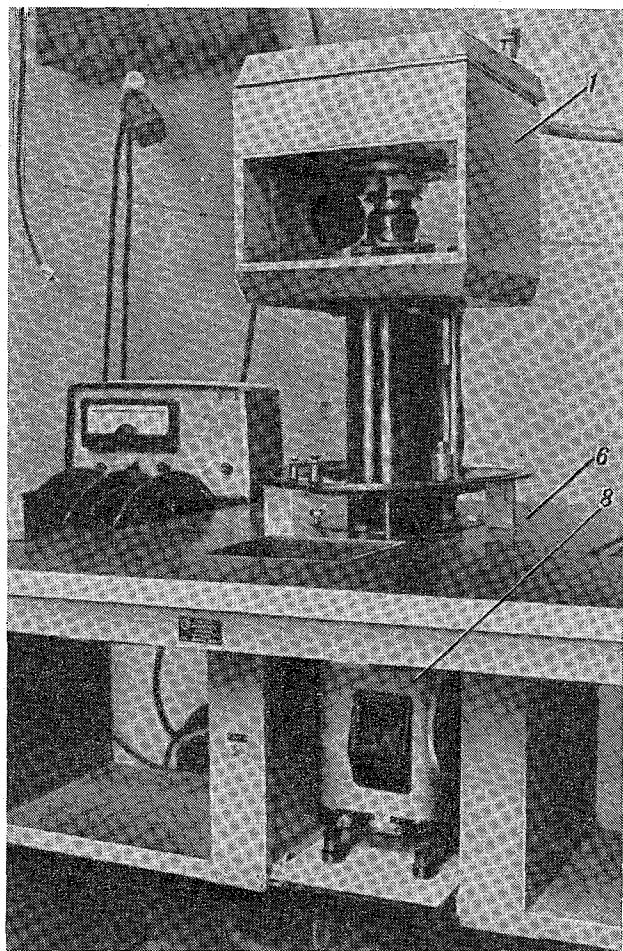


Рис. 23. Общий вид образцового грузопоршневого манометра.

Для смазки сопрягающихся поверхностей поршня и цилиндров служат бачки 2 с маслопроводами. Если в верхнем цилиндре поддерживать вакуум, то под действием измеряемого давления поршень будет подниматься вверх. Это давление уравновешивают весом грузов, накладываемых на тарелку. Вес самого поршня и деталей грузоприемного устройства уравновешивается

весами. Весы позволяют также регистрировать в некоторых пределах изменение измеряемого давления. Измеряемое давление на уровне верхнего торца поршня вычисляется по формуле

$$P_a = A \frac{m_0 + m - n}{1 + \frac{\Delta P_t}{P}} + PC + B \left(\rho_v - \rho_c \frac{P_a}{760} \right) + P_0 \frac{F_1}{F}, \quad (32)$$

где P_a — измеряемое абсолютное давление в барокамере (мм рт. ст.); P — атмосферное давление при измерениях (мм рт. ст.); P_0 — остаточное давление над поршнем (мм рт. ст.); m_0 — масса поршня с грузоприемным устройством (кг); m — масса грузов и гирь разновеса, наложенных на грузоприемную тарелку (кг); n — показания весов (кг); ΔP_t — поправка на температуру воздуха; ρ_v — плотность воздуха (г/м^3), $\rho_v = 12 \times 10^{-4} \text{ г/см}^3$; ρ_c — плотность среды, поступающей для измерения давления, $\rho_v \approx \rho_c$; A , B и C — постоянные величины для манометра, равные:

$$A = \frac{g \left(1 - \frac{\rho_v}{\rho} \right) \cdot 10^4}{\rho_p g_0 F}; \quad (33)$$

$$B = \frac{0,1282 m_{\text{п}} g_{\text{м}} \cdot 10^4}{\rho_p g_0 F}; \quad (34)$$

$$C = \frac{F - F_1}{F}. \quad (35)$$

Здесь $g_{\text{м}}$ — местное ускорение свободного падения тел (м/с^2); ρ — условная плотность материала грузов (г/см^3), $\rho = 8,0 \text{ г/см}^3$; $m_{\text{п}}$ — масса поршня (кг); ρ_p — плотность ртути, $\rho_p = 13,5951$; g_0 — нормальное ускорение свободного падения тел (м/с^2), $g_0 = 9,80665 \text{ м/с}^2$; F — приведенная площадь поршня (см^2); F_1 — приведенная площадь верхней части поршня (см^2). Так как P_0 мало ($P_0 \leq 10^{-3} \text{ мм рт. ст.}$), а $F \approx F_1$, то членом $P_0 \frac{F_1}{F}$ можно пренебречь.

Значения $m_{\text{п}}$, m_0 , F и C приводятся в свидетельстве о поверке манометра.

Для расчетов значение P_a в правой части уравнения (32) принимается равным

$$P_a = A(m_0 + m - n).$$

Описанный манометр обеспечивает измерение давления в пределах 2—800 мм рт. ст. с погрешностью не более $\pm 0,05 \text{ мм рт. ст.}$ При этом необходимо соблюдать следующие условия:

- а) устанавливать поршень по вертикали с точностью $\pm 30''$;
- б) откачивать воздух над верхним торцом поршня до давления не более $10^{-3} \text{ мм рт. ст.}$;

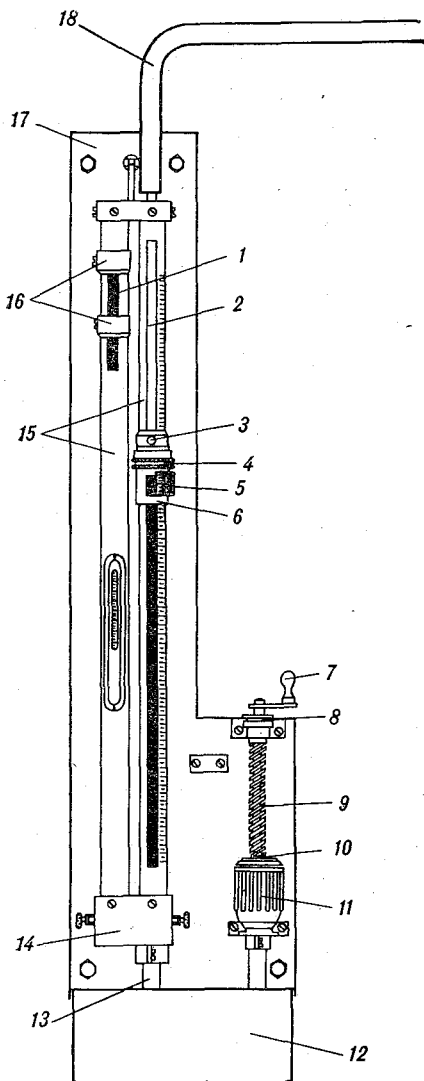


Рис. 24. Ртутный манометр МБП.

в) поддерживать температуру окружающего воздуха в пределах $20 \pm 0,2^\circ \text{C}$ или вводить поправку на температуру по формуле

$$\Delta P_t = P\alpha \left(2t_n - \frac{3t_v + t_c}{2} \right), \quad (36)$$

где P — измеряемое давление (мм рт. ст.), α — коэффициент линейного расширения материала поршня и цилиндров ($\alpha = 1,1 \times 10^{-5} \text{ град}^{-1}$), t_n — нормальная температура, равная 20°C , t_v и t_c — соответственно температура окружающего воздуха и среды.

Величина ускорения свободного падения тел должна быть известна с погрешностью, не превышающей $\pm 0,0004\%$; масса поршня с грузоприемным устройством и масса каждого груза — с погрешностью, не превышающей $0,001\%$.

Ртутный манометр МБП. Манометр МБП используется для измерения давления в барокамере. Пределы измерения давления 2—1070 мбар. Предельная погрешность измерения во всем диапазоне не более 0,3 мбар. Манометр (рис. 24) состоит из двух стеклянных трубок 1 и 2, опущенных в чашку со ртутью 14 и защищенных металлической оправкой 15. Запаянная сверху трубка 1 откачана до высокого вакуума и заполнена ртутью. Верх-

ний открытый конец трубки 2 шлангом 18 соединяется с барокамерой. Чашка 14 с помощью шланга 13 соединена с запасным объемом 11 со ртутью, который может перемещаться вверх или вниз вращением рукоятки 7 червячного подъемного механизма 8 и 9. Оправы трубок имеют прорезь для наблюдения за менисками ртути. На оправе трубки 2 для измерения уровня ртути нанесена шкала, вдоль которой может перемещаться под-

вижная муфта 6 с нониусом 5 и стопорным винтом 3. Для точной наводки нониуса служит микрометрическое кольцо 4. На оправе трубки 1 укреплены два нулевых кольца 16. Нижний срез верхнего кольца находится на уровне нуля шкалы, к нему подводится мениск ртути при измерениях путем перемещения запасного объема. Второе нулевое кольцо располагается на уровне 100 деления шкалы и используется при работе с низким атмосферным давлением.

Манометр подвешивается на деревянной панели 17, имеющей окна для подсветки менисков сзади. Внизу манометра крепится металлическая ванночка 12, служащая для сбора ртути при аварии.

При сличениях с манометром МБП открытую трубку манометра соединяют с атмосферой или барокамерой и вывинчивают винт 10 для доступа воздуха в запасной объем. Вращая рукоятку подъемного винта запасного объема, подводят мениск ртути под нижний срез нулевого кольца. Точная подводка ртути производится вращением микрометрической гайки подъемного винта. Затем перемещают подвижную муфту вдоль шкалы и устанавливают нониус по визирной плоскости на мениске ртути в манометре. Муфты закрепляют стопорными винтами. Точную наводку осуществляют вращением микрометрического кольца муфты. После этого проверяют правильность подводки ртути к нулю шкалы и визирных плоскостей муфты к менискам ртути и производят отсчеты показаний. В показания манометра вносится инструментальная поправка, взятая из поверочного свидетельства, поправка для приведения к 0° и поправка для приведения к нормальному ускорению свободного падения.

Установка для поверки стационарных чашечных барометров. Установка предназначена для поверки шкалы чашечных барометров в пределах от 600 до 1070 мбар (рис. 25). Она представляет собой бароколонку — закрытый металлический цилиндр 1, имеющий герметичную застекленную дверцу 2, которая прижимается к корпусу винтовыми затворами 3. Внутри цилиндра расположен поворотный штатив 6, на котором подвешиваются и закрепляются поверяемые барометры. Для вращения кремальер отсчетных устройств барометров во время поверки с правой стороны в стенке предусмотрены рукоятки 4. Рукоятка 5 в низу колонки служит для поворачивания штатива с барометрами. Бароколонка имеет электровводы для питания лампочек подсветки шкал, которые укреплены на штативе. В стенке колонки имеются два штуцера. Через один из них колонка соединяется с манометром, а к другому подсоединяется трехходовый кран, который служит для соединения с форвакуумным насосом (через запасной объем) или с атмосферой.

Барокамера БК-0,07 (рис. 26) служит для поверки барометров-анероидов и барографов. В ней поверяются также радиозонды. Застекленная дверца камеры 2 прижимается к корпусу 1

через резиновые прокладки при помощи откидных болтов 3. На боковой стенке размещены электровводы. В нижней части камеры расположен щиток управления, на котором имеется вен-

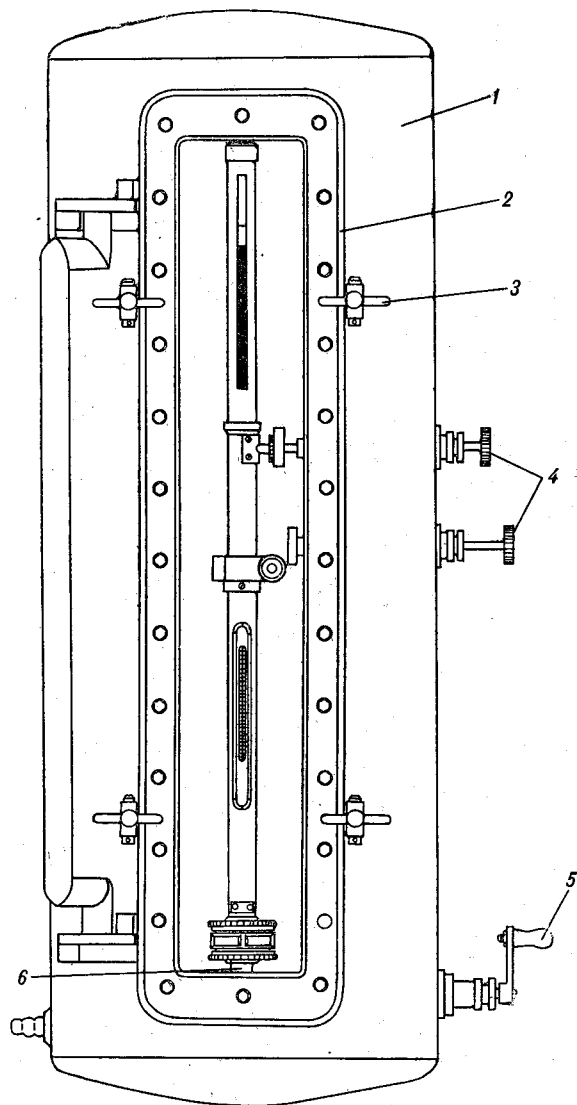


Рис. 25. Бароколонка.

тиль 5 для соединения камеры с насосом и вентиль 6 для соединения ее с атмосферой. Вентиль 5 позволяет регулировать скорость откачки воздуха из камеры. Для подключения с маномет-

ром сбоку камеры предусмотрен соединительный штуцер 4. Для удобства барокамера устанавливается на поворотной подставке, которая позволяет ставить ее окном вверх (при поверке anerои-

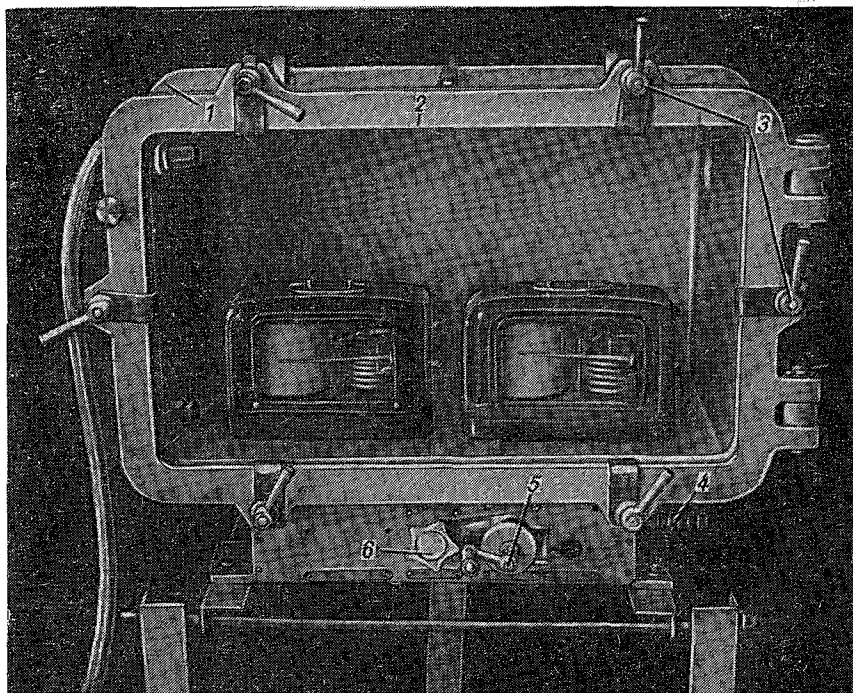


Рис. 26. Барокамера.

дов) или вертикально (при поверке барографов). Для проверки герметичности камеры нужно создать перепад давления порядка 300 мбар. Изменение давления в камере при закрытых вентилях не должно быть больше 1 мбар за 1 ч.

5.3. Поверка ртутных барометров и манометров

Источники погрешностей и определение поправок. Измерение атмосферного давления посредством ртутных барометров сводится к измерению разностей уровней ртути в трубке и чашке чашечного барометра или в закрытой и открытой трубках сифонно-чашечного барометра.

На высоту ртутного столба при измерениях влияют также: а) качество обработки стеклянной трубки и чистота наполняющей ее ртути, б) остаточное давление паров ртути и воздуха над

поверхностью ртути в запаянной сверху трубке, в) капиллярная депрессия, г) ход атмосферного давления.

Для увеличения точности показаний применяются барометрические трубки из стекла установленной марки (ГОСТ 1224-41); трубки предварительно старятся, тщательно обрабатываются кислотами и щелочами, после чего промываются дистиллированной водой и сушатся. Чистота ртути для барометров имеет особо важное значение, так как атмосферное давление может быть верно определено только при постоянной, точно установленной плотности ртути, которая при недостаточной очистке имеет разные значения в зависимости от степени загрязнения. Для барометров применяется специально очищенная ртуть марки Р-2 (ГОСТ 4658-49). Чистая ртуть не смачивает чистого стекла и ее поверхность в трубке (мениск) имеет выпуклую форму. Если ртуть или трубка недостаточно чисты, то на стенках трубки со временем образуется налет, при соприкосновении с которым ртуть прилипает к стенкам.

Минимальное остаточное давление над ртутью обеспечивается при изготовлении барометра путем откачки воздуха из трубок при высокой температуре и наполнении их ртутью под вакуумом. В дальнейшем вакуум над столбом ртути в барометре сохраняется при правильном обращении с прибором. Если вакуум нарушен, то барометр будет непригоден для работы.

Влияние капиллярной депрессии выражается в действии сил поверхностного натяжения на мениск. Результирующая этих сил направлена в сторону вогнутости мениска и в зависимости от формы мениска может уменьшать (выпуклый мениск) или увеличивать (вогнутый мениск) высоту столба ртути. Изменение высоты столба из-за капиллярной депрессии может быть вычислено по формуле

$$h = \frac{2\gamma}{\rho g r}, \quad (37)$$

где γ — поверхностное натяжение ртути, ρ — плотность ртути, g — ускорение свободного падения, r — радиус барометрической трубки.

Поверхностное натяжение, а следовательно, и величина капиллярной депрессии зависят от чистоты ртути и меняются по мере ее загрязнения. Для уменьшения влияния капиллярной депрессии применяют достаточно широкие барометрические трубки.

Изменение атмосферного давления приводит к изменению формы мениска. При увеличении давления мениск в закрытой трубке более выпуклый и высота столба ртути занижена, а при понижении давления, наоборот, мениск будет менее выпуклый и высота столба окажется завышенной. Ход атмосферного давления отражается главным образом на показаниях чашечного барометра. В сифонно-чашечных барометрах давление капиллярных сил в обеих трубках взаимно уравнивается.

Кроме перечисленных факторов, на показания ртутных барометров влияют также неточность их изготовления и условия, в которых они работают. Нормальными (стандартными) условиями принято считать температуру 0°C и ускорение $g_n = 980,665 \text{ см/с}^2$. Плотность ртути при 0°C принята равной $13,5951 \text{ г/см}^3$.

Влияние внешних условий и погрешности изготовления учитываются введением в показания барометра ряда поправок: инструментальной, поправки для приведения показаний барометра к 0° и поправки для приведения показаний барометра к нормальному ускорению свободного падения.

Инструментальной называется поправка барометра, исключаящая погрешности из-за неточности его изготовления: неточности установки нулевого индекса шкалы и нониуса, неточности нанесения делений шкалы и нониуса, отличие плотности ртути от нормальной, остаточное давление воздуха над ртутью, неточное наполнение ртутью чашечного барометра.

Инструментальная поправка барометра определяется при поверке путем сравнения его показаний с показаниями образцового барометра.

С изменением температуры изменяются плотность ртути и линейные размеры деталей барометра. Чтобы исключить это влияние, *показания барометра приводятся к 0°* . Для этого в отсчет барометра вводится поправка ΔP_t , которая вычисляется по формуле

$$\Delta P_t = - \frac{P_t (\alpha - \beta)}{1 + \alpha t} t, \quad (38)$$

где P_t — отсчет барометра, t — его температура, α и β — коэффициенты расширения ртути и шкалы барометра соответственно.

Знак поправки ΔP_t обратный знаку t .

На основании формулы (38) составляется таблица поправок ΔP_t для возможных значений температуры и давления, которой сейчас пользуются при приведении показаний барометра к 0° (см. в [27], табл. 5 приложения).

Следует отметить, что этот метод введения поправок ΔP_t приводит к некоторой погрешности в измерении, так как шкалы барометров наносят на заводе-изготовителе не при 0°C , а при комнатной температуре, близкой к 20°C . Более точные результаты можно получить, приводя показания шкалы барометров к 20°C , а ртути — к 0°C .

Показания ртутных барометров зависят от географической широты и высоты над уровнем моря места наблюдения. Это объясняется тем, что с изменением географической широты и высоты над уровнем моря меняется ускорение свободного падения, которое зависит от радиуса вращения данной точки земной поверхности и расстояния ее от центра Земли.

В связи с этим показания ртутных барометров приводят к нормальному ускорению свободного падения внесением поправки

$$\Delta P = B_{\varphi, H} \left(\frac{g_{\varphi, H}}{g_H} - 1 \right), \quad (39)$$

где $B_{\varphi, H}$ — показание барометра на широте φ и высоте H над уровнем моря, $g_{\varphi, H}$ — ускорение свободного падения в той же точке, $g_H = 980,665 \text{ см/с}^2$ — нормальное ускорение свободного падения.

Ускорение свободного падения в данной точке может быть определено экспериментально, а также вычислено по приведенным ниже формулам.

На широте φ на уровне моря

$$g_{\varphi, 0} = 980,616 (1 - 0,0026373 \cos 2\varphi + 0,0000059 \cos^2 2\varphi),$$

а на широте φ и высоте H над уровнем моря (для наземного пункта)

$$g_{\varphi, H} = g_{\varphi, 0} - 0,0003081H,$$

где H — высота пункта в метрах над уровнем моря.

Поправки для приведения показаний барометра к нормальному ускорению g_H в зависимости от широты места и высоты барометра над уровнем моря и от показаний барометра (величины атмосферного давления) приведены в [27], табл. 13 и 14 приложения. Этими таблицами и пользуются в работе для приведения показаний барометра к нормальным условиям.

При установке барометра на данной широте и высоте над уровнем моря поправку для приведения его показаний к нормальному ускорению свободного падения можно считать постоянной, так как в пределах изменений атмосферного давления она меняется мало.

При сличениях ртутных барометров, когда показания проверяемого барометра сравниваются с показаниями образцового, учитываются только инструментальная поправка образцового барометра и поправка на разность температур сравниваемых приборов.

Поправка для приведения показаний барометров к нормальному ускорению g_H в этом случае не вводится, так как она одинакова для обоих приборов.

В тех случаях, когда ртутный барометр сличается с грузопоршневым барометром или служит образцовым при проверке других приборов (например, анероидов и барографов), в его показания обязательно должна быть введена поправка, приводящая его показания к нормальному ускорению свободного падения.

При работе с ртутным манометром для приведения показаний манометра к нормальному ускорению g_n нельзя пользоваться одной поправкой по всему диапазону шкалы, так как величина этой поправки зависит от показания манометра. В этом случае целесообразно составить вспомогательную таблицу поправок на приведение показаний ртутного манометра к нормальному ускорению g_n в зависимости от величины измеряемого давления.

Внешний осмотр. При внешнем осмотре *контрольного и инспекторского барометров* (рис. 27, 28) проверяют мешок 8 с ртутью. Вынув барометр из футляра и держа его чашкой вверх в вертикальном положении, осторожно опускают на пол и отвинчивают стакан, прикрывающий мешок со ртутью. При осмотре надо убедиться в том, что мешок не поврежден, кожа его мягкая, эластичная и что он прочно укреплен на металлическом кольце, которое должно быть завинчено до отказа.

Подъемный винт 10, проходящий через дно защитного стакана 9, должен вращаться без заеданий на протяжении всей резьбы. Убедившись в исправности подъемного винта и кожного мешка навинчивают защитный стакан до отказа и ввинчивают подъемный винт до соприкосновения его пяточки 11 с мешком.

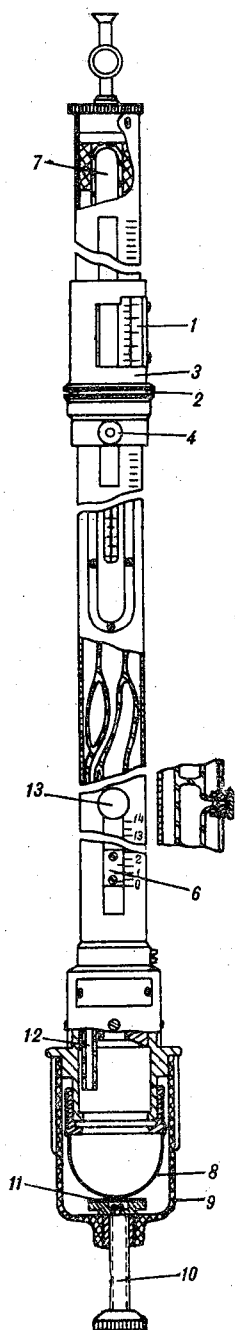
Проверяют отсутствие воздуха в барометрической трубке 7. Переворачивают барометр чашкой вниз (при положении короткой трубки над длинной 7 и 12) и открывают ниппель 13 для доступа воздуха в короткую трубку. После этого закрывают ниппель и, удерживая барометр двумя руками, осторожно наклоняют его в сторону длинной трубки, так, чтобы ртуть ударилась о верхний запаянный конец длинной трубки. Наклонять барометр следует осторожно, так как сильный удар ртути может разбить тонкостенную трубку. Звук от удара ртути о стекло должен быть звонкий, металлический. Такой звук указывает на отсутствие воздуха в длинной трубке. Глухой, мягкий звук бывает при наличии воздуха над ртутью.

Барометр подвешивают на крюк в барометрический шкаф и открывают ниппель. Опуская и поднимая ртуть в короткой трубке, следят за ее перемещением, которое должно быть плавным, без рывков. При вывинчивании до отказа подъемного винта ртуть в короткой трубке должна быть ниже нижнего среза прорези оправы не менее чем на 20 мм при атмосферном давлении 1000 мбар.

Поднимают ртуть до появления капельки ртути в отверстии ниппеля, при этом у подъемного винта должен оставаться запасной ход в 2—3 оборота. Этой операцией определяется, достаточно ли ртути в мешке.

Осветив барометр лампой, проверяют чистоту ртути в обеих трубках барометра и внутреннюю поверхность самих трубок.

В пределах шкалы стекло трубок не должно иметь пузырей, свилей, царапин, полос и других дефектов,



затрудняющих отсчет по мениску и ослабляющих прочность трубок. На внутренних поверхностях трубок не должно быть видимых невооруженным глазом пятен и загрязнений.

Мениски ртути в обеих трубках должны быть выпуклыми и расположенными симметрично относительно прорезей оправы. Осветив нижнюю прорезь оправы, надо убедиться в том, что в узкой части длинной трубки нет воздуха в виде мелких блестящих пузырьков, осевших на внутренней поверхности трубки. Нажимая слегка на верхнюю рабочую часть длинной трубки, надо убедиться в том, что она надежно укреплена и не смещается.

При вращении микрометричного винта 2 подвижная муфта 3 с нониусом 1 должна плавно перемещаться по оправе и надежно удерживаться стопорным винтом 4 в любом месте шкалы.

Пластика с нулевым индексом у контрольного барометра должна плотно держаться на кольце и прилегать к шкале. Средний штрих пластинки должен точно совпадать с десятым делением шкалы, а два крайних штриха должны быть расположены симметрично относительно пятого и пятнадцатого делений. Если установка индекса 6 сбита, то инструментальная поправка определяется после правильной его установки. В случае необходимости инструментальная поправка выводится и до правильной установки индекса. Нижний срез нулевого индекса должен быть в одной плоскости (перпендикулярной оси оправы) с задним срезом кольца, на котором он крепится и должен совпадать с нулевым делением шкалы.

В инспекторском барометре с нулем шкалы должен совпадать нижний срез хомутов 6 или 5 (рис. 28), скрепляющих трубки оправы.

После внешнего осмотра во избежание амальгамирования стенок надо опустить

Рис. 27. Контрольный барометр.

ртуть в короткой трубке ниже прорези в оправе и закрыть колпачок или кран 13 для доступа воздуха.

Манометр МБП для осмотра нужно подвесить в рабочем положении (см. рис. 24). После проверки чистоты ртути в трубках и исправности передвижной муфты с нониусом проверяют положение нулевых колец 16 и исправность подъемного устройства запасного объема. Нижние грани колец должны находиться на уровне нулевого и сотого делений шкалы в плоскости, перпендикулярной оси оправы. При вращении рукоятки 7 запасной объем должен свободно перемещаться по всей длине червячного винта вверх и вниз. Ртуть в обеих трубках при этом должна плавно подниматься или опускаться.

Осмотр чашечного барометра (рис. 29) начинают с чашки. Закрыв винтом отверстие для доступа воздуха, барометр переворачивают чашкой вверх, опирают другим концом об пол и, придерживая левой рукой крышку и среднюю часть чашки, отвинчивают дно. В перевернутом барометре открытый конец трубки должен находиться на 2—3 мм ниже поверхности диафрагмы, а сама диафрагма должна быть вся покрыта ртутью (проверка производится шаблоном). Такое положение открытого конца трубки предохраняет от попадания в трубку воздуха при переносе или перевозке.

После осмотра чашки проверяют отсутствие воздуха в трубке, чистоту ртути и исправность отсчетного приспособления.

Сравнения с показаниями образцовых приборов. Сравнения проводятся в соответствии с поверочной схемой (см. рис. 20). В результате этих сравнений находится инструментальная поправка и осуществляется поверка шкалы (для чашечного барометра). Инструментальная поправка определяется при атмосферном давлении. Для этого поверяемые барометры

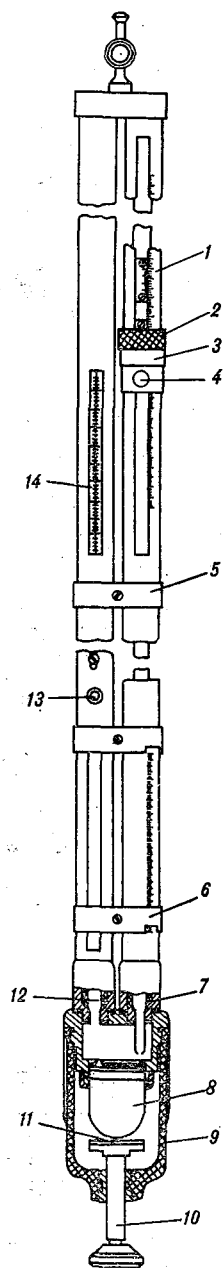


Рис. 28. Инспекционный барометр.

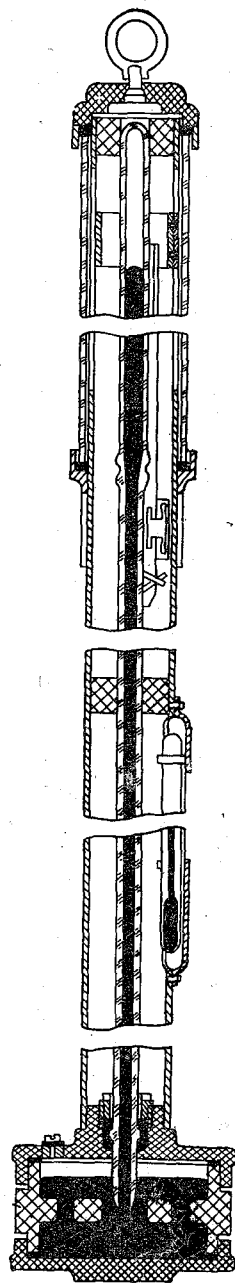
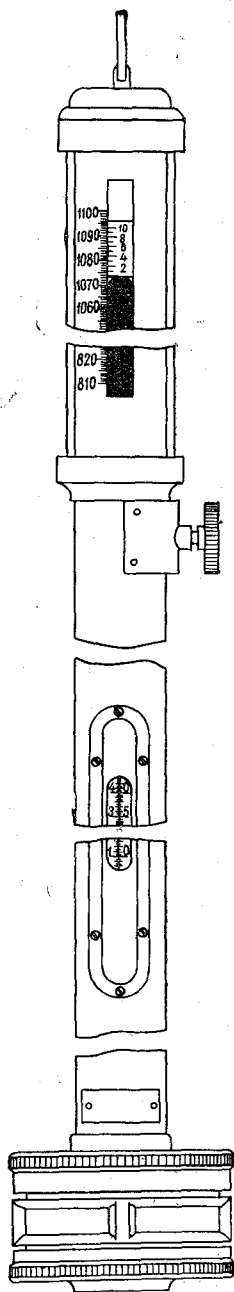


Рис. 29. Чашечный барометр.

устанавливают на одном уровне и в непосредственной близости с образцовыми приборами. В помещении, где производятся сравнения, принимаются меры по стабилизации температуры и устранению перепадов давления (закрываются двери, дымоходы и т. д.).

Сравнения начинают не раньше чем через 3—4 часа после установки приборов с тем, чтобы они приняли температуру окружающей среды. Отсчеты показаний можно производить только при достаточно устойчивом атмосферном давлении. Давление за один час не должно изменяться более чем на 0,5 мбар. Одновременно можно сравнивать несколько приборов. При отсчетах по ртутным барометрам необходимо использовать лупу и переносную лампу для подсветки шкал. Через лупу наблюдают двумя глазами так, чтобы линия глаз—центр лупы—деление шкалы была перпендикулярна шкале, а плоскость лупы—параллельна ей.

Отсчеты контрольного и инспекторского барометра (см. рис. 27 и 28) выполняются в следующем порядке.

Отсчитывают с точностью до десятых долей градуса показания термометров при барометрах t .

Отвинчивают на несколько оборотов колпачки ниппелей барометров 13 (у инспекторского барометра открывают кран 13). Подъемным винтом 10 поочередно плавно поднимают ртуть в короткой трубке поверяемых барометров до касательного положения вершины мениска к нижней визирной плоскости. Если случайно мениск перешел визирную плоскость, то необходимо опустить ртуть и снова подвести ее к визирной плоскости снизу.

Ослабив стопорный винт 4 и передвигая подвижную муфту 3, подводят верхнюю визирную плоскость до касания с мениском ртути в длинной трубке. Закрепив муфту стопорным винтом, корректируют наводку вращением микрометричного кольца 2.

Проверяют наводку нижних, а затем верхних визирных плоскостей барометров и, если нужно, корректируют ее.

Отсчитывают с точностью до сотых долей миллибара (миллиметра) и записывают показания образцового и поверяемого барометров P мбар (мм рт. ст.).

Опускают ртуть в коротких трубках всех барометров.

Через 10—15 мин производят повторные отсчеты показаний термометров и барометров.

По окончании пары отсчетов опускают ртуть в коротких трубках барометров ниже прорези оправы и завинчивают колпачки ниппелей.

Всего делают 10 отсчетов (5 пар), не более трех пар в день, с промежутком времени между парами не менее трех часов. Для большей объективности желательно, чтобы отсчеты производили разные лица, но каждую пару делает один поверитель.

При обработке результатов поверки в отсчеты барометров вводится температурная поправка и вычисляется среднее

значение разности $\overline{\Delta P}$ показаний образцового и поверяемого барометров.

Инструментальная поправка поверяемых барометров находится как алгебраическая сумма средних разностей $\overline{\Delta P}$ и инструментальной поправки образцового барометра, взятой из поверочного свидетельства. Инструментальная поправка вновь изготовленного или отремонтированного сифонно-чашечного барометра не должна превышать 0,4 мбар. Образец записи и обработки результатов сравнения для контрольного и инспекторского барометров дан в табл. 14, где для примера в качестве образцового прибора взят контрольный барометр (КР).

Величина инструментальной поправки чашечного барометра зависит от количества находящейся в нем ртути. Поэтому сначала определяют поправку ориентировочно (по одному отсчету) и в случае необходимости соответственно изменяют количество ртути в барометре. Количество ртути изменяют в том случае, если расхождения в отсчетах по чашечному и образцовому барометру превышают 0,2 мбар. Для этого устанавливают нониус чашечного барометра на деление, соответствующее исправленному отсчету образцового барометра и с помощью пипетки выбирают или доливают ртуть через отверстие в чашке до тех пор, пока визирная плоскость не станет касательной к мениску.

После регулировки величины инструментальной поправки приступают к сравнениям. Всего делают 10 отсчетов, причем не более трех пар в сутки и не чаще чем через 3—4 часа. Обработка результатов поверки приводится в лабораторной работе 5.2.

Поверка шкалы барометра производится в бароколоне при различных давлениях путем сличения с показаниями образцового манометра (см. лабораторную работу 5.2).

5.4. Поверка барометров-анероидов и барографов

Принцип действия этих приборов сводится к измерению или регистрации величины деформации мембранных коробок, вызываемой атмосферным давлением. На точность показаний деформационных барометров влияют следующие факторы.

Величина деформации мембранных коробок зависит от температуры, при изменении которой изменяется и упругость материала коробок. Поэтому влияние температуры компенсируют при изготовлении прибора. Компенсацию производят, оставляя в мембранных коробках некоторое количество газа или вводя в передаточную систему рычаг из биметалла. Однако полностью компенсировать влияние температуры не удастся.

Особенности конструкции передаточных систем, неточности их изготовления и неточности шкалы вызывают несовпадения показаний приборов с истинным давлением. Величина этого не-

совпадения может быть неодинаковой. на разных участках шкалы.

Показания деформационных барометров непостоянны вследствие влияния гистерезиса и упругого последействия мембранных коробок. Это непостоянство показаний уменьшают при изготовлении приборов путем искусственного старения коробок.

Со временем упругие свойства коробок меняются, вследствие чего меняются и показания прибора.

Для учета влияния указанных факторов в показания анероидов вводят поправки, которые определяют при поверке.

При измерении атмосферного давления барометром-анероидом в его показания вводят температурную, шкаловую и добавочную поправки.

Температурная поправка вводится в показания анероида, чтобы исключить влияние температуры. При поверке определяют температурный коэффициент, характеризующий изменение показаний при изменении температуры на 1° .

При работе с барометром-анероидом температурный коэффициент умножают на температуру прибора и полученную поправку придают к его показанию с соответствующим знаком. Тем самым показания анероида приводят к 0° .

Шкаловая поправка учитывает изменение инструментальной поправки по шкале. Она определяется путем сравнения показаний прибора с образцовым манометром по всей шкале.

Добавочная поправка барометра-анероида представляет собой разность между истинным атмосферным давлением и показанием анероида, исправленным температурной и шкаловой поправками. Добавочная поправка для данного анероида одинакова для всех участков шкалы.

При поверке барографа определяют температурную и шкаловые поправки для того, чтобы отбраковать приборы, поправки которых превышают установленную величину.

Поверка барометров-анероидов состоит из внешнего осмотра, определения температурной поправки, проверки шкалы и определения добавочной поправки.

Требования по внешнему осмотру для барометров-анероидов типа БАММ, МД-49-2 и барографов изложены в технических условиях на эти приборы и в инструкциях по поверке.

Определение температурной поправки. Температурная поправка барометров-анероидов и барографов определяется при атмосферном давлении путем сравнения их показаний при двух значениях температуры t_1 и t_2 с показаниями образцового барометра. Для обеспечения большей точности и надежности измерений температуры t_1 и t_2 должны отличаться друг от друга не менее чем на 25° . Можно использовать, например, комнатный ледник и термостат на $40-50^{\circ}$, конструкция которых позволяет производить отсчеты по анероидам, находящимся в горизонтальном положении. Изменение температуры

в них за время выдержки приборов в течение двух часов не должно превышать 2°.

Отсчеты по образцовому барометру и поверяемым приборам производятся с точностью до десятых долей мм рт. ст., отсчеты по термометру в леднике и термостате — с точностью до 0,1°. Температурный коэффициент вычисляется по формуле

$$k_t = \frac{\Delta P_{t_1} - \Delta P_{t_2}}{\Delta t},$$

где ΔP_{t_1} и ΔP_{t_2} — разности между значением давления по образцовому барометру и показаниями поверяемого прибора при температурах t_1 и t_2 ; $\Delta t = t_1 - t_2$ — разность температур в леднике и термостате, измеренная по образцовому термометру.

Величина температурного коэффициента барометров-анероидов и барографов не должна превышать 0,10 мм рт. ст./°С.

Проверка шкалы. Проверку шкалы барометра-анероида производят сравнением с показаниями ртутного манометра при давлении 790, 770, 760, 740, 720, 700, 680, 660, 640, 620 и 600 мм рт. ст.

Проверку шкалы анероидов производят в барокамере, имеющей горизонтальное смотровое стекло в следующем порядке.

Анероиды размещают горизонтально. Стрелки должны быть направлены в одну сторону (для удобства отсчетов).

Повышают давление до 792—795 мм, а затем понижают его до 790 мм и выдерживают приборы при этом давлении не менее 5 мин. Темп изменения давления не должен превышать 10 мм рт. ст. за одну минуту.

По окончании выдержки производят отсчеты показаний манометра, его термометра и поверяемых анероидов и записывают их в рабочий журнал. Отсчеты производят два поверителя. Первый начинает с манометра и кончает последним поверяемым анероидом, затем второй поверитель отсчитывает начиная с последнего анероида. Перед отсчетами необходимо постукиванием по корпусу установки устранить влияние трения в передаточных механизмах анероидов.

По окончании отсчетов понижают давление до 770 мм и после выдержки в таком же порядке производят отсчеты. Таким же образом производят сравнения показаний анероидов с показаниями манометра на всех остальных точках. На последней точке повышают давление до атмосферного и вынимают приборы из установки.

Шкаловые поправки вычисляют таким образом.

Показания манометра исправляют поправками: инструментальной, для приведения к 0° и для приведения к нормальному ускорению силы тяжести.

Вычисляют разности между исправленными отсчетами по манометру и отсчетами по анероиду Δ . Находят средние $\Delta_{ср}$ для двух значений, полученных для каждой точки.

На миллиметровой бумаге вычерчивают график, по горизонтальной оси которого откладывают показания анероида в масштабе 1 мм рт. ст. = 1 мм на бумаге, а по вертикальной оси — средние разности показаний $\Delta_{\text{ср}}$ в масштабе 0,1 мм рт. ст. = 1 мм на бумаге. Полученные точки последовательно соединяют отрезками прямой. Образец построения графика приведен на рис. 30.

Через точку на графике, соответствующую давлению 760 мм, проводят прямую, параллельную оси абсцисс. Эта прямая принимается за нулевую линию.

Над каждым десятком миллиметров давления выписывают значения поправок, отсчитанных от нулевой линии до соответствующей точки на графике со знаком плюс, если точка выше нулевой линии, и со знаком минус, если точка ниже нулевой ли-

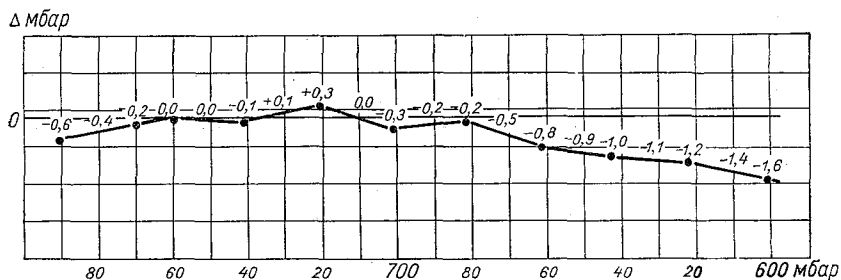


Рис. 30. График шкаловых поправок анероида № 15763/2194.

нии. Для удобства дальнейшей обработки результатов поверки шкаловые поправки сразу записывают в поверочное свидетельство прибора.

Изменения шкаловых поправок на каждые 10 мм шкалы не должны превышать 1,0 мм рт. ст. в диапазонах 790—770 и 620—660 мм шкалы и 0,5 мм рт. ст. в диапазоне 620—770 мм шкалы.

Определение добавочной поправки. Добавочную поправку определяют из сравнения показаний анероида с показаниями образцового барометра при атмосферном давлении и комнатной температуре в следующем порядке.

Поверяемые приборы размещают на столе вблизи образцового барометра.

Отсчитывают температуру и давление по образцовому барометру, а затем по анероидам и записывают отсчеты в рабочий журнал в графы « t », « P_t » и « P_A ». Образец записи приведен в табл. 13. Отсчеты производят два поверителя. Первый начинает с образцового барометра и заканчивает последним поверяемым анероидом, второй производит отсчеты в обратном порядке. Перед отсчетами необходимо постучать по стеклам анероидов.

Всего делают 10 отсчетов (5 пар) и не более двух парных отсчетов в сутки.

Запись результатов измерений при определении добавочной поправки анероида

Дата поверки	Образцовый барометр 1103						Анероид 15763/2194 $k_T = -0,04$						
	t°	P_t	Поправки		P_0 мбар	P_0 мм	t°	N	Δz	Δt	N_0	Δ	δ
16 VII 1964	19.7	1020.2	+1.2	-3.3	1018.1	763.6	20.2	764.0	-0.1	-0.8	763.1	+0.5	0.1
	19.8	20.2	+1.2	-3.3	18.1	63.6	20.2	64.0	-0.1	-0.8	63.1	+0.5	0.1
	20.0	21.9	+1.2	-3.3	19.8	64.9	20.5	65.5	-0.1	-0.8	64.6	+0.3	0.1
	20.0	21.9	+1.2	-3.3	19.8	64.9	20.5	65.5	-0.1	-0.8	64.6	+0.3	0.1
17 VII	19.6	20.3	+1.2	-3.3	18.2	63.7	20.3	64.2	-0.1	-0.8	63.3	+0.4	0.0
	19.8	20.4	+1.2	-3.3	18.3	63.8	20.3	64.2	-0.1	-0.8	63.3	+0.5	0.1
18 VII	19.5	27.7	+1.2	-3.3	25.6	69.3	20.0	70.1	-0.2	-0.8	69.1	+0.2	0.2
	19.5	27.7	+1.2	-3.3	25.6	69.3	20.0	70.0	-0.2	-0.8	69.0	+0.3	0.1
20 VII	20.6	33.5	+1.2	-3.5	31.2	73.5	21.0	74.2	-0.3	-0.8	73.1	+0.4	0.0
	20.7	33.5	+1.2	-3.5	31.2	73.5	21.2	74.2	-0.3	-0.8	73.1	+0.4	0.0
										$\bar{\Delta} = +0.4$			

Добавочные поправки вычисляют так:

показания образцового барометра исправляют поправками инструментальной, температурной и на приведение к нормальному ускорению свободного падения. Значения поправок записывают в графу «Поправки». Исправленные показания образцового барометра записывают в графу « P_0 мбар», переводят в миллиметры и записывают в графу « P_0 мм»;

показания анероида N исправляют шкаловой и температурной поправками. Для этого выполняют следующее. В графу « $\Delta_{ш}$ » записывают шкаловые поправки, снятые с графика или взятые из поверочного свидетельства и интерполированные для данного давления. В графу « Δ_t » записывают поправки для приведения показаний анероида к 0° (по температурному коэффициенту k_t анероида и его температуре t). Исправленные показания анероида записывают в графу « N_0 »;

вычисляют разности между исправленными показаниями образцового барометра P_0 и исправленными показаниями анероидов N_0 и записывают в графу « Δ »;

вычисляют добавочную поправку барометра-анероида как среднее арифметическое из десяти разностей Δ . Абсолютная величина добавочной поправки не должна превышать 3 мм рт. ст.;

вычисляют отклонения каждой из Δ от средней $\Delta_{ср}$ (добавочной поправки) и записывают их без знака в графу δ . Величина отдельных δ не должна превышать 0,3 мм.

Сравнение показаний анероида с показаниями образцового барометра. По окончании поверки анероида сравнивают его показания, исправленные шкаловой, температурной и добавочной поправками, со значением давления, измеренным с помощью образцового барометра.

Расхождение не должно превышать 0,5 мм рт. ст.

На барометр-анероид, признанный годным, выписывается поверочное свидетельство.

5.5. Поверка преобразователя давления УАТГМС

В УАТГМС применен стационарный чашечный барометр (рис. 31) с фотоэлектрическим устройством для автоматического слежения за уровнем ртути в трубке. Следящее устройство (рис. 32) состоит из оптической головки и измерительного механизма. Устройство работает следующим образом. Луч света от осветительной лампы 1 проходит через линзу 2, фокусируется в центре мениска ртутного столба и попадает на фоторезистор 3, установленный с противоположной стороны барометрической трубки 8. Фоторезистор включен в измерительную мостовую схему 5 с компенсационным фоторезистором 4, которая сбалансирована при положении луча над мениском. При перемещении столба ртути вверх или вниз фоторезистор будет перекрыт или

освещен и на выходе мостовой схемы появится сигнал разбаланса соответствующего знака. После усиления этот сигнал подается на реверсивный двигатель 6. Двигатель через редуктор

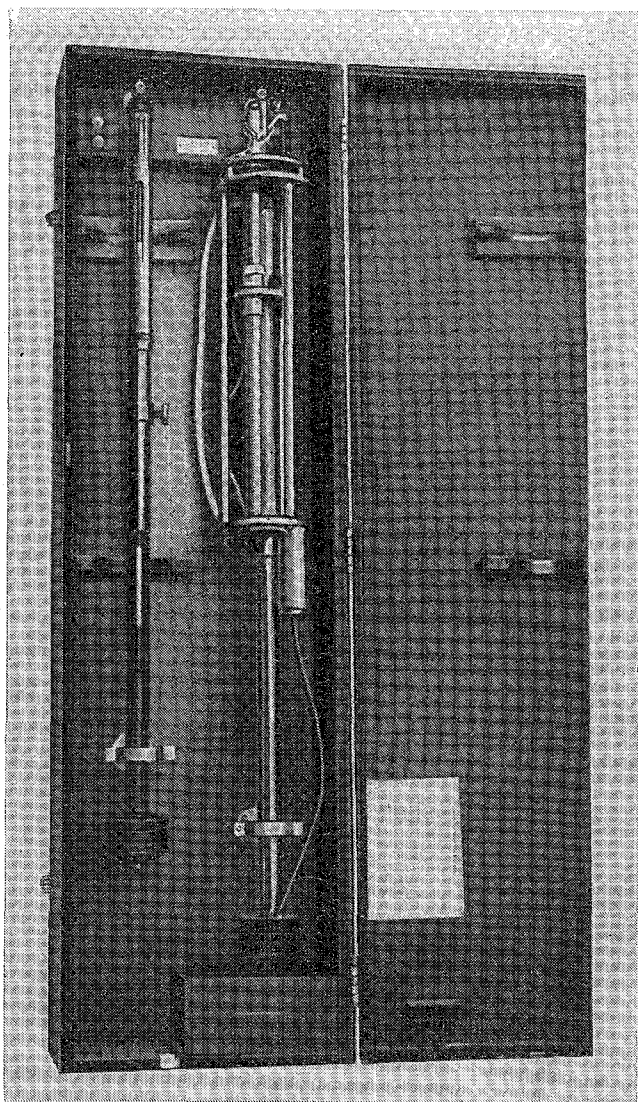


Рис. 31. Преобразователь давления УАТГМС.

вращает ходовой винт 9, перемещающий оптическую головку в положение, при котором луч света вновь окажется над мениском и сигнал разбаланса исчезнет. Одновременно угол поворота

ходового винта, пропорциональный изменению атмосферного давления, передается на ось многооборотного измерительного потенциометра 7 (R_5). Для соединения ходового винта с осью потенциометра применена поводковая муфта 10, снабженная диском с делениями 11, по которым устанавливается необходимый угол разворота осей. С помощью потенциометра изменение

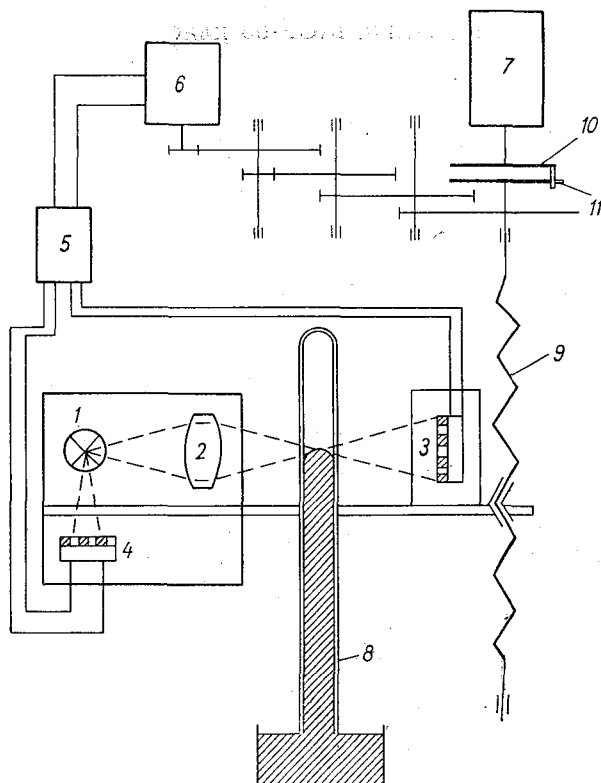


Рис. 32. Схема следящего устройства барометра УАТГМС.

высоты столба ртути преобразуется в изменение электрического сопротивления и передается на вход центрального устройства УАТГМС.

Электрическая схема дистанционного измерения давления, применяемая при поверке преобразователя, показана на рис. 33. Она представляет собой мост постоянного тока, состоящий из части схемы преобразователя и подключенных к ней элементов: Γ — гальванометра М 195/1, R_a — эталонной катушки РЗ31, 1000 Ом, B — батареи 1—1,5 В, K — тумблера, R_m — магазина сопротивлений.

В схему преобразователя входят измерительный потенциометр $R5$, последовательно с которым включено термосопротивление $R3$, служащее для компенсации влияния температуры на показания преобразователя, резисторы $R7$, $R8$, входящие в плечи моста и резисторы $R4$ и $R6$, необходимые для регулировки пределов измерений.

Уравновешивание схемы при измерениях осуществляется магазином сопротивлений типа МСР-63 класса 0,05. Номинальное сопротивление потенциометра составляет $217,5 \pm 0,1$ Ом. Перевод

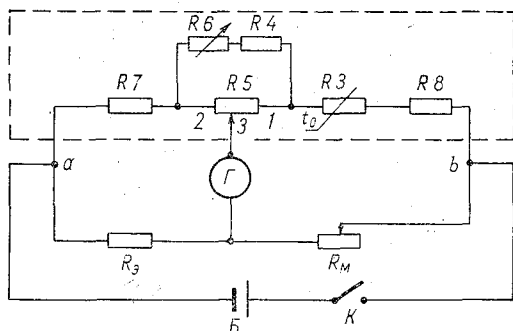


Рис. 33. Схема измерения давления при поверке барометра УАТГМС.

показаний преобразователя в величину атмосферного давления производится по формуле, полученной из условия равновесия мостовой схемы:

$$P = P_0 + \frac{\left(\frac{1000}{1000 + R_m} - \frac{R_{\min}}{R} \right) R}{R_{\max} - R_{\min}} K, \quad (40)$$

где P_0 — начальная точка диапазона (мбар), P — величина атмосферного давления, приведенная к 0°C (мбар), R_m — сопротивление магазина (Ом), R — полное сопротивление измерительной цепи преобразователя при 0°C между точками a и b (Ом), $R_{\min}$ — сопротивление преобразователя при минимальном измеряемом атмосферном давлении между точками a и b (Ом), $R_{\max}$ — сопротивление преобразователя при максимальном измеряемом давлении между точками a и b (Ом), K — постоянный коэффициент ($K = 108,8$).

Значения R , $R_{\max}$, $R_{\min}$ и R_0 указываются в паспорте на преобразователь.

Проверка работоспособности фотоэлектрической следящей системы. Перед проверкой работоспособности следящей системы проверяется сопротивление изоляции всех электрических цепей относительно корпуса преобразователя. Измерение производится мегомметром М-1101 при напряжении 500 В при температуре воздуха $20 \pm 5^\circ\text{C}$ и относи-

тельной влажности не более 80%. Допустимая величина сопротивления изоляции не должна быть меньше 20 МОм. После этого преобразователь подвешивается вертикально на стене и подключается к УАТГМС. Во включенном преобразователе оптическая головка следящей системы должна равномерно перемещаться вниз. Если перекрыть луч экраном, то она будет перемещаться вверх. Напряжения питания на электродвигателе при этом не должны отличаться друг от друга более чем на 0,5 В. Необходимая регулировка производится вращением диафрагмы компенсационного фоторезистора в мостовой схеме.

Приведение показаний преобразователя к показаниям образцового барометра. Преобразователь подключают к схеме в точках a и b (рис. 33) и устанавливают рядом с образцовым барометром на одной высоте. После выдержки около трех часов, необходимой для принятия преобразователем температуры помещения включают преобразователь и делают отсчет по образцовому барометру. Подставляя измеренное давление в формулу (40), рассчитывают требуемое сопротивление магазина R_m . Устанавливают это значение R_m на магазине, освобождают поводковую муфту многооборотного потенциометра и вращением диска потенциометра уравнивают схему по гальванометру, после чего муфту снова закрепляют.

Проверка преобразователя. После приведения показаний преобразователь поверяют при атмосферном давлении. Для этого делают 5 пар синхронных отсчетов по преобразователю и образцовому барометру. В день делается не более трех пар отсчетов с интервалом в три часа.

Показания преобразователя вычисляют по формуле (40). По измеренным значениям давления определяют средние арифметические значения разностей показаний образцового барометра и преобразователя. Если приведение показаний преобразователя было сделано правильно, то средние разности не должны превышать 0,1 мбар. В противном случае приведение к показаниям образцового барометра необходимо повторить.

Проверку преобразователя по всему диапазону измерения производят путем сличения его с образцовым грузопоршневым манометром при комнатной температуре. Для этого преобразователь помещают в герметичную камеру и подвешивают в вертикальном положении рядом с образцовым манометром на одном уровне. С помощью вакуумного шланга камеру соединяют с манометром и запасным объемом. К запасному объему присоединяют откачивающий насос и компрессор.

Проверку ведут с начальной точки диапазона через 20 мбар, постепенно повышая давление в камере и выдерживая на каждой точке не менее 5 мин. Отсчеты производят синхронно. После сличения определяют абсолютные значения разностей показаний приборов на каждой точке и сравнивают их с допусками.

5.6. Поверка преобразователя давления КРАМС

В станции КРАМС применен компенсационный весовой барометр, чувствительным элементом которого является вакуумированный сильфон (см. рис. 34). Один конец сильфона неподвижно закреплен в корпусе прибора, второй связан с коромыслом весового следящего устройства, посредством которого осуществляется автоматическое уравнивание и измерение усилия, развиваемого сильфоном под действием атмосферного давления. Давление может измеряться в пределах 100 мбар на любом участке диапазона от 500 до 1100 мбар. При каком-либо начальном значении атмосферного давления P_0 сила давления, действующая на сильфон, уравнивается с помощью непо-

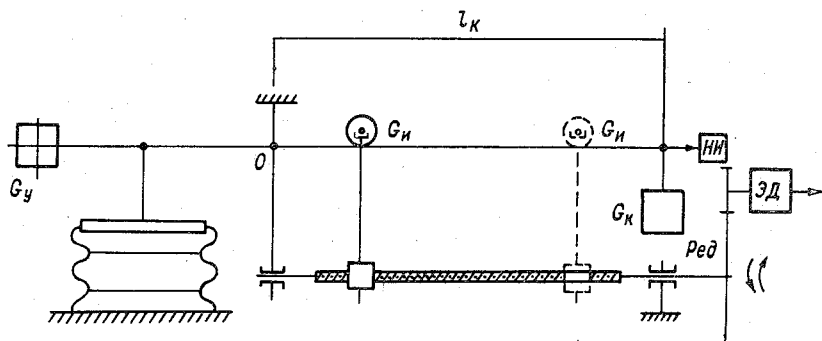


Рис. 34. Принципиальная кинематическая схема преобразователя давления КРАМС.

движных грузов G_y и G_k , расположенных на обоих плечах коромысла. Смещение начала диапазона измерения осуществляется сменой груза G_k . Отклонение атмосферного давления от P_0 на ΔP вызывает на сильфоне усилие, которое уравнивается и измеряется с помощью подвижного измерительного груза G_n . Измерение осуществляется автоматически с помощью следящего устройства.

Под действием атмосферного давления происходит перемещение центра сильфона по вертикали и наклон коромысла весового устройства. Это перемещение передается на сердечник индуктивного преобразователя (нуль-индикатора ИИ). Сигнал разбаланса с выхода индуктивного преобразователя после усиления поступает на реверсивный электродвигатель ЭД, который через редуктор Ред приводит в движение одновременно движок измерительного потенциометра и ходовой винт с гайкой, перемещающий измерительный груз G_n по коромыслу. Перемещение груза происходит до тех пор, пока не наступит равновесие в системе и сигнал разбаланса на выходе индуктивного преобразователя не будет равен нулю. По положению измерительного

груза в момент равновесия определяется величина измеряемого давления. Это положение определяется либо по числу оборотов ходового винта, либо по шкале потенциометра. Условия равновесия и уравнения шкалы преобразователя найдем из рассмотрения моментов сил, действующих на сильфон. Под действием атмосферного давления P создается момент, равный $M_P = PS_{\text{эфф}}l_p$, где $S_{\text{эфф}}$ — эффективная площадь сильфона, которая приближенно может быть найдена по среднему радиусу $R_{\text{ср}}$ из выражения

$$S_{\text{эфф}} = \pi R_{\text{ср}}^2.$$

Этот момент уравнивается моментами от грузов G_k и G_n , т. е.

$$(P_0 + \Delta P) S_{\text{эфф}} l_p = G_n (l_0 + \Delta l) + G_k l_k,$$

где l_p , l_0 и l_k — длина плеч рычагов. Так как момент от начального давления компенсируется моментом от груза G_n ($M_0 = G_n l_0$), то

$$PS_{\text{эфф}} l_p = G_n \Delta l + G_k l_k.$$

Так как $\Delta l = mh$, где m — число оборотов ходового винта, h — шаг винта, то

$$m = \frac{l_p}{G_n h} \left(PS_{\text{эфф}} - G_k \frac{l_k}{l_p} \right). \quad (41)$$

Если выбрать цену оборота винта, равной $k_m = 0,2$ мбар/об, то, полагая $P_0 S_{\text{эфф}} = G_k \frac{l_k}{l_p}$, получим уравнение в единицах давления

$$\Delta n = \frac{l_p}{5 G_n h} \Delta P S_{\text{эфф}}. \quad (42)$$

Полученное уравнение шкалы показывает, что влияние упругих сил сильфона, являющихся источником ошибок деформационных барометров, на результат измерения в данной конструкции практически исключается.

Погрешности преобразователя давления могут возникать под влиянием следующих факторов: изменения температуры окружающей среды, при перемене широты и высоты места наблюдения, при нарушении горизонтальности установки прибора, из-за неточности в изготовлении узлов следящей системы.

Температурная погрешность определяется неточностью соблюдения условий выбора температурных коэффициентов линейного расширения материалов элементов кинематики и наличием остаточного давления газа внутри сильфона. Эта погрешность может быть исключена применением термокомпенсатора.

Погрешность при перемене места наблюдения возникает из-за изменения величины ускорения свободного падения, приводящего к изменению веса компенсационных грузов следящей системы, и учитывается поправками.

Погрешностью установки преобразователя, вызванной отклонением его от горизонтальности, можно пренебречь, если это отклонение не превышает $\pm 10^\circ$.

Погрешности из-за неточности изготовления следящей системы определяются поверкой по шкале.

Конструктивно преобразователь оформлен в виде настольного прибора. Весь механизм помещен в герметичный корпус, снабженный вакуумными кранами для доступа воздуха. Установка на месте осуществляется по уровню с помощью винтовых ножек. Отсчет показаний по счетчику производится через смотровое окно. Для подключения к центральному устройству станции предусмотрены герметичные разъемы.

Определение вариации показаний. Вариация характеризует непостоянство показаний. Ее величина определяется при устойчивом атмосферном давлении. В течение одного часа давление не должно изменяться более чем на 0,5 мбар. При установившихся показаниях легким нажатием на конец коромысла изменяют его показания на 0,3—0,5 мбар поочередно в сторону увеличения и уменьшения давления. После прекращения нажатия и достижения баланса следящей системы производят серию по 5 отсчетов. Вычисляют среднее арифметическое из отсчетов и находят отклонение каждого отсчета от среднего. Преобразователь считается исправным, если отклонение каждого отсчета от среднего не превышает половины основной погрешности прибора.

Проверка герметичности корпуса прибора. Для проверки герметичности к корпусу присоединяют форвакуумный насос. Медленно приоткрывая кран соединительного штуцера, плавно понижают давление в камере до нижнего предела измерений, следя за показаниями преобразователя. Скорость изменения давления не должна превышать 5 мб/мин. По достижении необходимого давления в камере делают отсчеты по прибору и выдерживают его не менее одного часа при закрытых кранах. После выдержки вновь делают отсчеты по прибору. Аналогично делают проверку герметичности корпуса при верхнем пределе измерения. Прибор считается исправным, если изменение давления в корпусе при закрытых кранах не превышает 0,5 мбар в один час.

Определение скорости отработки следящей системы. Скорость отработки характеризует инерцию преобразователя и определяется следующим образом. С помощью насоса доводят давление в камере преобразователя до нижнего предела измерений P_1 , отсчитывают показания прибора и, открыв кран для сообщения с атмосферой, включают секундомер.

В момент прекращения изменения показаний секундомер выключают и отсчитывают показания P_2 по прибору вторично. Скорость отработки вычисляется как отношение $\frac{P_1 - P_2}{t_1 - t_2}$ и не должна быть менее 5 мбар/мин.

Определение температурной поправки. Температурная поправка определяется при атмосферном давлении путем сличения показаний прибора с показаниями образцового барометра при двух значениях температуры по методике, изложенной в п. 4.5. Величина поправки не должна превышать $\pm 0,05$ мбар на 1° .

Поверка шкалы. Поверка шкалы производится путем сличения преобразователя с образцовым грузопоршневым манометром по всему диапазону от нижнего предела до верхнего и наоборот через 20 мбар. Одна из точек берется при текущем атмосферном давлении. Перед поверкой приборы должны быть отрегулированы для работы в нужном диапазоне. Для работы собирается установка, подобная описанной выше, по схеме: прибор — образцовый манометр — запасной объем — насос. В помещении должна поддерживаться устойчивая температура. Изменение температуры не должно быть больше $0,5^\circ$ за один час.

Регулируя краном скорость откачки, понижают давление в системе до нижнего предела. Скорость изменения давления должна быть не более 5 мбар/мин, а выдержка при заданном давлении — не менее 20 мин.

Показания преобразователя и манометра отсчитываются одновременно двумя наблюдателями. На каждой точке производится по 5 отсчетов. При переходе через атмосферное давление к системе подключают компрессор. На верхнем пределе диапазона сличения делают дважды, а затем повторяют их в обратном направлении. Результаты поверки оформляются следующим образом. Вычисляют давление по показаниям образцового манометра P_0 . Показания преобразователя P_{Π} исправляют температурной поправкой. Для этого температурный коэффициент, найденный ранее, умножают на величину $(20^\circ\text{C} - t_{\Pi}^\circ)$, где t_{Π}° — температура преобразователя в момент отсчета. Полученную величину прибавляют к показаниям преобразователя. Вычисляют разности ΔP между показаниями образцового манометра P_0 и исправленными показаниями P_{Π} . Вычисляя среднюю разность $\overline{\Delta P}$, находят инструментальную поправку

$$\Delta = \overline{\Delta P}.$$

Вычисляют отклонение δ отдельных разностей ΔP от средней разности $\overline{\Delta P}$. Полученные значения δ характеризуют абсолютную погрешность отсчетов и не должны превышать 0,2 мбар. Инспекционная поверка преобразователя давления в полевых

условиях производится путем сличения показаний центрального устройства КРАМС по каналу давления с показаниями инспекторского образцового манометра при атмосферном давлении. Поверка ведется в указанном выше порядке. По результатам поверки вычисляют среднюю разность между показаниями ЦУ КРАМС и давлением, измеренным с помощью образцового манометра. Отклонения отдельных разностей от средней не должны превышать установленного допуска 0,25 мбар.

Лабораторные работы

5.1. ПОВЕРКА СИФОННО-ЧАШЕЧНОГО БАРОМЕТРА

Содержание работы. Определение инструментальной поправки барометра.

Поверочное оборудование и приборы. Образцовый барометр и барометрический шкаф.

Указания по выполнению работы. Для определения инструментальной поправки сифонно-чашечный барометр сличают с образцовым барометром. Делают 5 пар отсчетов. Для большей надежности сличения производят при разных давлениях в течение двух-трех дней. Для ускорения в лабораторных условиях отсчеты можно производить через 15 мин. Запись результатов поверки производится по форме, приведенной в табл. 14.

Инструментальную поправку вычисляют в следующем порядке: в показания термометра t_1 вводят поправки Δt из поверочного свидетельства на термометр, исправленные значения заносят в графу « t ». Находят разность температур Δt между образцовым барометром и поверяемым, записывают ее с обратным знаком. Находят разность показаний образцового и поверяемого барометров ΔP . Определяют средние значения разности температур Δt и разности давлений ΔP . Просматривают отклонения отдельных разностей ΔP от средней и записывают их в графу « δ ».

В средние значения разности давлений вводят инструментальную поправку образцового барометра из поверочного свидетельства, равную $-0,4$ мбар.

По среднему значению $\Delta t = +0,22$ находят в [27], табл. 7 приложения поправку на разность температур образцового и поверяемого барометров, равную $+0,04$. Сложив алгебраически среднюю разность и все поправки, получают $-0,31 + (-0,04) + 0,04 = -0,31$ мбар, т. е. инструментальную поправку поверяемого барометра.

Просматривают соответствие полученных результатов поверки допускам.

В табл. 14 отклонение отдельных разностей ΔP от средней не превышает 0,12 мбар при допуске 0,15 мбар, инструментальная поправка не превышает допуск (0,40 мбар).

Контрольные вопросы

1. В чем состоит отличие контрольного и инспекторского барометров?
2. Почему при поверке ртутных барометров с образцовыми ртутными барометрами в их показания не вводится поправка на ускорение свободного падения?

5.2. ПОВЕРКА ЧАШЕЧНОГО БАРОМЕТРА

Содержание работы. Поверка барометра по шкале. Определение инструментальной поправки.

Поверочное оборудование и приборы. Установка из бароколонки и манометра, барометрический шкаф с образцовым и чашечным барометрами. Луна.

Запись результатов поверки сифонно-часечного барометра

Дата	Образцовый барометр $\Delta = -0,04$ мбар					Поверяемый барометр					
	t_1	Δt	t	P	t_1	Δt	t	P	Δt	ΔP	δ
25 VII 1972	17.8	+0.2	18.0	1037.45	17.9	+0.2	18.1	1037.69	+0.1	-0.24	0.07
	18.3	+0.2	18.5	37.22	18.2	+0.2	18.4	37.49	-0.1	-0.27	0.04
	20.5	+0.2	20.7	35.12	20.7	+0.2	20.9	35.56	+0.2	-0.44	0.13
	20.5	+0.2	20.7	35.05	20.8	+0.2	21.0	35.24	+0.3	-0.19	0.12
27 VII	16.6	+0.2	16.8	12.69	16.8	+0.1	16.9	12.96	+0.1	-0.27	0.04
	16.9	+0.2	17.1	12.80	17.1	+0.1	17.2	13.23	+0.1	-0.43	0.12
27 VII	21.1	+0.2	21.3	13.36	21.5	+0.2	21.7	13.66	+0.4	-0.30	0.01
	21.2	+0.2	21.4	13.32	21.6	+0.2	21.8	13.67	+0.4	-0.35	0.04
	18.5	+0.2	18.7	15.55	18.8	+0.2	19.0	15.84	+0.3	-0.29	0.02
	18.7	+0.2	18.9	15.43	19.1	+0.2	19.3	15.79	+0.4	-0.36	0.05
Сумма											
Среднее											
Инструментальная поправка образцового барометра											
Поправка на разность температур											
Инструментальная поправка поверяемого барометра											
$\Delta = -0.31$ мбар											

Указания по выполнению работы. Работу выполняют два исполнителя. Производят внешний осмотр. Для этого подвешивают барометры в бароколонке и закрепляют их хомутиками в вертикальном положении. Проверяют возможность вращения кремальеры у каждого барометра. Отвинчивают винты для допуска воздуха у барометров и закрывают дверцу бароколонки. Затем понижают давление в бароколонке до нижнего предела шкалы барометров. Осматривают чашки барометров. Из их отверстий не должна выливаться ртуть. Устанавливают давление равное 810 мбар и выдерживают барометры на этих точках 3 мин.

Отсчитывают показания термометров t , манометра и барометра и показания манометра P_m и барометра P . Запись выполняют по форме, приведенной в табл. 15, где ΔP и Δt — соответствующие разности показаний манометра и барометра и их термометров; ΔP_t — поправки к показаниям барометров P на разность температур Δt , найденные в [27], табл. 7 приложения, ΔP_0 — исправленные значения поправок по шкале. Отсчеты производят с точностью до 0,1 мбар. Затем в бароколонке повышают давление на 30 мбар и через 3 мин повторяют отсчеты.

Таблица 15

Запись результатов поверки чашечного барометра по шкале

Дата поверки	Манометр № 512		Чашечный барометр № 596427/4112					
	$t^{\circ}C$	P_m	t	P	ΔP	Δt	ΔP_t	ΔP_0
13 VI 1972	16.0	806.7	16.0	806.5	+0.2	0.0	0.0	+0.2
	16.1	839.8	16.3	839.6	+0.2	+0.2	0.0	+0.2
	16.1	868.8	16.7	868.8	0.0	+0.6	+0.1	+0.1
	16.1	901.1	17.0	901.2	-0.1	+0.9	+0.1	0.0
	16.2	930.6	17.1	930.7	-0.1	+0.9	+0.1	0.0
	16.3	960.0	17.3	960.3	-0.3	+1.0	+0.2	-0.1
	16.4	988.0	17.6	988.3	-0.3	+1.2	+0.2	-0.1
	16.4	1019.6	17.9	1019.9	-0.3	+1.5	+0.2	-0.1
	16.4	1050.0	18.0	1050.4	-0.4	+1.6	+0.3	-0.1

Поверка чашечного барометра производится до верхнего предела шкалы, через 30 мбар.

После поверки по шкале чашечный барометр переносят в барометрический шкаф и определяют его инструментальную поправку.

Для определения инструментальной поправки чашечного барометра делают 5 пар отсчетов поверяемого и образцового барометров. Температуру барометров отсчитывают в начале и в конце сравнения. Сравнения производят через 15 мин. Отсчеты показаний барометров производят с помощью лупы с точностью до 0,01 мбар. Форма записи и обработки результатов измерений приведена в табл. 16.

Для вычисления инструментальной поправки вычисляют разности показаний поверяемого и образцового барометров и среднюю разность из 10 отсчетов.

Отклонения 8 отдельных значений ΔP от среднего при сличениях не должны превышать 0,3 мбар.

Полученная средняя разность показаний образцового и поверяемого барометра за вычетом инструментальной поправки образцового барометра и будет инструментальной поправкой чашечного барометра.

**Запись результатов при определении инструментальной поправки
чашечного барометра**

Дата поверки	Контрольный барометр № 1103 $\Delta = -0,35$		Чашечный барометр № 596427/4112			
	$t^{\circ} \text{C}$	P	$t^{\circ} \text{C}$	P'	ΔP	δ
16 VI 1972	18.7	1007.92	18.9	1007.39	+0.53	0.04
		1007.91		1007.20	+0.61	0.12
		1005.88		1005.51	+0.37	0.12
		1006.01		1005.50	+0.51	0.02
		1005.90		1005.41	+0.49	0.00
		1005.95		1005.53	+0.42	0.07
		1008.34		1007.91	+0.43	0.06
		1008.41		1007.85	+0.56	0.07
		1007.88		1007.33	+0.55	0.06
		1007.92		1007.52	+0.40	0.09
	19.2	Сумма	19.3		+4.87	

Среднее после округления +0.49
 Инструментальная поправка образцового барометра -0.35
 Инструментальная поправка поверяемого барометра +0.14
 или округленно +0.1

Контрольные вопросы

1. Почему у чашечного барометра производится поверка шкалы?
2. Каковы особенности устройства чашечного барометра?
3. Как регулируются поправки у чашечного барометра?
4. Почему при определении поправок барометров поправки на разность температур образцового и поверяемого барометров берется с обратным знаком?
5. Какие промежутки времени между отсчетами необходимы при определении инструментальной поправки барометров?

5.3. ПОВЕРКА БАРОГРАФА И ЕГО РЕГУЛИРОВКА

Содержание работы. Подготовка барографа к работе, определение его температурной поправки, поверка шкалы, регулировка температурного компенсатора и чувствительности барографа.

Поверочное оборудование и приборы. Барограф, образцовые барометр и манометр, барокамера.

Указания по выполнению работы. Барографы применяются для записи измерений атмосферного давления в диапазоне 100 мбар в пределах от 780 до 1060 мбар при температуре воздуха от -10 до $45-55^{\circ}\text{C}$. При выпуске с завода приборы регулируются для работы в диапазоне от 950 до 1050 мбар. Приемная часть барографа (рис. 35а, б) состоит из блока anerондных коробок 3. Коробки закреплены на свободном конце биметаллической пластины — температурного компенсатора 9, смонтированного на нижней стороне платы 10 прибора.

Длину свободного конца пластины можно изменять перемещением скобы 7 стопорным винтом 8 и тем самым осуществлять необходимую регулировку

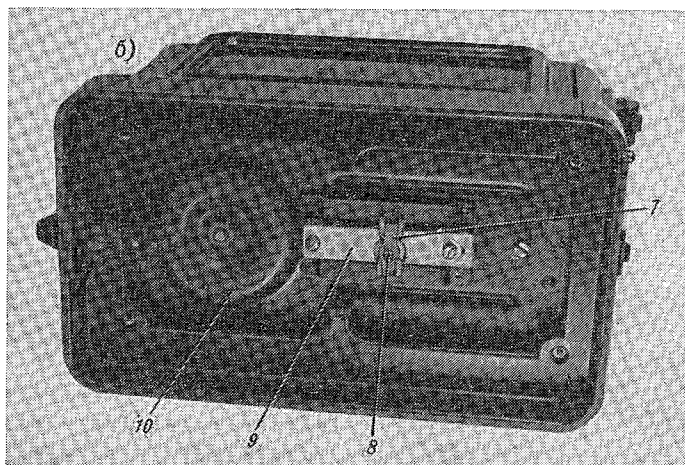
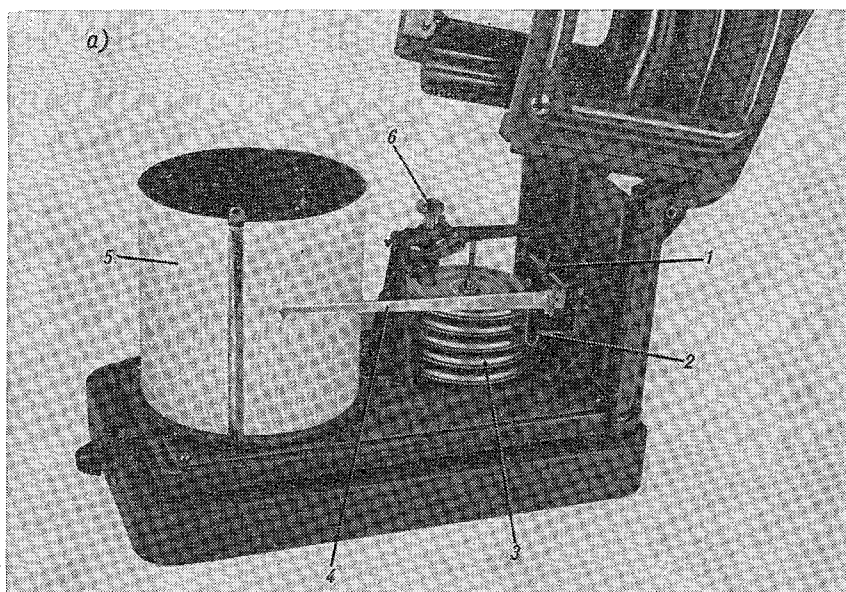


Рис. 35. Барограф.

величины температурной компенсации барокоробок. Верхняя барокоробка блока с помощью передаточного механизма соединена со стрелкой самописца 4. Ленты самописца 5 имеют прямые горизонтальные и дуговые вертикальные линии. Расстояние между горизонтальными линиями соответствует 2 мбар, а между дуговыми линиями — 15 мин у суточного барографа и 2 часа у недельного.

Регулировка чувствительности барографа осуществляется за счет изменения длины плеча рычага 1 передаточной системы. Рычаг 2 служит для отвода стрелки от барабана. Отметки времени на ленте производится нажатием кнопки на стенке корпуса. Перемещение стрелки по шкале производится установочным винтом 6.

Температурная поправка барографа определяется путем сравнения его показаний с показаниями образцового барометра при двух значениях температуры. Для получения необходимой точности разность температуры должна быть не менее 25°C , а изменение температуры за время выдержки прибора не должно превышать 2°C . Работу можно выполнять при температуре помещения и в термостате с температурой $45\text{--}50^{\circ}\text{C}$. Порядок выполнения работы следующий.

Производят внешний осмотр барографа и проверку записи на ленте. Для этого устанавливают стрелку барографа по значению давления, измеренному по ртутному барометру и ставят барограф в помещение при комнатной температуре на один час, рядом с барографом ставят термометр. По истечении часа отсчитывают давление по ртутному барометру с точностью до 0,1 мбар и производят отсчет по термометру. Сделав отметку на ленте барографа, отводят перо от барабана. Провернув барабан рукой, прижимают перо к барабану на чистое место ленты. Затем устанавливают барограф и термометр в термостате и доводят в нем температуру до $45\text{--}50^{\circ}\text{C}$.

После выдержки барографа в термостате производят отсчет по барометру и термометру, вынимают его из термостата и отводят перо. Снимают с ленты барографа показания при комнатной температуре и в термостате. Результаты измерений записывают по форме табл. 17.

Таблица 17

Запись результатов при определении температурной поправки барографа

Образцовый барометр				Образцовый термометр $t^{\circ}\text{C}$	Барограф	
$t^{\circ}\text{C}$	P	Поправки	P_0		P'	Δ мб
21.0	1008.4	+1.2 —3.4	1006.2	17.7	1007.5	—1.3
20.9	1007.9	+1.2 —3.4	1005.7	43.2	1008.8	—3.1
				25.5		—1.8

$$k_T = -0.07$$

Температурная поправка вычисляется в следующем порядке.

В отсчеты образцового барометра P вводят поправки на ускорение свободного падения, инструментальную и на приведение показаний барометра к 0° . Определяют и записывают разность давлений Δ между исправленными показаниями барометра P_0 и показаниями барографа P' (см. табл. 17, $\Delta = -1,8$ мб) и разность температур в комнате и термостате по образцовому термометру (там же $+25,5^{\circ}\text{C}$).

Полученную разность давлений делят на разность температур, получают $-1,8 : 25,5 = -0,07$, т. е. температурный коэффициент k_T .

Если найденная величина температурного коэффициента не соответствует допускам, то производят регулировку температурного компенсатора барографа (как показано далее).

Поверка барографа по шкале производится в барокамере путем сличения его показаний при различных давлениях с показаниями образцового манометра. В барокамере последовательно создают значения давления 950, 970, 990, 1000, 1010, 1030 и 1050 мбар. На каждой точке барографы с суточным часовым механизмом выдерживают не менее 10 мин и делают отсчеты по манометру.

После поверки барографа при давлении 1050 мбар понижают давление в камере до атмосферного и вынимают приборы из камеры. Запись и обработку результатов производят по форме табл. 18.

Таблица 18

Запись результатов при поверке барографа

Дата поверки	Манометр				Барограф		
	$t^{\circ}\text{C}$	P_t	Поправки	P_0	P'	Δ_1	Δ
29 VI 1972	20.1	952.8	+0.2 —3.1 +1.2	951.0	949.2	+1.8	+0.6
	10.1	973.2	+0.2 —3.2 +1.2	971.4	969.8	+1.6	+0.4
	20.3	991.4	+0.2 —3.3 +1.3	989.6	988.2	+1.4	+0.2
	20.3	1004.0	+0.2 —3.3 +1.3	1002.2	1001.0	+1.2	0.0
	20.4	1034.2	+0.2 —3.3 +1.3	1011.7	1010.7	+1.0	—0.2
	20.4	1034.2	+0.2 —3.4 +1.3	1032.3	1031.9	+0.4	—0.8
	20.5	1054.6	+0.2 —3.5 +1.3	1052.6	1052.6	0.0	—1.2

Снимают показания барографа P' с ленты с точностью до десятых долей миллибара. Показания манометра P_t исправляют поправками: инструментальной, для приведения к 0° и нормальному ускорению свободного падения.

Вычисляют и записывают разности Δ_1 исправленных показаний манометра и барографа. Из полученных в графе « Δ_1 » разностей вычитают величину разности при давлении 1002,2, равную +1,2 и получают приведенные разности Δ .

Проверяют соответствие приведенных разностей шкаловых поправок допускам. На приборы, признанные годными, выписывают поверочное свидетельство.

Контрольные вопросы

1. Как производится поверка хода часовых механизмов самописцев?
2. Как влияет температура на показания барографа?
3. Какое необходимо время выдержки барографа при определении температурной поправки?
4. Для чего на ленте барографа наносятся три шкалы?
5. По какой шкале поверяются барографы на заводе?
6. Требуется ли регулировка барографа, выпущенного заводом, при использовании в местах с низким атмосферным давлением?

Регулировка температурного компенсатора барографа. Степень влияния температуры на показания барографа регулируется изменением длины свободного конца биметаллического компенсатора путем перестановки колодки.

Если полученный при поверке температурный коэффициент барографа имеет знак «минус», колодку следует передвинуть к оси часового механизма, т. е. рабочую часть биметаллической пластины удлинить.

При знаке «плюс» колодку передвигают в обратную сторону.

Для определения величины перемещения колодки, нужно определить, на сколько температурный коэффициент данного барографа превышает допуск (0,1 мбар/ $^{\circ}\text{C}$).

Если при определении температурной поправки барографа перепад температуры был равен $25,5^{\circ}\text{C}$, а разность показаний составляла 4,0 мбар, то допустимая разность показаний будет $25,5 \times 0,1 = 2,55$ мбар.

Следовательно, температурная погрешность барографа превышает допуск на $4,0 - 2,55 = 1,45$ мбар.

Так как изменение длины рабочей части биметаллической пластины на 0,5 мм изменяет погрешность в определении давления приблизительно на 1 мбар, то величина необходимого перемещения колодки термокомпенсатора будет $1,45 \times 0,5 = 0,727 \approx 1$ мм.

После перестановки колодки на эту величину необходимо снова определить температурную поправку барографа.

Регулировка чувствительности барографа. Под чувствительностью барографа понимают величину смещения пера, соответствующую изменению давления на 1 мбар.

О величине чувствительности судят по ходу и величине шкаловых поправок Δ , определенных при поверке на средней и крайних точках диапазона, т. е. при давлении 950, 1000 и 1050 мбар.

Регулировка чувствительности производится в том случае, если приведенные поправки Δ при давлении 950 и 1050 мб превышают ± 1 мбар.

Если поправка на точке 1050 мбар будет с отрицательным знаком, а на точке 950 мбар с положительным, то чувствительность барографа велика. Для уменьшения чувствительности следует регулировочный винт повернуть против часовой стрелки из расчета один оборот на 1 мбар разности поправок на крайних точках. Если поправка на точке 1050 мбар будет с положительным знаком, а на точке 950 мбар с отрицательным, то это означает, что чувствительность барографа мала.

Для увеличения чувствительности следует повернуть регулировочный винт по часовой стрелке.

Если барограф имеет поправки на точках 950 и 1050 мбар с одинаковым знаком и они превышают допуски, то чувствительность у барографа неравномерна.

В этом случае чувствительность регулируется поворотом стрелки на оси с последующей установкой ее по давлению установочным винтом. Результаты поверки записываются по форме, приведенной в табл. 19. Как видно из табл. 19, у барографа № 428 чувствительность мала. Разность поправок равна $2,8 + (-3,3) = 6,1$ мбар. Для регулировки чувствительности следует регулировочный винт повернуть по часовой стрелке приблизительно на 6 оборотов.

Таблица 19

Запись поправок барографа при разной чувствительности

Давление, мбар	Барограф		
	№ 428	№ 534	№ 642
1050	+2.8	-2.2	+1.9
1000	0.0	0.0	0.0
950	-3.3	+2.0	+1.0
	мала	Чувствительность: велика	неравномерна

У барографа № 534 чувствительность велика. Разность поправок равна $-2,2 - (+2,0) = 4,4$. Для уменьшения чувствительности регулировочный винт следует повернуть против часовой стрелки приблизительно на 4 оборота.

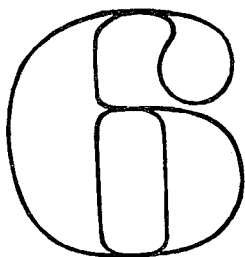
У барографа № 642 чувствительность неравномерна. На участке шкалы от 1000 до 1050 мбар чувствительность мала, а на участке от 1000 до 950 мбар — нормальна.

Для выравнивания чувствительности отсчитывают показания барографа при атмосферном давлении и, ослабив винт, закрепляющий стрелку, поворачивают ее в сторону участка шкалы с нормальной чувствительностью, т. е. вниз на величину примерно в 10 раз большую, чем величина поправки $1,9 \times 10 = 19$ мбар, затем винтом закрепляют стрелку и устанавливают перо на атмосферное давление.

Чтобы убедиться в годности барографа после изменения чувствительности, необходимо снова определить его поправки при давлении 950, 1000 и 1050 мбар.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой температурный компенсатор барографа?
2. Как подрезается лента барографа перед установкой на барабан часового механизма прибора?



ПОВЕРКА ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

6.1. Поверочная схема

В качестве характеристик влажности воздуха приняты следующие величины [3].

Упругость водяного пара, или парциальное давление e . Единицы измерения e : дин/см², мб, мм рт. ст.¹. При увеличении влажности упругость водяного пара e возрастает до максимально возможной величины E при данной температуре, после чего может происходить конденсация водяного пара в виде росы (льда). Величина E называется *упругостью насыщения*.

Точка росы — температура, при которой водяной пар достигает состояния насыщения и находится в термодинамическом равновесии с конденсатом. При отрицательных температурах конденсат может образоваться как в виде переохлажденной воды, так и в виде льда. Поэтому различают *точку росы* и *точку льда*.

Зависимость упругости насыщения E от температуры T выражается уравнением Клаузиуса—Клапейрона, которое справедливо для идеальных газов и может использоваться для приближенных расчетов:

$$\frac{dE}{E} = \frac{L}{K} \frac{dT}{T^2}, \quad (43)$$

где E — упругость насыщения при температуре T , K — постоянная Больцмана, L — скрытая теплота испарения воды или льда.

Для реальных газов, каким является атмосферный воздух, пользуются полуэмпирическими зависимостями, на основании которых составлены таблицы [4], применяемые для практических расчетов.

Относительная влажность r равна отношению упругости пара e к упругости насыщения E над водой (или льдом) при

¹ В единицах СИ 1 дин/см² = 0,1 Па.

данной температуре воздуха

$$r = \frac{e}{E}.$$

Относительная влажность — величина безразмерная. Она характеризует степень насыщения воздуха водяным паром. При метеорологических наблюдениях относительная влажность выражается в процентах.

Абсолютная влажность a — количество водяного пара, содержащееся в единице объема воздуха. Единицей измерения абсолютной влажности является единица массы, отнесенная к единице объема (кг/м^3 или г/м^3). Абсолютную влажность можно вычислить, зная упругость водяного пара e и температуру воздуха t , исходя из уравнения состояния газа [3], по формуле

$$a = \frac{0,81e}{1 + \alpha t},$$

где a выражено в г/м^3 , $\alpha = 1/273$, e — выражено в мб.

Измерение влажности воздуха при метеорологических наблюдениях производится с помощью психрометров и волосных гигрометров. Для регистрации изменений влажности служат волосные гигрографы. В дистанционных и автоматических метеорологических станциях используются также пленочные гигрометры, электрические психрометры и электролитические гигрометры точки росы с подогревом [33]. Указанные приборы широко используются и при технических измерениях в промышленности и различных областях народного хозяйства. Вместе с тем метрологическое обеспечение измерений влажности как в СССР, так и в других странах находится еще на недостаточно высоком уровне из-за отсутствия первичных эталонов и стандартизованных поверочных схем. Это объясняется сложностью самих измерений, которые должны выполняться в очень широком диапазоне влажности (от 5×10^{-8} до 10^3 г/м^3), температуры (от -50 до $+50^\circ \text{C}$), давления (от 600 до 1100 мбар) и скорости ветра до 60 м/с. В 1972 г. был предложен проект поверочной схемы Госстандарта СССР для промышленных гигрометров [8], основу которой составляет эталонный гравиметрический гигрометр. На рис. 36 приводится возможный вариант поверочной схемы для метеорологических гигрометров [37]. Ее изучение даст представление о системе передачи единицы влажности от эталона к рабочим средствам измерения влажности атмосферного воздуха в Гидрометслужбе СССР.

В основе этой поверочной схемы стоит эталонная сорбционно-гравиметрическая установка Госстандарта СССР [8], которая обеспечивает воспроизведение единицы абсолютной влажности газов (кг/м^3) и передачу ее размера образцовым средствам измерения I и II разряда в диапазоне от $0,5 \times 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ до $20 \times$

$\times 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ с относительной средней квадратической погрешностью $S_0 \leq 0,2\%$.

Принцип действия эталонной установки основан на разделении парогазовой смеси, влажность которой нужно измерить,

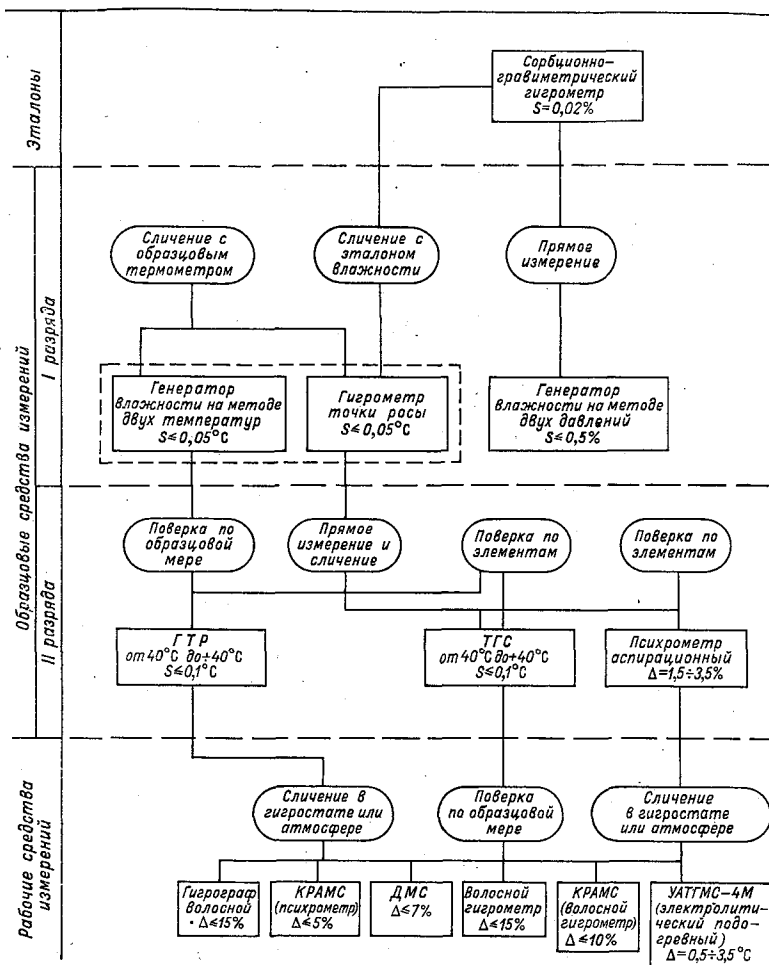


Рис. 36. Поверочная схема для средств измерения влажности воздуха.

на влагу и сухой газ с помощью сорбента с последующим определением массы влаги и объема сухого газа. В качестве образцовых средств измерений I разряда могут применяться так называемые генераторы влажности, основанные на методах «двух давлений» и «двух температур» [3] и воспроизводящие парогазовые смеси с высокой точностью. Принцип действия их показан на схеме рис. 37.

В установке по методу двух давлений воздух насыщается в увлажнителе 2 (рис. 37б) при повышенном давлении P_1 и определенной температуре, а затем через дроссельный кран 3 поступает в рабочую камеру 4 с поверяемыми гигрометрами и выбрасывается наружу через вентиль 5. Различные значения относительной влажности в камере получают, понижая давление с помощью крана 3 до величины P_2 при неизменной температуре. Постоянство температуры достигается помещением установки в жидкостный термостат 6. Относительная влажность воздуха в камере рассчитывается по двум значениям давления P_2 и P_1 , которые измеряются с помощью манометров 7, по формуле

$$r = \frac{P_2}{P_1}. \quad (44)$$

Для целей Гидрометслужбы исходным образцовым средством предложена установка, состоящая из генератора влажности на «методе двух температур» (термогигростата) и гигрометра точки росы, которая обеспечивает воспроизведение единицы измерения влажности — термодинамической температуры точки росы в диапазоне от -40 до $+40^\circ\text{C}$ и передачу ее размера со средним квадратическим отклонением не выше $0,05^\circ\text{C}$ [25, 34].

Задание необходимого уровня влажности в установке (рис. 37а) достигается путем насыщения при постоянном давлении некоторой массы воздуха, заключенного в увлажнителе 1, до величины E_1 при температуре t_1 с последующим повышением температуры в камере 2 до величины t_2 . Изменение темпера-

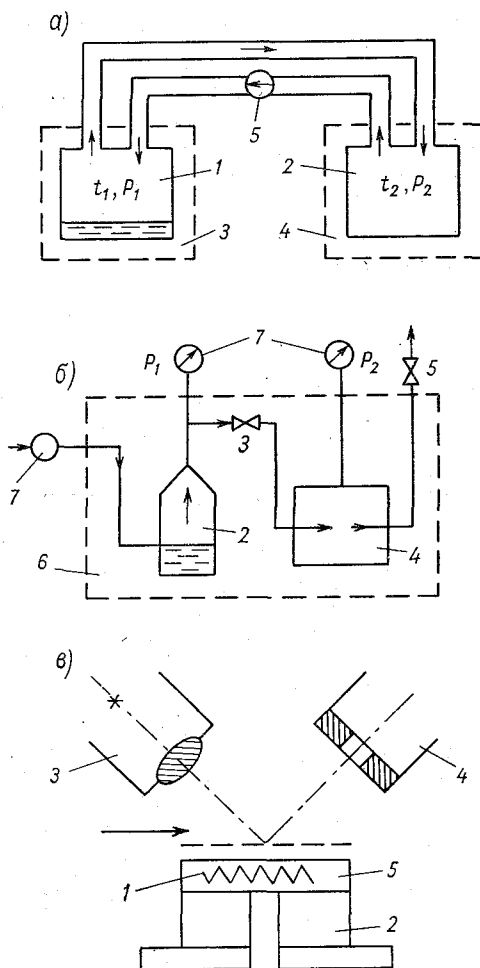


Рис. 37. Блок-схемы генераторов влажности по методу «двух температур» (а, б), «двух давлений» и схема гигрометра точки росы (в).

туры в камере и увлажнителе достигается с помощью электрических нагревателей. Увлажнитель и камера термостатируются в жидкостных термостатах 3, 4 и образуют замкнутую воздушную систему с непрерывной циркуляцией потока воздуха, проходящего над водой (или льдом), которая создается воздушным насосом 5. Благодаря однозначной связи между температурой t_1 термодинамического равновесия газовой и жидкой (или твердой) фаз воды, которое наблюдается при насыщении, и упругостью водяного пара E_1 , по измеренным значениям t_1 и t_2 из психрометрических таблиц [4] может быть точно вычислена абсолютная a или относительная влажность r парогазовой смеси. Вычисление производится по формулам:

$$a = \frac{0,81 E_{t_1}}{1 + a t_2}; \quad (45)$$

$$r = \frac{E_{t_1}}{E_{t_2}}. \quad (46)$$

Здесь E_{t_1} , E_{t_2} — соответственно упругости водяного пара в мб, найденные из таблиц [4] по измеренным значениям температур t_1 и t_2 в увлажнителе и камере.

Если давления в увлажнителе P_1 и в рабочей камере P_2 не одинаковы, то формула для определения влажности примет вид

$$r = \frac{E_{t_1}}{E_{t_2}} \frac{P_2}{P_1}. \quad (47)$$

Точность получения заданного значения влажности определяется погрешностями измерения температур t_1 и t_2 и их постоянством в увлажнителе и камере. Источником погрешностей могут быть градиенты температуры, поглощение влаги стенками камеры и неполное насыщение воздуха в увлажнителе.

Установка по методу двух температур используется в комплекте с гигрометром точки росы, который аттестуется путем непосредственного сличения с эталонным гигрометром. Чувствительный элемент гигрометра размещается в поверочной камере установки. Он представляет собой металлическое зеркальце 5 (рис. 37в), которое может охлаждаться полупроводниковым термоэлементом 2 [34]. При охлаждении до точки росы на нем образуется слой конденсата в виде воды или льда (инея). С помощью оптического устройства (осветителя 3 и фотоэлемента 4), следящего за изменением массы конденсата и терморегулятора, слой конденсата поддерживается в равновесии с водяным паром окружающего воздуха. Температура равновесия (точка росы или льда) измеряется встроенным в зеркало микротермометром 1. Точность воспроизведения единицы влажности на установке

определяется погрешностью задания влажности в камере и погрешностью ее измерения гигрометром.

Основная единица измерения, воспроизводимая установкой, — единица термодинамической температуры точки росы, совпадающая с единицей термодинамической температуры — Кельвин (К), $1\text{ К} = 1/273,16$ части интервала термодинамической температуры между абсолютным нулем и тройной точкой воды. Кроме этой единицы СИ, рабочим средствам измерения могут передаваться размеры других единиц измерения влажности:

единица парциального давления (упругости) водяного пара — миллибар (в единицах СИ $1\text{ мбар} = 10^{-3}\text{ бар} = 10^2\text{ Н/м}^2$);

единица относительной влажности — в процентах (в единицах СИ — в отвлеченных числах).

Соотношение между этими величинами и термодинамической температурой точки росы определяется формулами и таблицами упругости насыщения водяного пара [4].

Образцовая установка I разряда должна храниться в базовых поверочных органах ГУГМС.

В качестве образцовых средств II разряда применяются:

термогигростат (ТГС), обеспечивающий задание температуры точки росы в диапазоне от -40 до $+40^\circ\text{С}$ со средней квадратической погрешностью не выше $0,1^\circ$ и относительной влажности от 30 до 100% с погрешностью 2% (см. рис. 36);

гигрометр для измерения температуры точки росы (ГТР) в диапазоне от -40 до $+40^\circ\text{С}$ со средней квадратической погрешностью не выше $0,1^\circ$;

аспирационный психрометр для измерения относительной влажности в диапазоне от 10 до 100% при комнатной температуре воздуха с основной погрешностью Δ в пределах от 1,5 до 3,5%.

Образцовые средства измерения II разряда поверяются по элементам конструкции (поверка шкалы термометров, скорости аспирации и т. п.), а также аттестуются по образцовым средствам I разряда: термогигростат II разряда — с помощью ГТР I разряда; ГТР II разряда — с ТГС I разряда; аспирационный психрометр — с ГТР I разряда, путем сличения в гигростатах. В качестве последних применяются гигростаты, работающие на принципе смешения двух потоков воздуха: осушенного и увлажненного до насыщения [27].

6.2. Методика поверки психрометров и гигрометров

В *психрометрическом методе* упругость водяного пара e определяется по температуре сухого t и смоченного t' термометров из уравнения

$$e = E' - AP(t - t'), \quad (48)$$

где E' — упругость насыщения водяного пара при температуре смоченного термометра t' ; P — атмосферное давление; A — психрометрический коэффициент.

Относительная влажность r находится из уравнения

$$r = \frac{e}{E}. \quad (49)$$

На практике влажность воздуха вычисляется с помощью психрометрических таблиц [4], составленных на основе этих формул.

Основной источник ошибок определения влажности по психрометру — непостоянство психрометрического коэффициента A и погрешности в измерении психрометрической разности $t - t'$. Как показали исследования, величина коэффициента A зависит от формы и размеров термометров, способа смачивания и чистоты батиста и в значительной степени от скорости аспирации психрометра V .

На рис. 38 дана зависимость A от V для двух конструкций психрометров с ртутными термометрами 1 и с термометрами сопротивления 2, имеющими большую поверхность смачивания. Как видно из рис. 38, с увеличением скорости аспирации коэффициент A у обоих психрометров вначале быстро уменьшается, а при $V \geq 2$ м/с изменения становятся незначительными, причем у электрического психрометра величина A больше.

Допустимая погрешность измерения психрометрической разности $\Delta(t - t')$ при заданной погрешности определения относительной влажности Δr может быть найдена из уравнения чувствительности психрометра [18]. Для различных температур воздуха t эта зависимость показана на рис. 39, из которого видно, что для измерения относительной влажности с погрешностью 1% допустимая погрешность измерения психрометрической разности не должна превышать $0,1^\circ\text{C}$. С уменьшением температуры чувствительность психрометра резко падает, что ограничивает его применение при отрицательных температурах.

Для обеспечения надлежащей точности измерений психрометрическим методом необходимо соблюдать следующие условия.

1. Применять однотипные термометры с одинаковыми размерами. Термометры должны быть правильно установлены в оправе и защищены от попадания солнечной радиации. Погрешность измерения психрометрической разности не должна превышать $0,1^\circ$.

2. Следить за состоянием и правильностью работы смачивающего устройства.

3. Контролировать величину и постоянство скорости аспирации. У стандартных психрометров ее величина в момент отсчета показаний не должна быть меньше 2 м/с, а изменение аспирации за одну минуту не должно быть больше 0,2 м/с.

Указанные требования проверяются при внешнем осмотре, при поверке термометров и проверке скорости аспирации. Для проверки скорости аспирации применяется установка, состоящая из микроанометра и пневмометрических микронасадок, которые устанавливаются вблизи резервуаров термометров (см. рис. 47). Скорость аспирации можно оценить также по продолжительности оборота барабана заводного механизма психрометра. Для этой цели на барабане нанесена риска, появление которой можно наблюдать через специальное отверстие в кор-

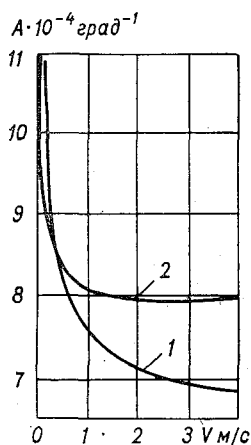


Рис. 38. Зависимость психрометрического коэффициента от скорости воздушного потока.

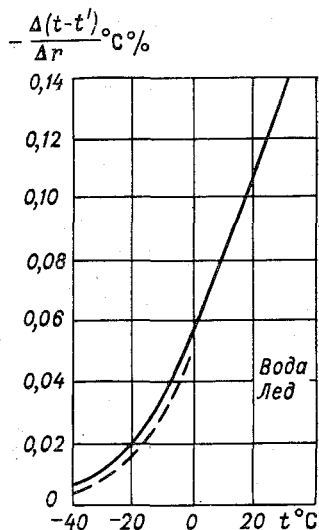


Рис. 39. Допустимая погрешность определения психрометрической разности при различных температурах и $\Delta r = 1\%$.

пусе. Если время одного оборота барабана превышает величину, указанную в паспорте, не больше чем на 10 с, то психрометр находится в исправном состоянии.

Волосные и пленочные гигрометры и гигрографы применяются в основном в зимнее время при температурах ниже 0°C , когда наблюдения по психрометру становятся ненадежными, а также для регистрации влажности. Принцип действия этих приборов основан на использовании гигроскопических свойств обезжиренного человеческого волоса и животной пленки и их способности изменять свои размеры при изменении относительной влажности воздуха. Гигрометры и гигрографы являются относительными приборами и требуют не только обязательной поверки перед выпуском их в обращение, но и периодического сравнения с психрометром при наблюдениях. Чтобы получить

действительные значения относительной влажности, в показаниях гигрометров и гигрографов вводят поправки, которые находятся из сезонных графиков (или таблиц) сравнений гигрометров и психрометров на метеорологических станциях.

Методика поверки гигрометров и гигрографов имеет свои особенности, которые вызваны наличием остаточных деформаций волоса и пленки и искажениями показаний приборов при ходе влажности на повышение и понижение, а также после длительного пребывания в сухом воздухе.

Поверка производится в гигростате путем сличения с показаниями аспирационного психрометра.

Гигростат (рис. 40) представляет собой камеру 1, в которой можно создавать относительную влажность в пределах от 10 до 98—100%. Поверяемые приборы размещаются на поворотных кронштейнах 2. Воздух в камере перемешивается вентилятором 3. Внутри камеры укреплен образцовый психрометр 4 с электрическим аспиратором. Смачивание психрометра производится снаружи с помощью резиновой груши 5. Для отсчета показаний поверяемых приборов и психрометра предусмотрены стеклянные окна 10. Задание влажности в камере осуществляется с помощью осушителя 9 и увлажнителя 6, которые краном 8 поочередно подключаются к воздухопроводке 7, нагнетающей в камеру сухой или влажный воздух. Для автоматического задания и поддержания влажности в поверяемых точках применяется программный регулятор. Колебания влажности в гигростате при выдержке на точках не должны превышать 1%, а температура за цикл поверки должна поддерживаться постоянной.

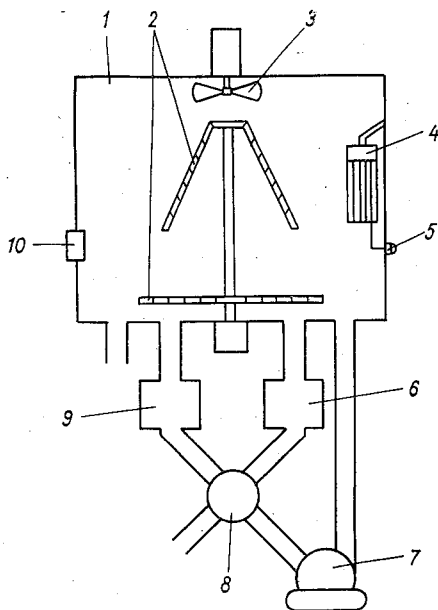


Рис. 40. Схема гигростата.

Перед поверкой волосных приборов рекомендуется выдерживать их при влажности 100% в течение нескольких часов. При влажности в камере 98—100% стрелки поверяемых приборов необходимо установить с помощью регулировочных винтов на деление шкалы около 95—98. Поверку шкалы начинают с влажности 98—100%, после чего, понижая влажность в камере, последовательно переходят на значения 90, 80, 70 и 30%. Затем

производят поверку на тех же значениях в обратном порядке, при повышении влажности. На каждом значении влажности выдерживают гигрометры 10—15 мин, гигрографы — не менее 20 мин.

Поверяемые гигрометры и гигрографы должны удовлетворять следующим требованиям.

1. Иметь достаточную чувствительность при изменении относительной влажности во всем диапазоне измерений. В практике поверки чувствительность волосных и пленочных приборов принято оценивать по разности показаний на крайних делениях шкалы (100 и 30%), а также на делениях 100 и 90%, где чувствительность волоса и пленки меньше. Разность показаний на этих делениях шкалы определяется при ходе влажности как на понижение, так и на повышение. Указанные разности должны быть близки к соответствующей разности относительной влажности, вычисленной по показаниям аспирационного психрометра.

2. Обладать небольшими остаточными деформациями (гистерезисом). Влияние гистерезиса на точность измерений оценивается по разностям поправок на сопряженных точках (при ходе влажности на понижение и повышение), которые должны укладываться в установленные допуски.

6.3. Поверка преобразователей влажности дистанционных и автоматических станций

Чувствительным элементом преобразователя влажности ДМС М-49 (рис. 41) служит круглая мембрана из животной пленки 5, которая по краям жестко закреплена в металлической оправе, а своим центром связана посредством механической передачи со стрелкой указателя 2 и ротором сельсина-преобразователя дистанционной системы измерения влажности. Деформация пленки, происходящая при изменении влажности воздуха, вызывает поворот ротора сельсина и одновременно с этим перемещение стрелки указателя по шкале 1. Шкала 1 проградуирована в пределах от 20 до 100% относительной влажности и используется только при регулировке и поверке преобразователя. Перестановку стрелки по шкале осуществляют вращением установочного винта 4, перемещающего мембрану. С помощью винта 3 регулируется чувствительность преобразователя. Узел преобразователя влажности необходимо отрегулировать так, чтобы при положении стрелки в средней части шкалы (50—60%) ходовой винт был бы горизонтален, а точка крепления тяги планки находилась не ближе 2 мм от края винта.

Пленочные преобразователи влажностиверяют в гигростате, не соединяя их с указателем станции. Поверку начинают при влажности 90—100% при комнатной температуре. После выдержки в 20—30 мин снимают показания и при необходимо-

сти винтом 4 передвигают стрелки по шкале на деление 98—100. Затем, как и у волосных гигрометров, производят поверку по всему диапазону при ходе влажности как на понижение, так и на повышение и определяют соответствие приборов установленным допускам. После поверки в комнатных условиях рекомендуется производить контрольную поверку в двух-трех точках диапазона измерений при отрицательной температуре в термостате.

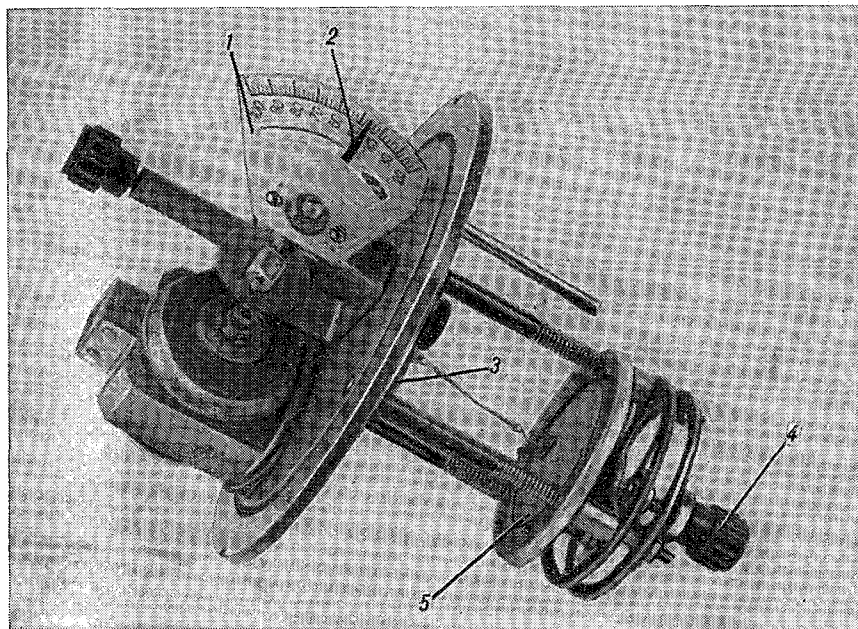


Рис. 41. Преобразователь влажности ДМС М-49.

Комбинированный преобразователь влажности станции КРАМС (рис. 42) состоит из электрического психрометра и волосного гигрометра. Устройство психрометра такое же, как у судовой дистанционной станции ГМ-6, только здесь вместо двух медных термометров сопротивления применены платиновые термометры повышенной точности. Сухой R_t и смоченный R_t термометры сопротивления вставлены в защитные трубки 11 и 13 и снабжены радиационной защитой 12. Смачивание в психрометре производится дистиллированной водой, которая поступает к батисту из бачка 18 через резиновый шланг 14, одетый на защитную трубку 13 смоченного термометра. Вентилятор 10 обеспечивает аспирацию психрометра и гигрометра, а также откачку воды из трубки смоченного термометра при наблюдениях. При неработающем вентиляторе защитная трубка

смоченного термометра заполняется водой, что предохраняет батист от загрязнения. Бачок имеет верхний 20 и нижний 19 отсеки, которые сообщаются между собой трубкой 17. Уровень воды в нижнем отсеке бачка поддерживается постоянным за счет запасного объема жидкости, находящейся в верхнем отсеке. Нижний отсек при помощи трубки 21 и резиновых шлангов 1 и 2 соединяется с вентилятором. Краны 15 и 16 в рабочем положении должны быть открыты. При включении вентилятора в верхней части нижнего отсека создается пониженное давление и жид-

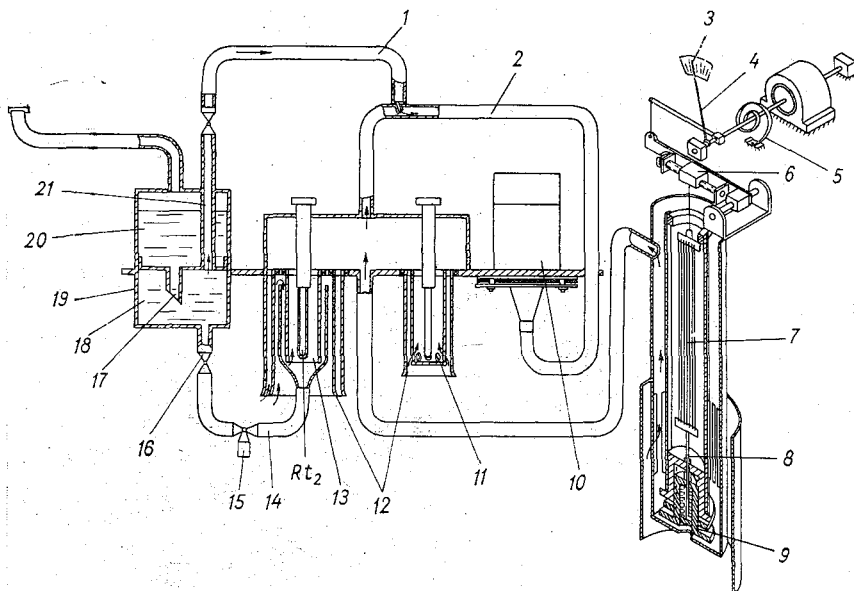


Рис. 42. Преобразователь влажности КРАМС.

кость из защиты смоченного термометра отсасывается в бачок. Время, необходимое для отсасывания жидкости, составляет 15—20 с, что обеспечивает быструю готовность психрометра к измерениям.

Чувствительным элементом *гигрометра* является волосная гитара 7. Одним концом волосная гитара закреплена в неподвижном корректоре 8, а вторым соединена с рычагом 6, который при помощи механической тяги связан с осью ротора безконтактного индукционного потенциометра ИПБ-45. При изменении влажности изменяется длина волосной гитары и поворачивается ротор потенциометра. Это приводит к соответствующему изменению напряжения на выходе потенциометра, которое может быть измерено вольтметром. Натяжение гитары осуществляется плоской спиральной пружиной 5, которая одним концом прикреплена к ротору, а другим — к корпусу. Регулировка

показаний производится перемещением втулки 9 корректора, а регулировка чувствительности гигрометра — изменением рабочей длины рычага 6.

На оси ротора потенциометра укреплен стрелка 4, которая предназначена для визуальных отсчетов показаний гигрометра по шкале 3 при регулировке и поверке. Гигрометр регулируется так, что при изменении относительной влажности от 30 до 100% выходное напряжение потенциометра изменяется от 0 до 0,8 В.

Поверку преобразователя начинают с внешнего осмотра и проверки исправности всех его узлов. У психрометра проверяется состояние термометров и правильность смачивания батиста и откачки воды из защитной трубки. Для того чтобы вода смочила батист, нужно перекрыть оба краника бачка и залить его дистиллированной водой, после чего плотно завернуть пробку наливного отверстия и открыть краны. Через некоторое время вода попадет в защиту термометра и смочит его батистовый чехол. Чтобы в этом убедиться, следует вынуть термометр из защиты и осмотреть. Проверка нормального откачивания воды производится при двукратном включении вентилятора. Через две минуты после включения вентилятора вода должна полностью перекачаться из защиты смоченного термометра в бачок, причем вода не должна вытекать из бачка или разбрызгиваться через защиту вентилятора. Если устройство функционирует нормально, то при открывании нижнего краника из него не должна вытекать вода, так как она уйдет из трубки полностью.

Убедившись в исправности термометров и смачивающего устройства, проверяют работоспособность психрометра станции путем сравнения его показаний с показаниями образцового аспирационного психрометра. Для этой цели аспирационный психрометр подвешивают на одном уровне с преобразователем станции и производят серию из 10 параллельных отсчетов по психрометру и сухому и смоченному термометрам станции. Для получения высокой точности поверки сличение целесообразно проводить в гигростате. В психрометре судовой станции ГМ-6 отсчеты производят по шкале температур указателя равновесного измерительного моста, в станции КРАМС отсчеты снимают с ленты телетайпа. Можно также проводить поверку, не подключая преобразователь к центральному устройству. В этом случае преобразователь получает питание от автономных источников тока, а для измерения сопротивления сухого и смоченного термометров подготавливают мостовую измерительную схему. Вычисление влажности по показаниям сухого и смоченного термометров сопротивления производится по психрометрической формуле (48), в которую вводится значение психрометрического коэффициента преобразователя станции, найденное путем сличения его показаний с показаниями образцового психрометра. Пользоваться психрометрическими таблицами [4] можно только в том случае, если точно известно, что коэффициент психрометра

станции не отличается от психрометрического коэффициента, указанного в этих таблицах.

По результатам поверки определяется годность приборов. Расхождение средних значений влажности, найденных по психрометру станции и образцовому психрометру, не должно превышать установленной величины предельной допускаемой погрешности преобразователя. Если расхождения выходят за пределы допуска, необходимо произвести поверку термометров и заново определять величину коэффициента A . Поверка медных и платиновых термометров сопротивления производится по методике, изложенной в п. 4.1—4.3. Величина коэффициента A находится из формулы (48) по показаниям сухого и смоченного тер-

мометров станции и величине упругости пара e , найденной по какому-либо образцовому прибору, например по гигрометру точки росы.

Поверка шкалы гигрометрического преобразователя КРАМС производится в гигростате при комнатной температуре по методике поверки волосных приборов, рассмотренной выше. После поверки преобразователя в гигростате необходимо проверить его работоспособность при отрицательной температуре в термогигростате или непосредственно в полевых условиях путем сличения с образцовым гигрометром.

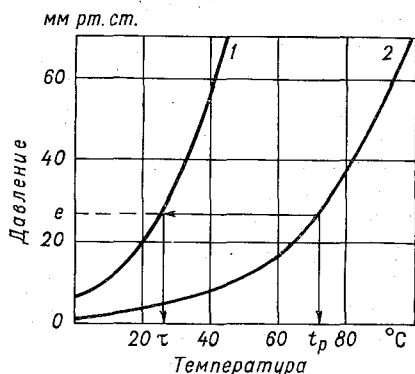


Рис. 43. Зависимость давления насыщенного водяного пара от температуры для воды (1) и для насыщенного раствора хлористого лития (2).

В электролитическом гигрометре с подогревом, который применяется в качестве преобразователя влажности УАТГМС, для определения влажности воздуха используется зависимость температуры насыщенного раствора соли хлористого лития от парциального давления водяного пара (кривая 2 на рис. 43), находящегося в динамическом равновесии с раствором соли. Если давление водяного пара падает (влажность воздуха уменьшается), то вода из раствора испаряется и в нем происходит кристаллизация соли. При увеличении давления (влажность растет) водяной пар поглощается солью и кристаллы растворяются. Чтобы поддерживать условия равновесия, необходимо соответственно изменять температуру раствора. Поскольку давление насыщенного водяного пара всегда меньше над растворами солей, чем над водой (см. кривые 2 и 1 на рис. 43), то обычно отмечается поглощение водяного пара из окружающего воздуха, а равновесная температура достигается подогревом раствора. Подо-

грев раствора и регулирование температуры можно осуществлять автоматически, пропуская через раствор электрический ток. Чем больше поглощается влаги, тем меньше электрическое сопротивление раствора и больше сила тока подогрева. По достижении равновесной температуры будет происходить испарение с поверхности раствора и его кристаллизация. Это приведет к уменьшению электрического сопротивления, а значит силы тока и температуры раствора. Как только температура раствора станет меньше равновесной, вновь начнется поглощение влаги и процесс саморегулирования повторится.

Таким образом, процесс измерения влажности воздуха рассмотренным методом сводится к определению равновесной температуры насыщенного раствора хлористого лития. Измерив эту

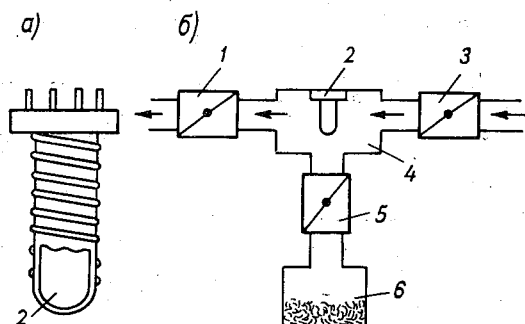


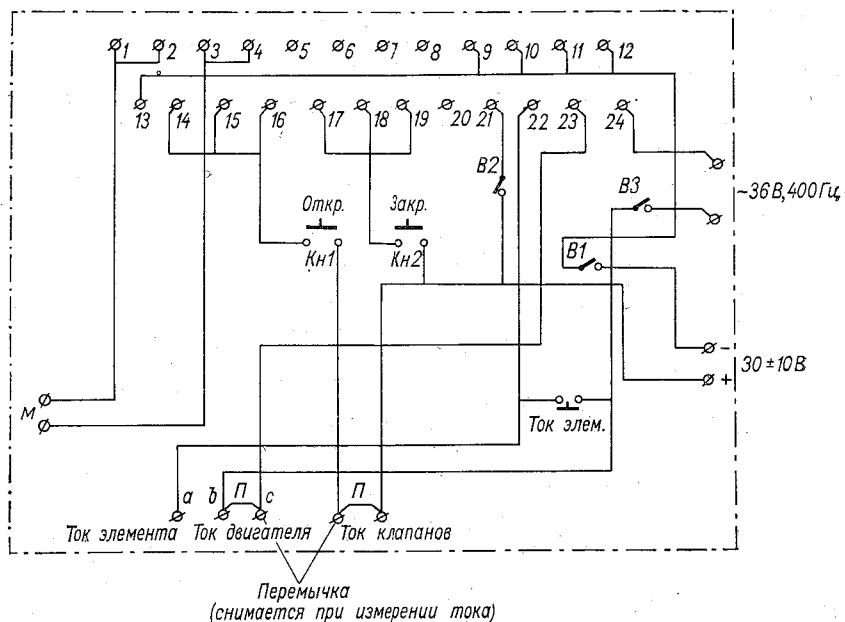
Рис. 44. Электролитический гигрометр с подогревом.

а — чувствительный элемент, б — корпус прибора.

температуру по кривой 2, находят упругость водяного пара e , а по кривой 1 — соответствующую ей температуру точки росы t . Для удобства измерений вместо графиков составляются таблицы градуировки.

Чувствительный элемент электролитического преобразователя влажности (рис. 44) представляет собой платиновый термометр сопротивления, на корпус которого надет чулок из стекловолокна, пропитанный раствором соли хлористого лития. На поверхность чулка бифилярно намотаны два платиновых электрода, к которым подводится переменный ток от источника питания. Чувствительный элемент 2 помещен в измерительную камеру 4, через которую во время измерения протягивается исследуемый воздух. Воздух в камере очищается от пыли с помощью фильтра. На время между сроками измерения входное и выходное отверстия измерительной камеры герметически закрываются клапанами 1 и 3, а клапан 5 открывает бачок с цеолитом 6, с помощью которого обеспечивается осушение воздуха в камере. Хранение выключенного преобразователя в сухом воздухе предохраняет чувствительный элемент от разрушения, так

При внешнем осмотре проверяются техническое состояние преобразователя и соответствие его требованиям, указанным в инструкциях по эксплуатации и поверке.



Для выполнения поверочных работ готовится контактная панель по схеме рис. 45, с помощью которой к преобразователю подключают источник питания и контрольно-измерительный прибор. До подключения к измерительной схеме необходимо с помощью мегомметра проверить сопротивление изоляции выводов чувствительного элемента, реле клапанов и электродвигателя вентилятора относительно корпуса прибора. Сопротивление изоляции измеряется при температуре $20 \pm 5^\circ \text{C}$ и относительной влажности не более 80% и должно быть не менее 20 МОм. Во избежание пробоя изоляции чувствительного элемента испытательное напряжение для него не должно превышать 100 В. Кроме этой операции, с помощью моста Р-309 измеряется электрическое сопротивление подводящих проводов термометра, которое необходимо учитывать при его градуировке.

Проверка работы клапанов. После подключения кабеля преобразователя к плате с помощью амперметра проверяется значение тока в цепях чувствительного элемента и электромагнитов клапанов при изменении напряжения питания на $\pm 10\%$. Надежность работы клапанов проверяют путем их многократного включения в цепь питания с помощью тумблера *В1* и нажатием кнопки *Кн1*. При десятикратном включении клапанов на 0,5 с с интервалом 5—10 с не должно быть ни одного отказа.

Проверка герметичности камеры. Для проверки герметично-

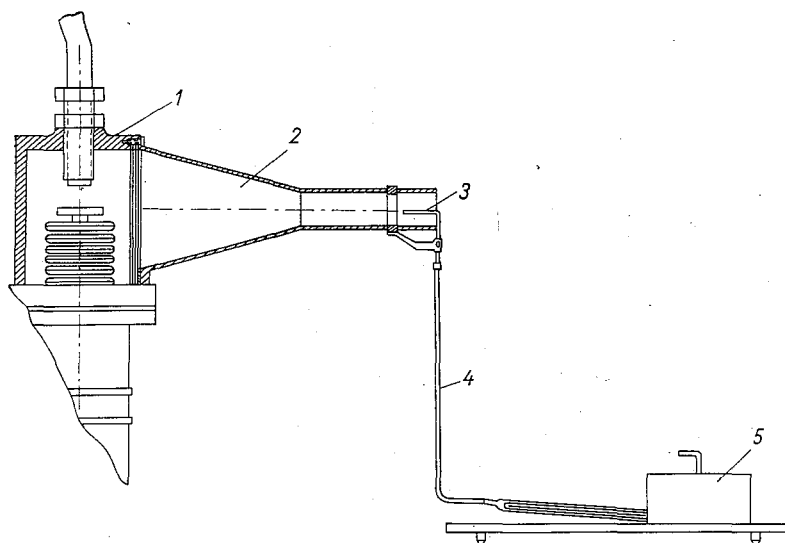


Рис. 46. Устройство для проверки скорости аспирации преобразователя влажности.

сти камеры предусмотрен специальный штуцер, который вставляется в корпус преобразователя. С помощью резинового шланга штуцер соединяется с компрессором и манометром. Повысив давление в камере на 50—60 мб, компрессор отключают и через 30 мин делают отсчеты по манометру. Давление в камере не должно изменяться более чем на 2 мб.

Проверка скорости аспирации. Для определения скорости аспирации используется установка для поверки психрометров ПО-30. Пневмометрическая микронасадка 3 установки (рис. 46) с помощью соединительного патрубка 2 закрепляется на заборнике воздуха 1 и при помощи резинового шланга 4 соединяется с микроманометром 5. Подготовив микроманометр к измерениям, тумблером *В3* (см. рис. 45) включают вентилятор и, открыв клапаны кнопкой *Кн1*, в течение трех минут через каждую минуту снимают отсчеты. Переключив преобразователь на ускоренный режим аспирации (тумблер *В2* включен) измерения

повторяют. Скорость аспирации в обоих режимах должна быть в пределах $1,5 \pm 0,2$ м/с и $3,0 \pm 0,3$ м/с соответственно.

Проверка преобразователя производится в гигростате при комнатной температуре на значениях относительной влажности 20, 40, 80 и 98—100%. На каждом значении влажности делают выдержку не менее 10 мин. Измерения выполняются в следующем порядке. В гигростате устанавливают влажность 20%. Тумблером ВЗ подают на преобразователь питание. Включив тумблер В1 и нажав кнопку Кн1, открывают электромагнитные клапаны. Одновременно включается секундомер. Выключают тумблер В1, замыкают кнопку Кн3 и по амперметру следят за изменением тока подогрева чувствительного элемента. При установившихся показаниях выключают секундомер. Время переходного процесса записывают в журнал. На 10-й минуте делают отсчеты по образцовому психрометру и с помощью измерительного моста (Р-329 класса 0,05) определяется сопротивление чувствительного элемента.

Одновременно измеряется ток и напряжение подогрева чувствительного элемента. По окончании отсчетов клапаны закрывают и питание датчика выключают. Для этого включают тумблер В1 и нажимают кнопку Кн2. Тумблеры В1 и В2 выключают.

Также производят проверку и на остальных значениях влажности.

На каждом проверяемом значении делают три отсчета по психрометру и гигрометру с интервалом в 1 мин.

Во время выдержки температура в камере не должна изменяться более чем на $0,3^\circ$ за 10 мин.

Форма записи и обработки результатов приведена в табл. 20.

Таблица 20

Запись результатов проверки преобразователя влажности

Дата 4 III 1970 г.

Сопротивление жил кабеля $-0,5$ Ом
 $B=1014$ мбар, $t=19,9^\circ\text{C}$

Время ч мин	Психрометр					Преобразователь № 040				
	t	t'	$r\%$	e	τ	время переход- ного про- цесса, мин	$R_{(-0,5\text{ Ом})}$	t	τ_r	$\Delta\tau$
9 55	18,6	8,8	22	4,8	-3,3	3,5	559,2	29,9	-3,7	+0,4
9 56	18,7	8,8	22	4,7	-3,5		559,5	30,0	-3,6	+0,1
9 57	18,7	8,8	22	4,7	-3,5		559,5	30,0	-3,6	+0,1

Обработка результатов проверки производится следующим образом:

1) по отсчетам аспирационного психрометра из психметрических таблиц [3] находят относительную влажность r и упругость водяного пара e . По величине e из таблиц максимальной упругости водяного пара над водой определяют точку росы τ ;

2) из измеренной величины сопротивления R чувствительного элемента вычитают сопротивление жил кабеля и исправленное значение R' заносят в журнал. По величине R' и данным градуировки, указанным в поверочном свидетельстве на термометр, определяют температуру чувствительного элемента t .

По значению t из таблиц (см. приложение 3) находят температуру точки росы τ_r ;

3) вычисляют разность $\Delta\tau$ между значениями точки росы, рассчитанной по показаниям психрометра и измеренной преобразователем.

Эти разности не должны превышать следующих допусков:

$r\%$	100	90	80	60	50	40	30	20
$\Delta\tau$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,6$	$\pm 0,8$	$\pm 0,9$	$\pm 1,2$	$\pm 1,7$

После проверки в гигростате производится проверка работоспособности всего канала измерения влажности УАТГМС непосредственно на месте эксплуатации сличением показаний станции с показаниями контрольного гигрометра точки росы или психрометра (в летнее время).

Лабораторные работы

6.1. ПОВЕРКА АСПИРАЦИОННОГО ПСИХРОМЕТРА

Содержание работы. Внешний осмотр, определение продолжительности оборота барабана заводного механизма и проверка скорости аспирации психрометра.

Поверочное оборудование и приборы. Установка для проверки аспирационных психрометров ПО-30, секундомер и лупа.

Указания по выполнению работы. При внешнем осмотре проверяется работоспособность вентилятора, сохранность внешних покрытий и состояние полировки деталей корпуса, необходимой для отражения излучений и предохранения психрометра от радиационного перегрева. Термометры должны быть парными с симметричными шкалами и одинаковыми резервуарами. Резервуары термометров должны находиться в центре внутренних защитных трубок на высоте 13—15 мм от нижнего среза внутренней защитной трубки.

Для определения продолжительности оборота барабана, притормозив предварительно крыльчатку бумажной закладкой, заводят механизм. Вынув закладку и дождавшись появления риски в окошечке барабана, включают секундомер. При вторичном появлении риски секундомер выключают. Полученное время оборота барабана записывают в журнал по форме, приведенной в табл. 21.

Проверка скорости аспирации производится на установке ПО-34. Психрометр подвешивают на штативе 1 (рис. 47), устанавливают во внутренние защитные трубки микронасадки 2 и вновь заводят механизм. Освободив крыльчатку, включают секундомер и в течение 6 мин через каждую минуту снимают

Запись результатов поверки аспирационного психрометра

№ психрометра	№ термометра	Время одного оборота барабана	Минуты						Продолжительность работы вентилятора
			1	2	3	4	5	6	
Отсчеты по микроманометру									
70470	680	89 с	36,0	34,0	31,5	31,0	29,5	27,0	9 мин 45 с годен
Скорость аспирации, м/с									
	724		2,75	2,67	2,57	2,55	2,49	2,39	

Аспирационный психрометр соответствует допускам

показания микроманометра 3. Одновременно с этим проверяют продолжительность работы вентилятора. Значения скорости аспирации психрометра определяют с помощью градуировочных таблиц, прилагаемых к микроманометру. Результаты поверки заносят в журнал и определяют соответствие психрометра установленным допускам (см. табл. 21).

Контрольные вопросы

1. Какие правила необходимо соблюдать при наблюдении по аспирационному психрометру?
2. Почему скорость аспирации психрометра должна быть не менее 2 м/с?
3. При какой скорости аспирации стационарного психрометра рассчитаны психрометрические таблицы?



Рис. 47. Установка для поверки аспирационного психрометра ПО-30.

6.2. ПОВЕРКА ГИГРОМЕТРА И ГИГРОГРАФА

Содержание работы. Внешний осмотр, поверка показаний гигрометра и гигрографа в гигростате.

Поверочное оборудование и приборы. Гигростат, аспирационный психрометр, психометрические таблицы.

Указания по выполнению работы. В волосном гигрометре (рис. 48) в качестве чувствительного элемента используется обезжиренный человеческий волос 1, укрепленный на вертикальной рамке 2 со шкалой 3. Верхний конец волоса закреплен на винте-регуляторе 6, с помощью которого можно изменять положение волоса и перемещать стрелку по шкале. Нижний конец укреплен на дужке стержня 4, вставленного в ось стрелки 5 и имеющего на конце грузик, который натягивает волос. Перемещением стержня в оси можно менять чувствительность гигрометра, так как при этом меняется длина рычага, перемещающего стрелку. Шкала гигрометра благодаря неравномерному удлинению волоса с изменением влажности имеет неравномерные, постепенно уменьшающиеся деления от 0 до 100.

Чувствительным элементом гигрографа (рис. 49) является пучок волос 4, который своими концами укреплен на рамке 5 снаружи корпуса прибора. Середина пучка через рычаг 3 соединена с дугой специального профиля 2, которая может обкатываться по дуге 7, соединенной со стрелкой самописца и имеющей с ней общую ось вращения. Противовес 1 на дуге 2 удерживает пучок волос в натянутом состоянии и постоянно прижимает дуги друг к другу. При изменении длины пучка волос дуга 2 катится по дуге 7 и стрелка самописца при увеличении влажности перемещается вверх, а при уменьшении влажности — вниз. Профиль дуг подобран таким, чтобы чувствительность гигрографа оставалась одинаковой по всему диапазону, а шкала его была бы равномерной. Гигрограф снабжен отметчиком времени — кнопкой, позволяющей прижимать перо и делать засечки на ленте, а также установочным винтом для перестановки пера на соответствующее деление ленты.

При внешнем осмотре проверяется техническое состояние приборов. Волос и пучок волос должны быть чистыми, без расщеплений. Необходимо

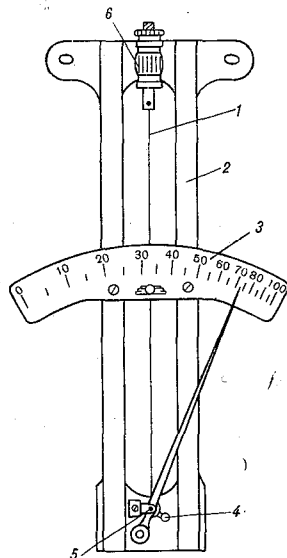


Рис. 48. Волосной гигрометр.

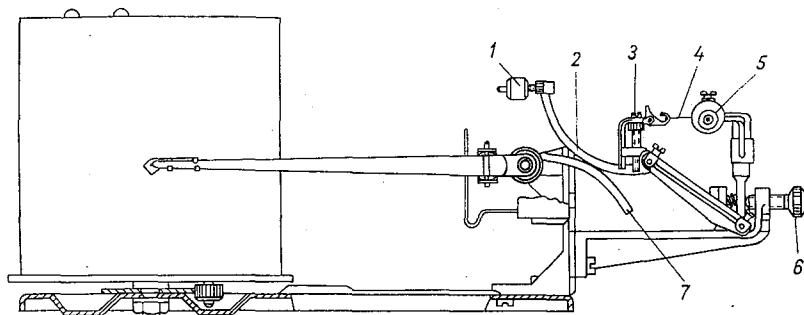


Рис. 49. Гигрограф.

убедиться в отсутствии излишнего трения в осях стрелки и передаточного механизма. Для этой цели у гигрометра отводят стрелку влево на 5—10 делений, и, отпустив ее, убеждаются, что стрелка возвращается в исходное положение плавно и без скачков. При вращении установочного винта 6 гигрографа стрелка должна перемещаться по всей высоте барабана. Перо при этом должно описывать дуги, concentричные с дугами на ленте, и прижиматься к ленте равномерно по всей длине.

Люфт барабана в зацеплении между трибкой и сменной шестерней должен быть в пределах допуска.

Проверку показаний следует производить в следующем порядке.

Установить в гигростате относительную влажность 98—100% и выдержать приборы при этой влажности не менее 20 мин. Смочить батист психометра дистиллированной водой, снять показания гигрометра и гигрографа и показания термометров психометра. По показаниям сухого и смоченного термометров определить относительную влажность по психометрическим таблицам [4].

Установить в гигростате относительную влажность 90% и повторить те же операции, что и при проверке на 98—100%. Последовательно создать в гигростате относительную влажность 80, 70 и 30%, а затем при повышении влажности 70, 80, 90 и 98—100% и после выдержки в течение 20 мин произвести сравнительные отсчеты аспирационного психометра и поверяемых приборов.

Оформление и обработка результатов проверки показаны в табл. 22. Из полученных отсчетов вычисляют поправки для гигрометра и гигрографа и определяют соответствие поверяемых приборов допускам. Как видно из данных табл. 22, гигрометр № 2730 годен. Гигрограф № 2482 имеет малую чувствительность на участке шкалы от 90 до 99% и на крайних ее значениях (97 и 36%). Разность поправок при ходе на понижение и повышение влажности при 100% превышает допуск. Прибор негоден.

Таблица 22

Запись результатов проверки гигрометра и гигрографа

Аспирационный психометр			Гигрометр № 2730		Гигрограф № 2482	
отсчеты термометра, °С		влажность, %	отсчет, %	поправка, %	отсчет, %	поправка, %
сухой $\Delta = 0,0$	смоченный $\Delta = -0,1$					
23.6	23.7	100	95	+5	97	+3
22.9	21.6	89	86	+3	92	-3
22.9	20.5	80	76	+4	84	-4
22.7	19.1	71	67	+4	74	-3
22.9	13.2	31	24	+7	36	-5
23.2	19.8	72	70	+2	80	-8
23.2	20.6	78	78	0	88	-10
23.4	22.3	90	89	+1	96	-6
23.8	23.8	99	95	+4	98	+1

Контрольные вопросы

1. Почему волосные гигрометры и гигрографы поверяются при понижении и повышении влажности?
2. Влияет ли температура на показания гигрометра?
3. Как изменяется чувствительность волосного гигрометра с течением времени?

6.3. РЕГУЛИРОВКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ГИГРОГРАФА

Содержание работы. Определить чувствительность гигрографа и произвести его регулировку.

Проверочное оборудование и приборы. Гигростат ПО-35, два гигрографа.

Указание по выполнению работы. Под чувствительностью гигрографа понимают величину смещения пера, соответствующую изменению относительной влажности на 1%.

О чувствительности судят по величине шкаловых поправок на крайних поверяемых значениях шкалы.

Регулировка чувствительности производится регулировочным винтом 3 (см. рис. 49) из расчета, что один оборот винта соответствует изменению разности показаний на крайних значениях шкалы на 1%.

Работу выполняют в следующем порядке.

В камере гигростата создают относительную влажность 98—100% и выдерживают гигрограф при этой влажности 15 мин. Смачивают батист термометра психометра, включают психометр в сеть. Через три минуты после смачивания отсчитывают показания гигрографа и термометров психометра.

По психометрическим таблицам определяют относительную влажность. Устанавливают в гигростате относительную влажность $90 \pm 3\%$, а затем $30 \pm 3\%$. Выдержав прибор на каждом значении в течение 20 мин, снова выполняют все указанные операции.

Форма записи и обработки результатов приведены в табл. 23.

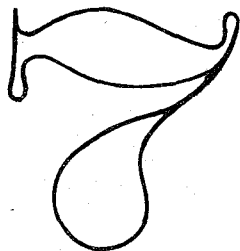
Таблица 23

Запись результатов при регулировании чувствительности гигрографов

Атмосферное давление — 1010 мбар

Психометр			Гигрограф № 1		Гигрограф № 2	
t °C	t' °C	%	показания прибора, %	поправки к приборам, %	показания прибора, %	поправки к приборам, %
20.3	20.2	99	100	—1	97	+2
21.1	19.9	90	94	—4	86	+4
22.1	12.5	30	37	—7	19	+11
Разность показаний на крайних значениях шкалы		69	63	+6	78	—9

По данным таблицы определяют поправки гигрографов и разность поправок на крайних значениях шкалы. Как видно из данных табл. 23, чувствительность у прибора № 1 мала, так как разность поправок на крайних значениях шкалы составляет +6%. Для увеличения чувствительности нужно повернуть винт регулятора на шесть оборотов по часовой стрелке; у прибора № 2 чувствительность велика, поскольку разность поправок на крайних значениях шкалы составляет —9%. Винт регулятора нужно повернуть на пять-шесть оборотов против часовой стрелки. Значение 90% при определении поправок гигрографов берется для того, чтобы иметь представление о чувствительности на участке шкалы от 100 до 90% относительной влажности. Чувствительность в этом участке шкалы, по данным табл. 23, находится в пределах допуска. При недостаточной чувствительности на высокой влажности производить регулировку гигрографа не следует.



ПОВЕРКА АКТИНОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

7.1. Единицы измерения, принцип действия и характеристики приборов

Актинометрические приборы широко применяются для измерения интенсивности (поверхностной плотности) радиационных потоков в атмосфере. За *единицу измерения интенсивности радиации* принимается количество энергии, поступающей на один квадратный метр поверхности в одну секунду, или один ватт на один квадратный метр (Вт/м^2).

В *актинометрических измерениях* используется производная единица, равная $1 \text{ кал/}(\text{мин} \cdot \text{см}^2) = 698 \text{ Вт/м}^2$.

На актинометрических станциях Гидрометслужбы СССР измеряются прямая солнечная радиация, рассеянная солнечная радиация и радиационный баланс.

Прямая солнечная радиация на нормальную к лучу поверхность измеряется абсолютным прибором — *пиргелиометром* или относительным прибором — *актинометром*.

Приемником радиации у пиргелиометра служат две одинаковые манганиновые полоски *П1* и *П2* (рис. 50), установленные в защитной трубке с углом зрения 10° . Снаружи полоски зачернены, с обратной стороны к полоскам приклеены спайи термпары, которая подключена к зеркальному гальванометру *Г*. С помощью шторки полоски могут поочередно затеняться от солнца.

При наблюдениях после нацеливания пиргелиометра на солнце открытая полоска поглощает падающую на нее радиацию, а затененная нагревается электрическим током от батареи. Сила тока регулируется реостатами *R1* и *R2* так, чтобы температуры полосок уравнились и термоток в цепи гальванометра отсутствовал. В этих условиях полоски получают одинаковое количество тепла в единицу времени. Количество тепла (в кал/с), выделяемое компенсационным током в единицу времени, в полоске с сопротивлением *r* равно

$$Q_1 = 0,24 i^2 r,$$

где *i* — сила тока, измеряемая миллиамперметром.

Количество тепла (в кал/с), получаемое от солнца, составляет

$$Q_2 = \frac{Sbl\sigma}{60},$$

где S — искомая интенсивность солнечной радиации в кал/(мин $\times$ см^2), σ — коэффициент поглощения черной поверхностью полосы, b — ширина и l — длина полосы.

Приравняв друг к другу правые части выражений и решая полученное уравнение относительно S , получим

$$S = \frac{0,24 \cdot 60i^2r}{bl\sigma} = ki^2. \quad (50)$$

Постоянный коэффициент k для пиргелиометра может быть определен расчетным путем, так как величины r , b , l и σ могут быть измерены независимо. Поэтому *компенсационный пиргелиометр* представляет собой абсолютный прибор и применяется в качестве эталонного и образцового прибора.

Приемником радиации *термоэлектрического актинометра* служит тонкий серебряный диск, зачерненный со стороны нацеливания на солнце. К другой стороне диска приклеены нечетные спайи звездообразной термобатареи. Четные спайи батареи приклеены к массивному медному кольцу и поддерживаются при температуре окружающего воздуха. Вместе с кольцом приемник

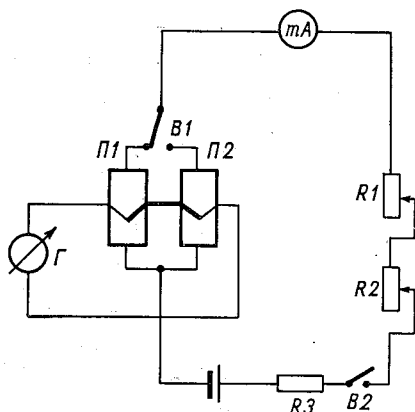


Рис. 50. Электрическая схема пиргелиометра.

вставляется в цилиндрическую трубку 1 (рис. 51), защищающую его от рассеянной радиации и ветра. Для нацеливания на солнце трубка актинометра укреплена на специальном штативе 2. Угол зрения актинометра, под которым из середины приемника видно входное отверстие трубки, как и у пиргелиометра, равен 10° . При таком угле отверстия на приемники практически попадают только прямые лучи от диска солнца. Доля рассеянной радиации от ореола составляет от 2 до 6%. При наблюдениях выводы термобатареи подключаются к гальванометру и актинометр нацеливается на солнце так, чтобы его приемник располагался перпендикулярно к солнечным лучам. Для точного нацеливания на трубке предусмотрен теневой экран с точкой, которая совмещается со световым «зайчиком», выходящим из отверстия в оправе. В результате поглощения радиации

между приемным диском и корпусом актинометра установится разность температур и в цепи термобатареи возникнет ток, который измеряется гальванометром. Отклонение стрелки гальванометра будет пропорционально интенсивности радиации. Измерения производятся после прогрева приемного диска в течение 2—3 мин и определения места нуля гальванометра при

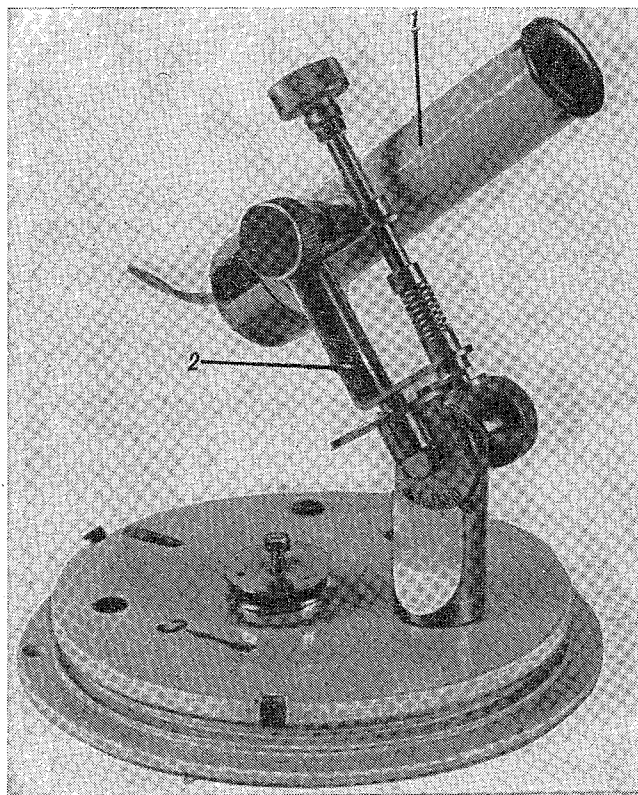


Рис. 51. Термoeлектрический актинометр.

закрытой трубке. Затем открывают трубку и делают серию n -отсчетов по гальванометру с интервалами в пять секунд. Во время отсчетов корректируется положение трубки относительно солнца. Кроме того, проверяется место нуля гальванометра и измеряется его температура T . Вычисление интенсивности радиации S по результатам измерений производится по формуле

$$S = \left[\frac{N_1 + N_2 + \dots + N_n}{n} + \Delta N - \frac{N'_0 + N''_0}{2} \right] k_T, \quad (51)$$

где ΔN — шкаловая поправка гальванометра; N'_0 и N''_0 — место

нуля, определенное до и после отсчетов; k_T — переводный множитель, полученный с учетом температуры гальванометра.

Рассеянная солнечная радиация измеряется пиранометром (рис. 52), затененным от прямых лучей солнца круглым экраном. При регистрации рассеянной радиации пиранометр соединяется с гальванометром или электролитическим интегратором [31], а для затенения от солнца применяется теневое кольцо. В отсутствие теневого экрана или кольца пиранометр измеряет суммарную радиацию солнца. Пиранометр, повернутый приемником к земной поверхности, служит для измерения отраженной суммарной радиации солнца и называется *альбедометром*. Приемником радиации пиранометра служит плоская термобатарея



Рис. 52. Пиранометр.

рея, составленная из манганиновой и константовой полосок. Нечетные спай термобатареи окрашены сажей в черный цвет, а четные покрыты белой магнезией, отражающей коротковолновую радиацию. Спай сгруппированы так, что черно-белые поля на приемной поверхности чередуются в шахматном порядке.

Вследствие разной поглощательной способности сажи и магнeзии к коротковолновой радиации (сажа поглощает до 98%, магнeзия — до 15%) спаи, покрытые черной и белой краской, принимают различную температуру, а на выходе термобатареи возникает электродвижущая сила, пропорциональная интенсивности этой радиации. Радиацию длиной волны более 4 мкм магнeзия и сажа поглощают одинаково, поэтому пиранометр к ней нечувствителен. Приемник радиации защищен от ветра и осадков полусферическим стеклянным колпачком, который пропускает практически всю суммарную коротковолновую радиацию (от 0,3 до 5 мкм). Для поглощения влаги, находящейся

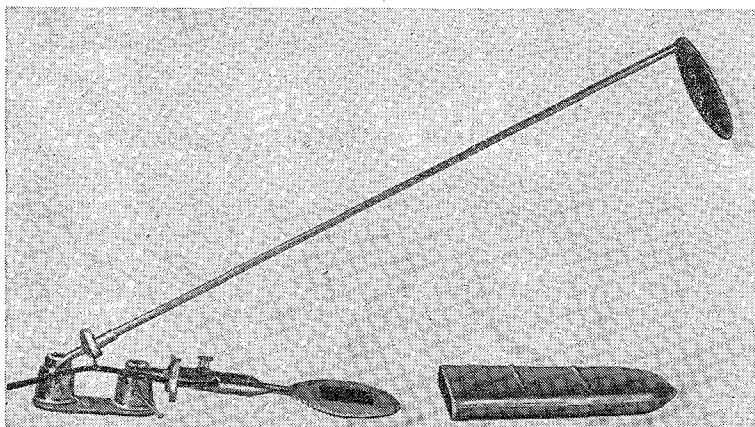


Рис. 53. Балансомер термоэлектрический М-10.

под колпаком, в пиранометре предусмотрена сушилка. Горизонтальность положения термобатареи при измерениях контролируется по уровню, который закреплен в корпусе прибора.

Пиранометр — прибор относительный. Для перевода его показаний в абсолютные величины определяется нормальный переводный множитель, а также поправочные множители для разных высот солнца.

Измерение *радиационного баланса* производится термоэлектрическим балансомером (рис. 53). Приемными поверхностями балансомера служат две открытые параллельно расположенные медные пластинки, зачерненные с наружной стороны. К внутренним сторонам пластинок прикреплены спаи термоэлектрической батареи, которая подключается к гальванометру. При измерениях балансомер устанавливается горизонтально. На верхнюю пластину падают потоки прямой солнечной радиации S_1 (на горизонтальную поверхность), рассеянной солнечной радиации D и длинноволнового излучения атмосферы E_a . Нижняя пластина поглощает потоки отраженной солнечной (коротковол-

новой) радиации R_k , отраженной длинноволновой радиации R_d и длинноволнового излучения поверхности земли E_s . Электродвижущая сила батареи и показания гальванометра будут пропорциональны разности температур пластин и соответствующей ей разности потоков, т. е. радиационному балансу

$$B = (S_1 + D + E_s) - (R_k + R_d + E_s). \quad (52)$$

Излучение самих пластин E_T практически одинаково для каждой стороны, так как разность их температур невелика (2—3° С). Балансомер, как и актинометр и пиранометр, является относительным прибором и для перевода его показаний в абсолютные значения радиации используется переводный множитель. Показания балансомера зависят от скорости ветра, поскольку при этом изменяется теплообмен между пластинами и окружающим воздухом. Для учета влияния ветра вводится поправочный множитель.

7.2. Поверочная схема

Показания актинометрических приборов приводятся к международной пиргелиометрической шкале [43]. С этой целью ВМО проводятся периодические сравнения национальных эталонов радиации во всех странах.

В Гидрометслужбе СССР воспроизведение пиргелиометрической шкалы осуществляется с помощью эталонного пиргелиометра № 212, который стоит в основе поверочной схемы (рис. 54). Эталон хранится в Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова, являющейся региональным центром радиации ВМО. Точность эталона характеризуется среднеквадратической погрешностью $S = 0,2\%$.

Единица радиации передается от эталонного пиргелиометра № 212 через рабочие эталоны ($S = 0,4\%$) образцовым пиргелиометрам и актинометрам ($S = 0,6 \div 0,8\%$), находящимся в управлениях гидрометслужбы, а от них через инспекторские актинометры ($S = 1,1\%$) — образцовым актинометрам на станциях ($S = 1,4\%$), с которыми сличаются рабочие актинометры, пиранометры и балансомеры. Основная погрешность измерения указанных рабочих приборов не превышает соответственно 2, 4 и 6%.

Для обеспечения надлежащей точности и достоверности измерений в области *длинноволновой радиации* балансомеры на станциях должны градуироваться по абсолютно черному телу ($S = 1\%$) с помощью образцовых компенсационных пиргелиометров ($S \leq 5\%$). Однако эта часть поверочной схемы находится на стадии разработки и на схеме показана пунктиром.

Сличения эталонных и образцовых приборов в *коротковолновой* части спектра проводятся на солнце в естественных

условиях при устойчивой радиации и высокой прозрачности атмосферы. Во время сличения на диске солнца и ближе 5° к нему не должно быть следов облаков. Сличения нельзя проводить

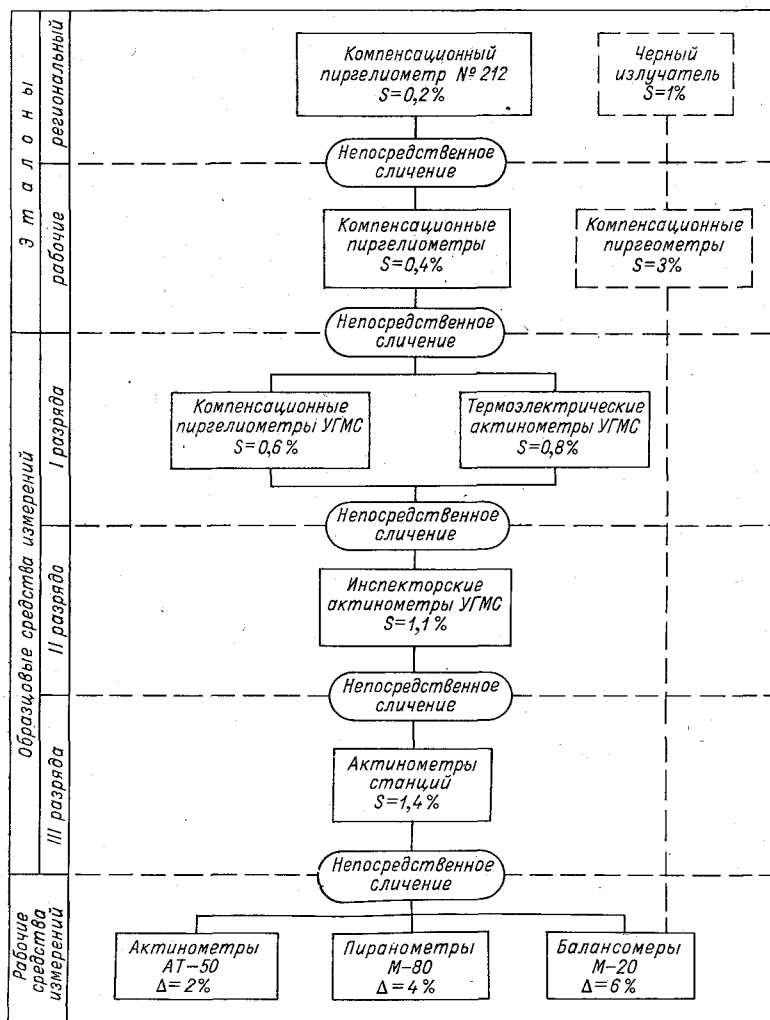


Рис. 54. Поверочная схема для актинометрических приборов.

при высоте солнца меньше 15° , а также при наличии пыли, тумана и дымки. Сличения рабочих приборов могут проводиться в лабораторных условиях на установке ПО-4. При сличениях определяются переводные коэффициенты приборов, а также поправочные множители (для пиранометров).

7.3. Методика поверки актинометрических приборов

При поверке актинометрических приборов определяют соответствие их метрологических характеристик установленным допускам. Для стандартных приборов — актинометра, пиранометра и балансомера — эти допуски приведены в табл. 24.

Таблица 24

Допуски на метрологические характеристики актинометрических приборов

Определяемые характеристики	Актинометр АТ-50	Пиранометр М-80	Балансомер М-10
Сопротивление термобатарей, Ом	(14—22)	30 ± 5	50 ± 10
Сопротивление изоляции, Ом	$\geq 10^6$	$\geq 5 \times 10^5$	$\geq 5 \times 10^5$
Инерция, с	≤ 25	≤ 40	≤ 15
Чувствительность, мВ на 1 кал/(мин·см ²)	(5,5—7,5)	(7—11)	$7 \pm 1,5$
Переводный множитель, кал/(мин·см ²) на 1 деление шкалы	(0,017—0,022)	(0,021—0,025)	(0,013—0,024)
Поправочные множители при высоте солнца:			
7°		(0,92—1,08)	
5		(0,85—1,15)	
30		(0,80—1,20)	
20		(0,75—1,25)	
15		(0,70—1,30)	
10		(0,65—1,35)	

Примечания. 1. Поправочные множители пиранометров при высоте солнца 20°, полученные при различных азимутах, не должны отличаться более чем на 0,20.

2. Расхождения в чувствительности сторон балансомера, а также в значениях переводных множителей для каждой из сторон не должны превышать 5%.

Вначале проверяют внутреннее сопротивление термобатарей прибора, ее сопротивление изоляции и инерцию. Измерение сопротивления термобатарей производят с точностью до десятых долей ома с помощью измерительного моста класса 0,05. Для устранения возможного влияния термоэлектродвижущих сил в измерительной цепи измерения производят дважды с переключением полюсов термобатарей. Искомое сопротивление батарей вычисляют как среднее арифметическое из двух измерений.

Измерение сопротивления изоляции термобатареи производят омметром. Провода от омметра присоединяют к корпусу прибора и к одной из клемм термобатареи.

Инерцию актинометрических приборов принято определять как время, в течение которого показание прибора после затенения его от радиации изменяется на 99,5% своей первоначальной величины (у балансомеров до 99%). Для определения инерции прибор нацеливают на солнце или на лампу и отсчитывают показания гальванометра n . Интенсивность падающей радиации должна быть не меньше $0,5 \text{ кал}/(\text{мин} \cdot \text{см}^2)$, чтобы отклонение стрелки гальванометра было достаточно большим. Затем отсчитывают место нуля гальванометра n_0 при затененном приемнике и вычисляют, каким будет показание гальванометра при уменьшении разности $n - n_0$ до 0,5%. После этого снова затевают приемник и, включив секундомер, отсчитывают время, за которое стрелка дойдет до расчетного деления. В этот момент секундомер выключают и, выждав когда стрелка установится, проверяют место нуля гальванометра. Если положение нуля изменилось, то определение инерции производится заново. Измерения повторяют три раза. За величину инерции прибора принимают среднее из полученных значений.

Пример. Отсчеты по гальванометру $n=79,6$, $n_0=5,2$, тогда отклонение стрелки гальванометра $n - n_0 = 79,6 - 5,2 = 74,4$, а 0,5% от этой величины составит $\frac{74,4 \times 0,5}{100} = 0,4$ деления. Определить инерцию прибора.

Решение. Секундомер следует выключить в тот момент, когда стрелка гальванометра не дойдет до нулевого положения на 0,4 деления, т. е. она будет показывать $5,2 + 0,4 = 5,6$ деления. Время, отсчитанное по секундомеру от начала затенения, когда актинометр показывал 79,6 деления, до момента, когда он стал показывать 5,6 деления, и будет характеризовать инерцию актинометра.

Если найденные характеристики находятся в пределах допусков, то можно приступить к основным операциям поверки — определению переводного множителя и чувствительности приборов.

Определение переводного множителя и чувствительности актинометра. *Переводный множитель актинометра* — это число, на которое нужно умножить показания гальванометра, чтобы получить значение интенсивности измеряемой радиации в $\text{кал}/(\text{мин} \cdot \text{см}^2)$. *Чувствительностью актинометра* (головки без гальванометра) называется отношение изменения величины электродвижущей силы, возникающей на клеммах термобатареи, к изменению интенсивности радиации, падающей на приемник. Переводный множитель и чувствительность актинометра определяются путем сличения его показаний с показаниями образцового актинометра при нацеливании на солнце или в лабораторных условиях на установке с искусст-

венным источником радиации. Если актинометр поверяется отдельно и будет работать с другим гальванометром, то определяется только его чувствительность.

Сличения на солнце. После установки поверяемого и образцового актинометров по широте и нацеливания их на солнце делают отсчеты места нуля по гальванометрам с точностью до десятых долей деления и результаты записывают в рабочий журнал. В журнал записывают также дату и время поверки, температуру при гальванометре и заводские номера приборов. Затем снимают крышки с актинометров и производят 10 одно-временных отсчетов по гальванометрам с интервалами в 10—15 с. По окончании серии отсчетов актинометры закрывают крышками и вторично определяют место нуля гальванометров. Результаты измерений обрабатывают и заносят в журнал.

Обработка результатов измерений производится в следующем порядке:

вычисляют средние из двух отсчетов места нуля и средние из отсчетов по гальванометрам;

находят исправленное среднее показание гальванометров $\bar{n}$ и n_0 , для чего средние из отсчетов по гальванометрам исправляют шкаловыми поправками, взятыми из поверочных свидетельств, и из полученных значений вычитают место нуля;

вычисляют среднее значение интенсивности прямой солнечной радиации $\bar{S}$, умножая исправленное показание гальванометра при образцовом актинометре n_0 на соответствующий переводный множитель, указанный в его поверочном свидетельстве;

вычисляют переводный множитель поверяемого актинометра путем деления среднего значения интенсивности радиации $\bar{S}$, полученной по образцовому актинометру, на исправленное среднее показание гальванометра $\bar{n}$ при поверяемом актинометре, т. е. $a = \bar{S}/\bar{n}$; определяют чувствительность актинометра по формуле

$$k = \frac{C_i n (R_6 + R_r + R_d)}{1000S} = \frac{C_i (R_6 + R_r + R_d)}{1000a}, \quad (53)$$

где k в $\frac{\text{мВ}}{\text{кал}/(\text{мин} \cdot \text{см}^2)}$, C_i — цена деления гальванометра (мкА), R_6 — сопротивление термобатареи актинометра, R_r — внутреннее сопротивление гальванометра, R_d — добавочное сопротивление.

Сличение в лабораторных условиях. В лабораторных условиях в качестве источника радиации используется электрическая лампа, что позволяет проводить поверку независимо от условий погоды. При этом возможно создать более постоянный радиационный режим, что повышает точность поверки. Такое

преимущество особенно важно при проверке балансомеров, показания которых в естественных условиях неустойчивы. Однако возможности проверки приборов при искусственном источнике радиации ограничиваются тем, что спектральные составы радиации лампы и солнца различны, а различные актинометрические приборы имеют неодинаковую спектральную чувствительность, которая зависит от технологии покрытия их приемников. Поэтому в лабораторных условиях можно сравнивать только приборы с одинаковой спектральной чувствительностью.

Схема установки для проверки актинометрических приборов в лабораторных условиях ПО-4 (рис. 55) состоит из источника радиации (лампы 9, диафрагмы 8, конденсатора 7), поворот-

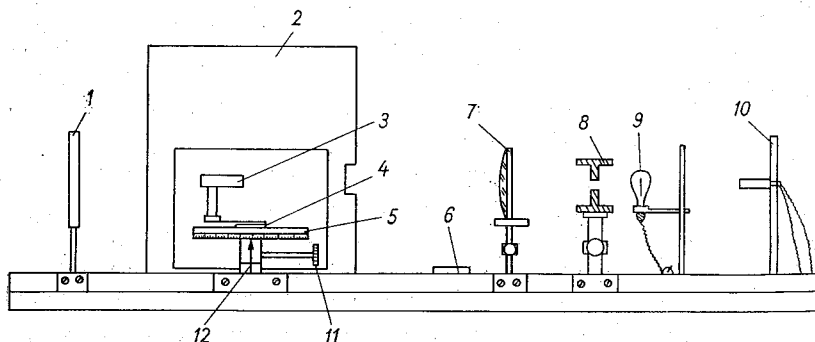


Рис. 55. Установка для проверки актинометрических приборов.

ного столика 5 с приспособлениями для крепления проверяемых и образцовых приборов (стойки 3 и направляющих салазок 4), экрана 1 для наводки приборов на источник, стойки 6 для теневого экрана и стойки 10 для актинометра, контролирующего интенсивность радиации лампы. Все детали установки расположены на массивной станине и при юстировке могут смещаться по горизонтали и вертикали. Столик 5 с приборами можно затенять от постороннего света металлическим колпаком 2, зачерненным изнутри. Радиация от источника к приборам проходит через отверстие, закрываемое крышкой. При помощи круговой шкалы и указателя 12 столик 5 с приборами может устанавливаться под любым углом к источнику и закрепляться стопорным винтом 11. Поскольку поток радиации от лампы недостаточно равномерен, то при проверке приборы устанавливаются попеременно на одно и то же место, поворотом столика на 180° или перемещением салазок. Для получения устойчивого потока излучения различной интенсивности лампу 9 необходимо подключить к источнику питания через стабилизатор напряжения и автотрансформатор. Напряжение питания контролируется по вольтметру. При неустойчивом напряжении питания для

учета изменения интенсивности радиации в процессе поверки используется контрольный актинометр, который нацеливается на лампу под некоторым углом к оптической оси, чтобы на него не попадала радиация, отраженная от поверяемых приборов.

Сличения приборов на лабораторной установке можно начинать только после 20—30-минутного прогрева лампы. Образцовый и поверяемый актинометры снимают со своих штативов и укрепляют в салазках на поворотном столике, с помощью которого они могут поочередно устанавливаться на одно и то же место в радиационном потоке лампы. Приемные поверхности приборов должны быть расположены в одной плоскости, перпендикулярной к лучам, а центры их должны находиться на одной высоте с центром конденсорной линзы и экрана. Для того чтобы проверить правильность установки приборов, их поочередно устанавливают в центре столика и нацеливают на лампу. При этом тень от трубки актинометра должна быть концентрична окружностям, нанесенным на экране. Закрепив актинометры, проверяют нулевые положения стрелок гальванометров и, записав напряжение лампы V , приступают к измерениям, соблюдая следующий порядок операций.

Перемещая салазки, в центре столика устанавливают образцовый актинометр и определяют положение нуля гальванометра n_0 . Сняв крышку с актинометра и проверив правильность нацеливания прибора, а также постоянство напряжения на лампе, делают три отсчета по гальванометру с промежутками в 30 с. Затем повторно отсчитывают место нуля гальванометра.

Перемещая салазки, в центре столика устанавливают поверяемый актинометр и производят отсчеты положения нуля гальванометра и три отсчета n_1 .

В центр столика снова помещают образцовый актинометр и повторно отсчитывают по нему место нуля и показания гальванометра.

Во время измерений проверяют постоянство напряжения на лампе, регулируя его при необходимости с помощью автотрансформатора. В том случае, если напряжение на лампе не удается поддерживать постоянным, необходимо использовать контрольный актинометр, отсчеты по которому производят параллельно отсчетами по образцовому и поверяемому актинометрам. При обработке результатов сравнения среднее показание поверяемого актинометра должно быть приведено (линейной интерполяцией) к среднему показанию контрольного актинометра. Методика обработки результатов сравнений актинометров аналогична рассмотренной выше.

Определение нормального переводного множителя и чувствительности пиранометра. Чувствительность и переводный множитель пиранометра изменяются в зависимости от угла падения радиации. При поверке эти параметры определяются при нормальном (перпендикулярном)

падении радиации на приемник. Для определения интенсивности радиации, падающей на приемник наклонно, вычисляются поправочные коэффициенты при различных высотах солнца. Нормальный переводный множитель и нормальную чувствительность пиранометра определяют путем сличения его показаний с показаниями образцового актинометра в естественных условиях или с показаниями образцового пиранометра на лабораторной установке. Если пиранометр будет работать с другим гальванометром, то определяется только его чувствительность.

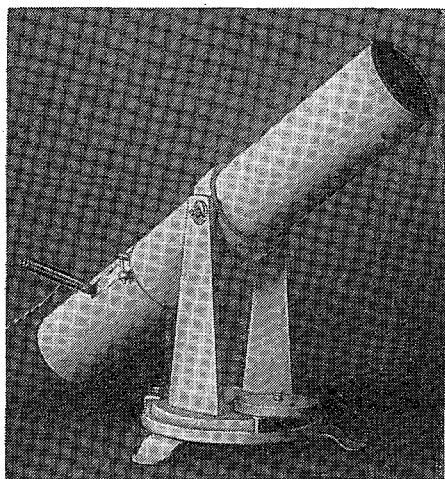


Рис. 56. Труба для проверки пиранометров и балансомеров на солнце.

Сличение с образцовым актинометром в естественных условиях. Для сличения пиранометра с образцовым актинометром применяется специальная труба с углом отверстия 10° , с помощью которой пиранометр нацеливается на солнце так, чтобы его приемная поверхность была перпендикулярна лучам солнца и защищена от действия рассеянной радиации (рис. 56). Головка пиранометра отвинчивается от штатива и закрепляется в нижней части трубы. Образцовый актинометр и

гальванометры устанавливаются рядом. После подготовки и нацеливания приборов на солнце отсчитывают место нуля и делают 10 одновременных отсчетов по гальванометрам с интервалами в 10—15 с. По окончании серии отсчетов актинометр и установку с пиранометром закрывают крышками и вторично определяют место нуля по обоим гальванометрам. Все отсчеты снимают не раньше, чем через две минуты после того, как крышки были сняты или закрыты. Запись и обработка результатов проверки производится так же, как при проверке актинометров. Нормальный переводный множитель и чувствительность пиранометра вычисляют по формулам (53).

Сличения с образцовым пиранометром в лабораторных условиях. В лабораторных условиях нельзя сравнивать показания пиранометра и актинометра, так как они имеют различную спектральную чувствительность, а радиация, излучаемая солнцем и лампой, отличается по спектральному составу. В качестве образцового прибора при проверке пиранометра на лабораторной установке используется пиранометр, однотипный с проверяемым и имеющий одинаковую спектральную чувствительность.

Переводный множитель и чувствительность образцового пиранометра должны быть определены сличением его с образцовым актинометром на солнце. Сличения с образцовым пиранометром на лабораторной установке производятся в том же порядке, как и при поверке актинометров. При креплении на установке образцового и поверяемого пиранометров необходимо следить за тем, чтобы их приемные поверхности были на одном расстоянии от конденсорной линзы и располагались перпендикулярно потоку радиации. После юстировки и нацеливания прибора столик с закрепленными на нем пиранометрами закрывается зачерненным изнутри колпачком, предохраняющим от влияния посторонней радиации. При отсчетах приемная поверхность пиранометра должна полностью освещаться через отверстие в колпаке. Для отсчета места нуля гальванометров это отверстие закрывают дверцей.

Определение поправочных множителей к показаниям пиранометра при разных высотах солнца. *Чувствительность и переводный множитель пиранометра* зависят от высоты и азимута солнца. Зависимость от азимута определяется дефектами стеклянного колпака и неодинаковым количеством активных спаев на краях термобатареи пиранометра. Эта зависимость исключается тем, что при поверке и при измерении суммарной радиации пиранометр поворачивается к солнцу всегда одной и той же стороной. Чувствительность пиранометра по азимутам проверяется на лабораторной установке. Изменение чувствительности в зависимости от высоты солнца учитывается введением поправочных множителей F_h , на которые умножается нормальный переводный множитель пиранометра для получения значения переводного множителя для прямой радиации при данной высоте солнца.

Поправочные множители для разных высот солнца F_h определяются на лабораторной установке (см. рис. 55), в которой создается параллельный поток радиации с помощью точечного источника — лампы мощностью 70—300 Вт. К пиранометру в этом случае подключается зеркальный гальванометр большей чувствительности (М-95 и др.), снабженный шкаловыми поправками. Измерения выполняются в следующем порядке.

Головку пиранометра укрепляют на поворотном столике установки так, чтобы приемная поверхность термобатареи была расположена в вертикальной плоскости, а ее середина находилась на оси вращения столика. При подведении нулевого деления шкалы столика к индексу-указателю пиранометр должен быть обращен к лампе той стороной, которой он обращен к солнцу при измерениях. Термобатарея должна быть расположена строго параллельно световому пучку. Затем столик поворачивают на 90° и закрывают колпачком. При этом световой поток будет перпендикулярен к поверхности приемника. Открыв дверцу в колпачке, освещают пиранометр и производят отсчет

показаний по гальванометру. Если стрелка гальванометра выходит за пределы шкалы, к нему подбирают добавочное сопротивление с помощью магазина или уменьшают напряжение на лампе. В дальнейшем напряжение на лампе должно поддерживаться постоянным. Отсчитав показания, закрывают дверцу и определяют место нуля гальванометра. Поворачивая столик последовательно на 10, 15, 20, 30, 40, 50, 70 и 90°, таким же образом производят отсчеты для каждого угла и определяют место нуля гальванометра. После этого проверяется азимутальная чувствительность пиранометра. Столик устанавливают на 20° шкалы и, поворачивая пиранометр по азимутам на 90, 180 и 270° так, чтобы поверхность батареи оставалась все время в вертикальной плоскости, отсчитывают показания гальванометра в каждой из трех положений головки.

Все отсчеты заносят в журнал по форме табл. 25.

Таблица 25

Форма для записи результатов измерений при определении поправочных множителей к показаниям пиранометра при разных высотах солнца

h°	$\sin h^\circ$	Напряже- ние на лампе V	Гальванометр при пирано- метре				$\frac{n_h}{n_{90}}$	$F_h = \frac{\sin h^\circ}{n_h/n_{90}}$
			n	Δn	n_0	n_h		

Поправочные множители для пиранометра при разных высотах солнца определяют, сопоставляя показания гальванометра n_h с его показанием при нормальном падении радиации n_{90} .

Если при нормальном падении лучей на приемник гальванометр показывает n_{90} делений и интенсивность радиации равна S , то при падении лучей под углом h к поверхности он покажет число делений $n_h < n_{90}$, и интенсивность радиации будет равна $S' = S \sin h$. Следовательно, для идеального пиранометра $n_h = n_{90} \sin h$. Показания реального пиранометра необходимо исправить введением множителя F_h .

Тогда

$$n_h F_h = n_{90} \sin h$$

и

$$F_h = \frac{\sin h}{n_h/n_{90}}. \quad (54)$$

Определение переводного множителя и чувствительности балансомера. Чувствительность и пе-

переводный множитель балансомера определяют путем сличения его показаний с показаниями образцового актинометра на солнце или с помощью лабораторной установки ПО-4.

При сличениях на солнце балансомер помещается в специальную трубу (см. рис. 56), с помощью которой он защищается от ветра и измеряет только прямую радиацию, как и актинометр. Измерение прямой радиации балансомером производится по методу солнце—тень. Измерения производятся в следующем порядке.

Трубу с балансомером и образцовый актинометр нацеливают на солнце и, определив место нуля гальванометров, производят сравнительные отсчеты показаний по балансомеру и актинометру. Сначала делают отсчет по балансомеру с закрытой трубой. Затем крышку трубы открывают и через 30 с после того, как показания гальванометра установятся, делают отсчет по незатененному балансомеру и одновременно отсчитывают показания образцового актинометра. После этого крышку трубы закрывают и вновь отсчитывают показания затененного балансомера. Всего надо сделать не менее 20 таких отсчетов. По окончании серии отсчетов повторно определяют место нуля гальванометра. Затем нацеливают балансомер к солнцу противоположной стороной и повторяют измерения в том же порядке.

При обработке результатов поверки отсчеты по гальванометрам исправляют шкаловыми поправками, взятыми из поверочных свидетельств гальванометров. Из исправленных отсчетов по гальванометру актинометра вычитают место нуля (среднее из двух отсчетов) и, умножая полученные величины на переводный множитель, взятый из поверочного свидетельства прибора, определяют значения интенсивности прямой солнечной радиации.

Из двух исправленных отсчетов по гальванометру затененного балансомера вычисляют средние значения и находят разности показаний при незатененном и затененном балансомере, соответствующие интенсивности измеренной им прямой радиации. Значения переводных множителей находят путем деления каждого значения интенсивности радиации, полученной по образцовому актинометру, на соответствующую разность отсчетов при незатененном и затененном балансомере. Из найденных значений вычисляют среднее значение переводного множителя балансомера. Таким же образом обрабатываются результаты поверки для второй стороны балансомера.

Расхождение в значениях переводных множителей для каждой стороны балансомера не должно превышать 5%. Из двух значений переводного множителя, полученных для каждой стороны, вычисляют среднее значение, которое и записывают в поверочное свидетельство балансомера. Чувствительность балансомера вычисляют по формуле (53). При поверке на лабораторной установке ПО-4 образцовый актинометр и балансомер

попеременно устанавливают в потоке радиации лампы и отсчитывают их показания в аналогичном порядке. Напряжение на лампе при этом контролируется с помощью вольтметра и регулируется автотрансформатором. С показаниями актиометра сравнивают разность показаний освещенного и затененного балансомера. Затенение балансомера производят с помощью темного экрана, имеющегося в комплекте установки.

При проверке необходимо предусмотреть экранирование балансомера от посторонних источников излучения.

Определение поправочных множителей к показаниям балансомера при ветре. Зависимость показаний балансомера от скорости ветра учитывается поправочным множителем, который определяют в аэродинамической трубе. Балансомер устанавливают в рабочем поле трубы так, чтобы его приемные поверхности находились в вертикальной плоскости и были параллельны воздушному потоку. Одна из приемных поверхностей балансомера освещается через конденсор параллельным пучком света от лампы мощностью 300—500 Вт. Напряжение на лампе должно поддерживаться постоянным. Чтобы исключить влияние различных источников излучения на показания балансомера, при определении поправочных множителей сравнивают не показания балансомера в спокойном воздухе и в воздушном потоке, а разности показаний освещенного и затененного балансомера. Величина этой разности при неизменной интенсивности радиации, падающей на балансомер от лампы, будет зависеть только от скорости потока в трубе. Затенение балансомера производится с помощью специального экрана, который устанавливают между балансомером и конденсором вне поля трубы, на подставке.

Отсчеты по затененному и открытому балансомеру производят в трехкратной последовательности в спокойном воздухе и при установившейся скорости воздушного потока в трубе: 1, 3, 7, 11, 15, 13, 9, 5 и 2 м/с.

В каждой точке контролируется напряжение на лампе. Скорость потока в трубе измеряется с помощью пневмометрической трубки и микроманометра. При обработке наблюдений по исправленным отсчетам гальванометра вычисляют средние разности показаний незатененного и затененного балансомера в спокойном воздухе и для каждого значения скорости в трубе. Поправочные множители при заданных скоростях ветра вычисляют

как частное от деления этих величин, т. е. $\Phi_v = \frac{n_0}{n}$. Получен-

ные величины поправочных множителей наносят на график. По оси абсцисс откладывается скорость ветра, а по оси ординат — поправочные множители. Полученные точки соединяют плавной кривой (см. рис. 62).

7.4. Поверка гальванометра

Для измерения силы тока в цепи термоэлектрической батареи актинометров, пиранометров и балансомеров применяется стрелочный гальванометр типа ГСА-1 (рис. 57). При поверке этого гальванометра производится внешний осмотр и выполняются следующие операции.

1. Определяют внутреннее сопротивление гальванометра и добавочное сопротивление к нему с помощью измерительного моста не ниже класса точности 0,05. Перед измерениями гальванометр выдерживают при температуре помещения, в котором производится поверка, не менее одного часа. При измерениях внутреннего сопротивления мост подключают к клеммам «+» и P гальванометра, а при измерении добавочного сопротивления — к клеммам P и C . В качестве нуль-индикатора моста применяется зеркальный гальванометр с чувствительностью не хуже 10^{-7} А/дел. Напряжение на мост следует подавать через реостат, выводя его постепенно, чтобы избежать поломки стрелки гальванометра при ударе ее об ограничитель. Измерения сопротивления производят с точностью до 0,1 Ом с переключением полярности питающего напряжения. Из отсчетов вычисляют среднее значение r и r_d .

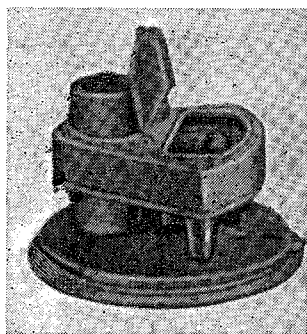


Рис. 57. Гальванометр ГСА-1.

2. Проверяют сопротивление изоляции подвижной системы с помощью омметра, выводы которого присоединяют к винту арретира и к одной из клемм. Чтобы не повредить гальванометр, следует арретир отключить и последовательно с рамкой включить добавочное сопротивление порядка одного мегома.

3. Проверяют уравновешенность подвижной системы на наклонном столике. Гальванометр включают в цепь тока, при этом стрелка должна находиться примерно на середине шкалы. Поворачивая гальванометр так, чтобы в сторону наклона была обращена по очереди каждая из четырех сторон прибора, отсчитывают его показания. Показания при наклоне сравнивают с показаниями гальванометра при горизонтальном положении. При наклоне на 5° измерение показаний гальванометра не должно быть больше трех делений шкалы.

4. Определяют шкаловые поправки гальванометра при сравнении его показаний с показаниями образцового микроамперметра в делениях шкалы. Для определения шкаловых поправок собирают схему (рис. 58), согласно которой поверяемый гальванометр G_1 включается в цепь источника тока B последовательно с образцовым микроамперметром G_2 . Направление тока в цепи

гальванометра может изменяться с помощью переключателя Π . Регулирование силы тока, подаваемого на приборы, производят посредством реостатов R_2 и R_3 . С помощью переключателя K_2 к гальванометру подключают шунтирующее сопротивление R_4 . Сопротивление R_4 подбирают таким, чтобы при отклонении стрелки поверяемого гальванометра до 100 делений отклонение стрелки образцового микроамперметра было бы в пределах 80—95 делений. Перед проверкой корректором устанавливают стрелку гальванометра на деление шкалы 5. Стрелка образцового прибора должна быть вблизи нуля. Отсчитав нулевые по-

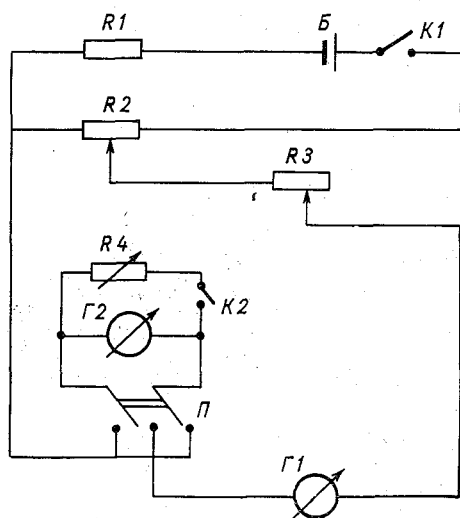


Рис. 58. Схема проверки гальванометра.

ложения стрелок гальванометра n_0 и образцового прибора N_0 при разомкнутой цепи, включают рубильник K_1 и, уменьшая ток с помощью реостатов R_2 , R_3 , последовательно устанавливают стрелку поверяемого гальванометра на деления шкалы n равные 100, 95, 85, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 15 и 10. На каждом делении делают соответствующие отсчеты N по образцовому прибору. По окончании отсчетов выключают рубильник и вновь отсчитывают нулевое положение стрелок. Сравнения повторяют на тех же делениях шкалы при возрастании тока. Отсчеты

начинают с нулевого деления шкалы гальванометра. Установка стрелки на нулевое деление производится с помощью реостатов при измененном направлении тока в цепи гальванометра. Запись результатов проверки ведется по форме табл. 26.

Таблица 26

Форма записи результатов проверки шкалы гальванометра

Гальванометр №				Образцовый микроамперметр №				
n_1	$n = n_1 - n_0$	n_2	$\Delta n = n_2 - n_1$	N_1	N_2	$N_{\text{ср}}$	ΔN	$N = N_{\text{ср}} + \Delta N - N_0$

В табл. 26 n_1 — отсчеты по гальванометру, $N_{\text{ср}} = \frac{N_1 - N_2}{2}$ — среднее значение показаний образцового прибора и ΔN — его

шкаловые поправки, взятые из поверочного свидетельства, N — исправленные показания образцового прибора, Δn — шкаловые поправки.

При определении шкаловых поправок для удобства принимают поправки на делении 50 поверяемого гальванометра равными нулю и вычисляют, какие показания гальванометра n_2 будут соответствовать показаниям образцового прибора, если шкала гальванометра была бы линейной. Для этого составляется пропорция

$$n_2/N = n_{50}/N_{50},$$

откуда

$$n_2 = N \frac{n_{50}}{N_{50}},$$

где n_{50} и N_{50} — исправленные отсчеты поверяемого и образцового приборов, соответствующие точке 50 по шкале гальванометра. Вычисление значений n_2 рекомендуется выполнять на логарифмической линейке. Шкаловые поправки гальванометра на соответствующих точках шкалы вычисляют как разность вычисленных и действительных показаний прибора, т. е. $\Delta n = n_2 - n$.

5. Определяют вариации показаний одновременно с определением шкаловых поправок гальванометра, которые принимаются равными наибольшей разности между показаниями образцового прибора, соответствующими одной и той же отметке шкалы поверяемого гальванометра. Для гальванометра ГСА-1 вариация показаний не должна превышать 0,9 деления шкалы.

6. Определяют цену деления гальванометра по току путем сравнения его показаний с показаниями образцового микроамперметра. Для измерений используется схема (рис. 58), в которой магазин сопротивлений R_4 должен быть отключен. Отсчитав нулевые положения стрелок приборов, регулируют силу тока реостатами и устанавливают стрелку гальванометра последовательно на деления шкалы 95, 90, 85, 80 и 70. На каждом делении отсчитывают показания образцового прибора в мкА. Цена деления C_i находится как частное от деления исправленных отсчетов по образцовому прибору N и гальванометру n , т. е. $C_i = \frac{N_i}{n}$. Из пяти полученных значений вычисляется средняя величина C_i .

7.5. Проверка преобразователя солнечного сияния УАТГМС и АРМС

Устройство преобразователя показано на рис. 59. Наличие солнечного сияния определяется при помощи плоских кремниевых фотоэлементов, образующих шесть зачерненных секторов на цилиндрической приемной поверхности преобразователя.

Фотоэлементы, находящиеся на диаметрально противоположных секторах, включены навстречу друг другу и имеют по два общих вывода, которые с помощью кабеля соединяются с блоком автоматики станций. Преобразователь солнечного сияния расположен под защитным стеклянным колпаком и при установке на открытом месте обеспечивает прием прямой солнечной радиации при любом расположении солнца на горизонте. Влияние рассеянной радиации на преобразователь практически исключено благодаря встречному включению фотоэлементов. Попадание же прямой радиации солнца на какой-либо из секторов вызовет электрический ток на выходе фотоэлементов этого сек-

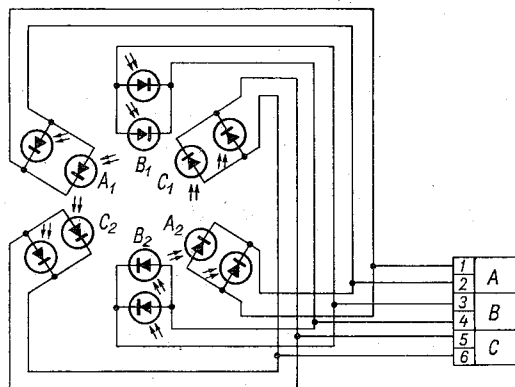


Рис. 59. Электрическая схема преобразователя наличия солнечного сияния.

тора и появление сигнала о наличии солнечного сияния в блоке автоматики. Этот сигнал определяется выражением

$$i = kS,$$

где i — сила тока, S — интенсивность солнечной радиации, k — коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств фотоэлементов.

Проверка преобразователей солнечного сияния включает в себя внешний осмотр, проверку сопротивления, изоляции и определение коэффициента пропорциональности k для каждой секции.

При внешнем осмотре преобразователь должен удовлетворять следующим требованиям:

не иметь механических повреждений, обрывов выводов фотопреобразователей. Приемная поверхность не должна иметь трещин, сколов и царапин;

каркас, на который наклеены фотопреобразователи и экраны секций должны иметь черное покрытие;

поверхности стеклянного колпака и конусного отражателя должны быть чистыми;

тиоколовая замазка у основания стеклянного колпака не должна иметь трещин и выбоин.

Сопrotивление электрической изоляции измеряют мегомметром с напряжением 100 В. Измеряют сопротивления между электрическими цепями разных групп фотопреобразователей и между отдельными электрическими цепями и корпусом, т. е. между штырьками разъема 1—3, 1—5, 3—5 и между корпусом и каждым из штырьков (см. рис. 59). При температуре воздуха $20 \pm 5^\circ \text{C}$ и относительной влажности не более 80% сопротивление электрической изоляции должно быть не менее 20 МОм.

Коэффициент пропорциональности k определяется для каждой из секций A_1 , A_2 , B_1 , B_2 и C_1 , C_2 путем сравнения с образцовым фотопреобразователем, имеющим те же спектральные характеристики, что и преобразователь. Образцовым прибором может служить актинометр, в котором в качестве чувствительного элемента используется кремниевый фотопреобразователь такой же, как в преобразователе солнечного сияния. Коэффициент пропорциональности k для него должен быть определен сравнением на солнце с термоэлектрическим актинометром.

Для измерения фототока на выходе образцового прибора используется миллиамперметр класса точности не ниже 0,5.

Сравнение преобразователя с образцовым прибором проводится на актинометрической установке ПО-4.

Для определения коэффициента пропорциональности k измеряют фототок, вырабатываемый всеми секциями при радиации около 0,1; 0,3 и 0,5 кал/(мин · см²). Предварительно рассчитывают силу тока, которую должен давать образцовый фотопреобразователь при облучении его этой радиацией. Силу тока определяют по формуле $i = kS$, зная коэффициент пропорциональности образцового прибора.

Затем образцовый фотопреобразователь закрепляют в установке ПО-4 и, меняя напряжение на лампе, устанавливают значение рассчитанного тока по миллиамперметру. Значение напряжения на лампе и два последовательных отсчета по миллиамперметру записывают в журнал и рассчитывают значение радиации $S = i/k$. Форма записи приведена в табл. 27.

После этого с установки снимают образцовый прибор и на его месте устанавливают преобразователь солнечного сияния. Приемные фотопреобразователи поверяемой секции располагают перпендикулярно световому потоку и помещают точно в ту же часть светового потока, где устанавливался образцовый прибор. При этом затененные площади от правого и левого черных экранов, ограничивающих поверяемую секцию, должны быть равны.

Поверяемую секцию подключают к миллиамперметру постоянного тока не ниже 0,5 класса точности и с пределом измерения

Запись при определении коэффициента k преобразователя солнечного сияния

Дата поверки	Напряжение на лампе, В	Образцовый фотопреобразователь № 1 $k=12$, миллиамперметр М1104 № 2905			
		диапазон и цена деления	отсчет	i мА	$S = \frac{i}{k}$ кал/(мин·см ²)
15 IX 1970	60.0	1.5 мА $C_i = 0.01$	124.8 124.8	1.248	$\frac{1.248}{12.21} = 0.102$

1,5 мА. Можно использовать один и тот же прибор для образцового прибора и преобразователя поочередно. В схеме (см. рис. 59) в каждой группе A , B и C секции 1 и 2 включены встречно, поэтому рассеянная радиация, падающая на секции $A=1$, $A=2$ и другие компенсируется. Однако в лабораторных условиях на противоположно направленные секции может попадать неодинаковый поток рассеянной радиации, поэтому необходимо проводить измерения по методу «солнце—тень». Теневой экран должен иметь размеры 50×20 мм и устанавливаться на расстояние 30 см от преобразователя.

Контролируя напряжение на лампе после каждого отсчета, записывают показания миллиамперметра при затенении проверяемой секции, затем снимают два отсчета при освещении преобразователя и снова отсчет при затенении. Отсчеты записывают в журнал. Затем ориентируют перпендикулярно световому потоку следующую секцию и снимают отсчеты «тень—свет—тень». Аналогично берут отсчеты по всем секциям. Форма записи приведена в табл. 28.

Таблица 28

Запись результатов поверки преобразователя солнечного сияния

Напряжение на лампе, В	Преобразователь солнечного сияния № 3 миллиамперметр М1109 № 844, диапазон 6 мА, $C_i = 0.04$ мА/дел.				
	проверяемая секция	отсчет по преобразователю		$\bar{n} - \bar{n}_0$	$i = (\bar{n} - \bar{n}_0) C_i$
		затененному	освещенному		
60.0	А-1	5.1	72.8	68.0	2.72
		5.0	73.2		
		5.0	73.0		
	А-2	6.9	80.0	73.2	2.93
		6.8	80.0		
		6.8	80.0		

Затем по образцовому фотопреобразователю устанавливают по очереди радиацию 0,3 и 0,5 кал/(мин·см²) и записывают со-

ответствующее напряжение на лампе. При значениях радиации 0,3 и 0,5 кал/(мин·см²) отсчеты снимают по каждой секции так же, как и при радиации 0,1 кал/(мин·см²). При этом миллиамперметр используется на пределе шкалы 15 мА.

По полученным данным для каждой группы преобразователей А, В и С строится график: по оси абсцисс откладывают значение радиации в масштабе 0,1 кал/(мин·см²) = 20 мм; по оси ординат значение силы тока в масштабе 1 мА = 10 мм. График проводится в виде прямой, проходящей через начало коор-

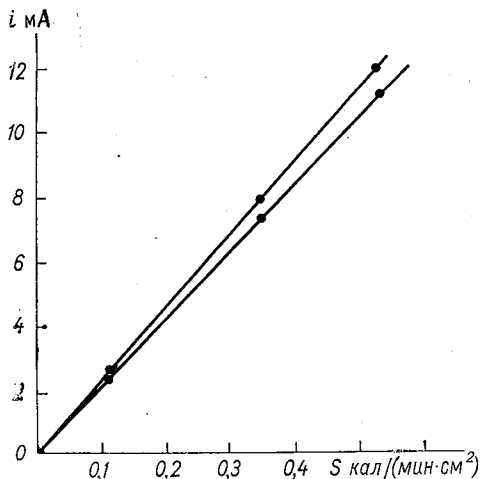


Рис. 60. Зависимость фототока на выходе секции преобразователя от величины входящей радиации.

динат. Отклонение точек от прямой не должно превышать $\pm 0,5$ мА. Пример построения графика для группы секции А приведен на рис. 60.

Коэффициент пропорциональности k определяется для каждой секции по данным, снятым с графика, и вычисляется в мА·мин·см²/кал по формуле

$$k = i/S.$$

Коэффициент пропорциональности каждой секции должен быть не менее 25 мА·мин·см²/кал.

Для оценки годности преобразователя солнечного сияния вычисляют и сопоставляют следующие величины:

для каждой группы фотопреобразователей, состоящей из двух секций с индексами 1 и 2, вычисляют средний коэффициент по формуле

$$k_{\text{ср}} = \frac{k_1 + k_2}{2}.$$

где k_1 и k_2 — коэффициенты пропорциональности для секций 1 и 2 данной группы соответственно. Средние коэффициенты $k_{\text{ср}}$ всех трех групп (A, B, C) не должны отличаться друг от друга более чем на 5%. Если разница больше 5%, то такой преобразователь бракуется;

для каждой группы, исходя из графиков, вычисляют средний ток в мА из значений тока i_1 и i_2 на выходе каждой секции этой группы при радиации одинаковой интенсивности (например, 0,5 кал/(мин · см²))

$$\bar{i} = \frac{i_1 + i_2}{2};$$

для каждой секции вычисляется значение h , т. е. отношение силы тока на выходе при интенсивности прямой радиации равной 0,27 кал/(мин · см²), или $i_{0,27}$, к силе тока при отсутствии прямой радиации $i_{\text{п}}$:

$$h = \frac{i_{0,27}}{i_{\text{п}}}. \quad (55)$$

Ток при отсутствии прямой радиации обуславливается неодинаковой чувствительностью фотопреобразователей в противоположных секциях и различием яркости неба.

Для секций 1 и 2 величины h вычисляют по формулам:

$$h_1 = \frac{i'_{0,27}}{(i'_{0,15} - i''_{0,15}) + i''_{0,04}}; \quad (56)$$

$$h_2 = \frac{i''_{0,27}}{(i'_{0,15} - i''_{0,15}) + i'_{0,04}},$$

где $i'_{0,27}$ — ток в мА на выходе группы при облучении первой секции радиацией 0,27 кал/(мин · см²), $i''_{0,27}$ — то же для второй секции; $i'_{0,15}$ — ток на выходе группы при облучении первой секции радиацией 0,15 кал/(мин · см²), $i''_{0,15}$ — то же для второй секции; $i'_{0,04}$ — ток на выходе группы при облучении первой секции радиацией 0,04 кал/(мин · см²), $i''_{0,04}$ — то же для второй секции.

Значения тока для первой и второй секций при радиации 0,27, 0,15 и 0,04 кал/(мин · см²) для каждой из групп определяют из графиков.

В формулы для h_1 и h_2 подставляется абсолютное значение разности $(i'_{0,15} - i''_{0,15})$.

Значение отношения $h = i_{0,27}/i_{\text{п}}$ должно быть не меньше 5. Если $h < 5$, то преобразователь бракуется. Порядок вычисления величин $\bar{k}$, $\bar{i}$, h_1 и h_2 дан в табл. 29.

Результаты проверки записывают в архивный журнал и в поверочное свидетельство. В архивный журнал для каждой группы

Расчет величин $k_{ср}$, $i_{ср}$, h_1 и h_2 для групп А, В, С секций 1 и 2 преобразователя солнечного сияния

№ преобразова- теля	Группа	Секция	При $S=0,5$ ккал/(мин·см ²)		$\frac{k}{2} = \frac{k_1 + k_2}{2}$	$\frac{l}{2} = \frac{l_1 + l_2}{2}$	$\frac{l - l_1}{l}$	$i_{0,27}$	$i_{0,25}$	$i_{0,04}$	$i_{0,15} - i_{0,15}^*$	$h = \frac{i_{0,27}}{i_n}$
			k	l								
3	А	1	26,0	13,00	26,9	13,48	30%	7,05	3,90	1,05	0,25	$h_1 = \frac{7,05}{0,26 + 1,05} = 5,4$
		2	27,8	13,95				7,55	4,15	1,07		$h_2 = \frac{7,55}{0,25 + 1,07} = 5,7$
	В	1	27,8	12,87	26,8	13,49	40%	7,25	4,12	1,07	0,32	$h_1 = \frac{7,25}{0,32 + 1,07} = 5,2$
		2	25,8	14,10				6,95	3,80	1,00		$h_2 = \frac{6,95}{0,32 + 1,00} = 5,3$
	С	1	27,6	13,95	28,2	14,20	20%	7,50	4,15	1,10	0,20	$h_1 = \frac{7,5}{0,2 + 1,1} = 5,8$
		2	28,7	14,45				7,80	4,35	1,20		$h_2 = \frac{7,8}{0,2 + 1,2} = 5,5$

фотопреобразователей записывают средние величины коэффициента пропорциональности k и среднее отношение $h = i_{0,27}/i_{\text{т}}$. Форма составления поверочного свидетельства дана в табл. 30.

Таблица 30

Запись результатов в поверочное свидетельство преобразователя
солнечного сияния

Преобразователь солнечного сияния № 3

	Группы секций 1 и 2		
	А	В	С
Коэффициент пропорциональности мА·мин·см ² /кал	26.9	26.8	28.2
Отношение h	5.5	5.2	5.6

Дата поверки

Начальник бюро поверки

Ответственный поверитель

Лабораторные работы

7.1. ПОВЕРКА ГАЛЬВАНОМЕТРА ГСА-1

Содержание работы. Определение шкаловых поправок гальванометра.

Поверочное оборудование и приборы. Образцовый микроамперметр, гальванометр ГСА-1.

Указания по выполнению работы. Форма записи результатов измерений при определении шкаловых поправок гальванометра приведена в табл. 31, где n_1 — показания гальванометра, N_1 и N_2 — показания образцового микроамперметра.

При обработке данных из показаний поверяемого прибора n_1 вычитают место нуля и полученную разность записывают в графу n . Из показаний образцового прибора N_1 и N_2 находят средние значения $\bar{N}$, которые исправляют шкаловыми поправками, взятыми из поверочного свидетельства на микроамперметр. Затем условно принимают поправку на делении 50 поверяемого гальванометра равной нулю и рассчитывают линейную шкалу гальванометра, т. е. вычисляют его показания n_2 из пропорции

$$\frac{n_2}{N} = \frac{n_{50}}{N_{50}},$$

где n_{50} и N_{50} — исправленные отсчеты поверяемого и образцового приборов, соответствующие точке 50 по шкале гальванометра. Для точки 100 в табл. 31 $N = 87,1$, $N_{50} = 45$, $N_{100} = 41,0$; тогда

$$\frac{n_2}{87,1} = \frac{45}{41,0},$$

откуда

$$n_2 = \frac{87,1 \times 45}{41,0} = 95,6.$$

Таблица 31

Запись результатов измерений при определении шкаловых поправок гальванометра

Гальванометр № 796				Образцовый микроамперметр № 8184				
n_1	$n = n_1 - n_0$	n_2	$\Delta n = n_2 - n$	N_1	N_2	$\bar{N}$	ΔN	$N = \bar{N} + \Delta N - N_0$
$n_0 = 5,0$				$N_0 = 0,0$				
100	95	95.6	+0.6	86.7	86.8	86.8	+0.3	87.1
95	90	96.0	0.0	81.8	81.9	81.8	+0.2	82.0
90	85	84.7	-0.3	76.9	77.0	77.0	+0.2	77.2
85	80	79.9	-0.1	72.6	72.8	72.7	+0.1	72.8
80	75	74.7	-0.3	67.9	68.0	68.0	+0.1	68.1
70	65	64.8	-0.2	58.9	59.0	59.0	0.0	59.0
60	55	55.1	+0.1	49.9	50.0	50.0	+0.2	50.2
50	45	45.0	-0.0	40.9	41.0	41.0	0.0	41.0
40	35	34.9	0.1	31.8	31.9	31.8	0.0	38.8
30	25	25.1	+0.1	22.7	22.9	22.8	+0.1	22.9
20	15	15.1	+0.1	13.7	13.8	13.8	0.0	13.8
15	10	10.1	+0.1	9.1	9.2	9.2	0.0	9.2
10	5	5.3	+0.3	4.7	4.8	4.8	0.0	4.8
5.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0
$n_0 = 5,0$								

Такие же расчеты делают для всех остальных поверяемых точек. Шкаловые поправки гальванометра Δn определяют как разность между вычисленными и действительными показаниями гальванометра, т. е.

$$\Delta n = n_2 - n.$$

Для точки 100 поправка будет равна

$$95,6 - 95 = +0,6.$$

В табл. 32 приведено вычисление цены деления гальванометра C_i , определяемой как среднее арифметическое из пяти значений, полученных при отсчетах.

Таблица 32

Запись результатов измерений при определении цены деления гальванометра

Дата и температура	Гальванометр № 796				Образцовый микроамперметр № 8184		
	n_1	Δn	$n = n_1 + \Delta n - n_0$	$C_i = \frac{N}{n}$	N_1	ΔN	$N = N_1 + \Delta N - N_0$
20 X 1972 $t = 20,2^\circ \text{C}$	$n_0 = 5,0$				$N_0 = 0,0$		
	95	0.0	90.0	0.800	71.9	+0.1	72.0
	90	-0.3	84.7	0.797	67.4	+0.1	67.5
	85	-0.1	79.9	0.795	63.5	0.0	63.5
	80	-0.3	74.7	0.795	59.4	0.0	59.4
	70	-0.2	64.8	0.795	51.3	+0.2	51.5
	$n_0 = 5,0$		$C_i = 0.796$		$N_0 = 0,0$		

Запись результатов измерений при определении переводного
множителя актинометра

Дата, температура	Образцовый актинометр № 392, гальванометр № 793 $C_i = 0,0184$		
	n_0	n_1	S_1
13 VIII 1972 $t = 18^\circ \text{C}$	5.0	38.0	0.605 кал/(мин·см ²)
		38.0	
	5.0	38.0	
		$\overline{n} = 38.0$	
	Поправка	0.1	
	Место нуля	5.0	
		$\overline{n}_{\text{испр}} = 32.9$	
	Поверяемый актинометр № 383, гальванометр № 1178		
	n_0	n_2	k
	5.0	36.9	0.0189 кал/(мин·см ² ·дел)
		36.9	
	5.0	36.9	
		$\overline{n} = 36.9$	
	Поправка	0.0	
	Место нуля	5.0	
		$\overline{n}_{\text{испр}} = 31.9$	
	Образцовый актинометр № 392, гальванометр № 796		
	n_0	n_1	S_2
	5.0	37.9	0.604 кал/(мин·см ²)
		37.9	
	5.0	37.9	
		$\overline{n} = 37.9$	
	Поправка	0.1	
	Место нуля	5.0	$\overline{S} = \frac{0.605 + 0.604}{2} =$ $= 0.604 \text{ кал/(мин·см}^2\text{)}$
		$\overline{n}_{\text{испр}} = 32.8$	

7.2. ПОВЕРКА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО АКТИНОМЕТРА, ПИРАНОМЕТРА И БАЛАНСОМЕРА

Содержание работы. Определение поправочных множителей к показаниям приборов.

Поверочное оборудование и приборы. Измерительный мост класса 0,5, омметр, образцовые приборы и установка для поверки ПО-4.

Указания по выполнению работы. Порядок выполнения работы указан в п. 7.3, в табл. 33 приведено определение переводного множителя актинометра.

Из трех отсчетов по гальванометрам образцового и поверяемого актинометров находят средние значения n , из которых вычитают место нуля n_0 .

По показаниям образцового актинометра вычисляют значения радиации S_1 , S_2 и $\bar{S}$ в кал/(мин · см²):

$$S_1 = 0,0184 \times 32,9 = 0,605;$$

$$S_2 = 0,0184 \times 32,8 = 0,604;$$

$$\bar{S} = \frac{0,605 + 0,604}{2} = 0,604.$$

Переводный множитель k поверяемого актинометра будет равен

$$k = \frac{\bar{S}}{n_2} = \frac{0,604}{31,9} = 0,0189.$$

В табл. 34 дано определение поправочных множителей к показаниям пиранометра при разных высотах солнца.

Таблица 34

Запись результатов измерений при определении переводных множителей к показаниям пиранометра при разных высотах солнца

h	$\sin h$	Гальванометр при пиранометре				$\frac{n_h}{n_{90}}$	$F_h = \frac{\sin h}{n_h/n_{90}}$
		n	Δn	n_0	n_h		
90		80.8	—0.1	0.2	80.5		
10	0.174	14.1	—0.2	0.2	13.7	0.170	1.02
15	0.259	21.4	0.0	0.2	21.2	0.264	0.98
20	0.342	28.6	+0.2	0.2	28.6	0.356	0.96
30	0.500	40.9	+0.4	0.2	41.1	0.511	0.98
40	0.643	53.0	+0.3	0.2	53.1	0.660	0.97
50	0.766	6.0	+0.1	0.2	62.9	0.782	0.98
70	0.940	77.1	—0.2	0.2	76.7	0.954	0.77
90		80.6	—0.1	0.2	80.3		
90		80.6	—0.1	0.2	80.3		
20		28.8	+0.2	0.2	28.8	0.358	0.96
20		29.0	+0.2	0.2	29.0	0.361	0.95
20		27.0	+0.2	0.2	27.0	0.336	1.02

При обработке результатов измерений отсчеты по гальванометру n при поверяемом пиранометре исправляют шкаловыми поправками Δn и после вычитания места нуля гальванометра n_0 заносят в графу n_h . Из трех отсчетов

n_h , соответствующих высоте солнца 90° , вычисляют среднее значение

$$\bar{n}_{90} = \frac{80,5 + 80,3 + 80,3}{3} = 80,4.$$

Каждое значение n_h делят на значение n_{90} , и полученные результаты заносят в графу n_h/n_{90} . Поправочные множители F_h находят путем деления значений $\sin h$ на соответствующие им n_h/n_{90} . Значения F_h наносят на график, по оси абсцисс которого откладывают высоту солнца h , а по оси ординат —

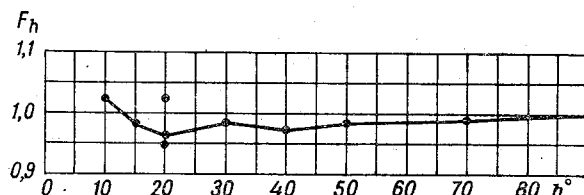


Рис. 61. График зависимости поправочного множителя пиранометра от высоты солнца.

поправочный множитель F_h . Нанесенные точки соединяют кривой (рис. 61).

В табл. 35 приводится вычисление поправочных множителей к показаниям балансомера при ветре. Здесь l — число делений по микроманометру, n_1 и n_2 — отсчеты по гальванометру при затененном и освещенном балансомере.

Таблица 35

Запись результатов измерений при определении поправочного множителя балансомера при ветре

Дата	Микроманометр		Балансомер № 3429				$\Phi_v = \frac{n_0}{n}$
	число делений l	скорость ветра v м/с	n_1	n_2	n_0	n	
21 VI 1972	0.0		2.3	36.3	34.0		
			2.0	36.7	34.7		
			3.0	37.3	34.3		
			2.3	35.6		33.3	1.04
	14.2	3.1	2.3	34.1		31.8	1.08
	76.1	7.4	2.0	32.6		30.6	1.13
	93	10.7	2.0	30.7		28.7	1.20
	108	12.0	2.0	31.6		29.6	1.17
	147	15.1	2.0	30.5		28.5	1.31
	123	13.4	2.0	30.7		28.7	1.20
	112	9.1	2.0	32.3		30.3	1.14
	42.0	5.5	2.0	33.0		31.6	1.09
	6.5	2.1	2.3	35.2		32.9	1.05
	1.9	1.1	2.2	35.6		22.4	1.03
	0.0		2.0	36.6	34.6		
			2.3	37.0	34.7		
			2.4	37.1	34.7		
			$\bar{n}_0 = 34.5$				

Из показаний незатененного балансомера n_2 вычитают соответствующие показания затененного балансомера n_1 и найденные значения записывают в графу n .

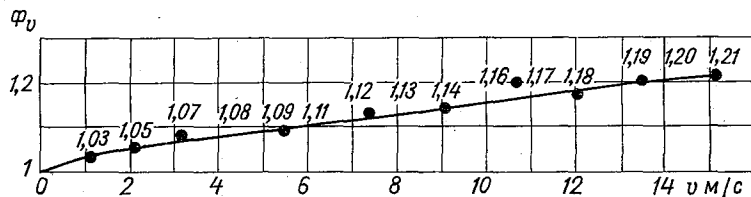
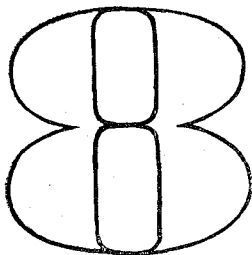


Рис. 62. График зависимости поправочного множителя балансомера от скорости ветра.

Из шести отсчетов разности показаний незатененного и затененного балансомера в спокойном воздухе n_0 вычисляется среднее значение $\bar{n}_0$. Поправочные множители Φ_v находят как отношение n_0/n . Полученные значения Φ_v наносят на график (рис. 62).



ПОВЕРКА РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

8.1. Единицы измерения, технические характеристики и устройство приборов

Радиометрические приборы предназначены для измерения степени загрязненности среды радиоактивными веществами по их излучению. Радиоактивные излучения происходят вследствие распада ядер радиоактивных веществ и состоят из α - и β -частиц и γ -лучей. *Альфа-частицы* представляют собой ядра атома гелия, они обладают сравнительно малой проникающей способностью; *бета-частицы* — поток электронов и *гамма-лучи* — электромагнитные колебания высокой частоты. Проникающая способность β -частиц и γ -лучей может быть очень велика. О количестве радиоактивного вещества судят по его активности, которая характеризуется количеством распадов ядер в единицу времени.

За *единицу радиоактивности* принята внесистемная единица, называемая *Кюри* (Ки), в единицах СИ

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \times 10^{10} \text{ расп/с (распадов в секунду)}.$$

На практике пользуются кратными единицами Ки — милликюри (мКи) и микрокюри (мкКи): $1 \text{ Ки} = 10^3 \text{ мКи} = 10^6 \text{ мкКи}$.

Концентрация радиоактивных веществ в окружающей среде измеряется в Ки/л, Ки/м³ или Ки/м². Для характеристики ионизирующих излучений вводится понятие *доза поглощения или облучения*, под которой понимают количество энергии, поглощенной единицей объема облучаемой среды или создающей в ней заряд определенной величины за все время облучения.

За *единицу дозы облучения* принята внесистемная единица, называемая *рентген* (Р), в единицах СИ

$$1 \text{ Р} = 2,57976 \times 10^{-4} \text{ Кл/кг (кулон на килограмм)},$$

определяемая по ионизирующему действию в воздухе, при которой на 1 см³ сухого воздуха при 0°С и нормальном давлении воздуха образуется пар ионов, обладающих одной электростатической единицей заряда СГС каждого знака. Более мелкими

единицами для дозы облучения являются миллирентген (мР) и микрорентген (мкР): $1\text{ Р} = 10^3\text{ мР} = 10^6\text{ мкР}$.

Доза, отнесенная к единице времени, называется *мощностью поглощенной дозы*, или *уровнем радиации*, и выражается в рентгенах в единицу времени — секунду, минуту, час. В единицах СИ доза мощности определяется в ампер/кг (А/кг):

$$1\text{ Р/с} = 2,57976 \times 10^{-4}\text{ А/кг};$$

$$1\text{ Р/мин} = 4,3 \times 10^{-6}\text{ А/кг};$$

$$1\text{ Р/ч} = 7,17 \times 10^{-8}\text{ А/кг}.$$

Для обнаружения и измерения β - и γ -излучения применяются радиометры типа «Спутник-1», ЛП-5А, «Прогноз» и др.

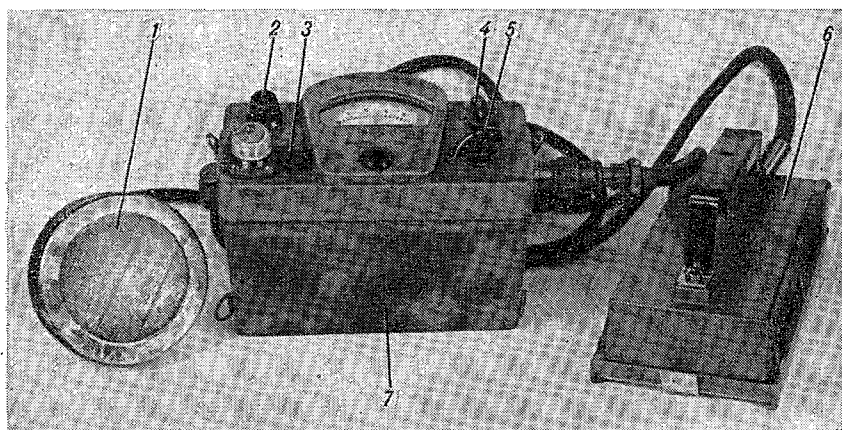


Рис. 63. Радиометр «Прогноз».

Наиболее перспективен для сетевых измерений этих излучений радиометр «Прогноз». Он обеспечивает измерение мощности экспозиционной дозы γ -излучения до 5000 мкР/ч и измерение зараженности поверхностей до 5000 бета-част/(мин · см²). Порог чувствительности прибора не хуже 5 мкР/ч, основная погрешность измерения $\pm 25\%$ конечного значения шкалы. Дополнительная погрешность измерения $\pm 0,7\%$ на 1°С в интервале рабочих температур от -30 до $+50^\circ\text{С}$ и $\pm 15\%$ в условиях повышенной влажности ($95 \pm 3\%$ при $25 \pm 2^\circ\text{С}$).

Радиометр «Прогноз» (рис. 63) состоит из пульта измерения 7, преобразователей 6 со счетчиками СТС-6 для измерения γ -излучения и преобразователя 1 типа СИ8Б, служащего для измерения бета-активности. Принципиальная электрическая схема радиометра показана на рис. 64. Принцип работы радиометра состоит в следующем. Гамма-кванты и бета-частицы, пронизывая объем счетчиков, вызывают газовый разряд и на

сопротивлениях нагрузки $R4, R5, R6$ или $R25, R26$ возникают импульсы напряжения, которые через переходные конденсаторы поступают на транзисторный усилитель — нормализатор $ПП1, ПП2, ПП3$, усиливающий импульс до 5—7 В и нормализующий их по длительности и амплитуде. Нормализованные импульсы с выхода усилителя через дозирующие емкости поддиапазонов

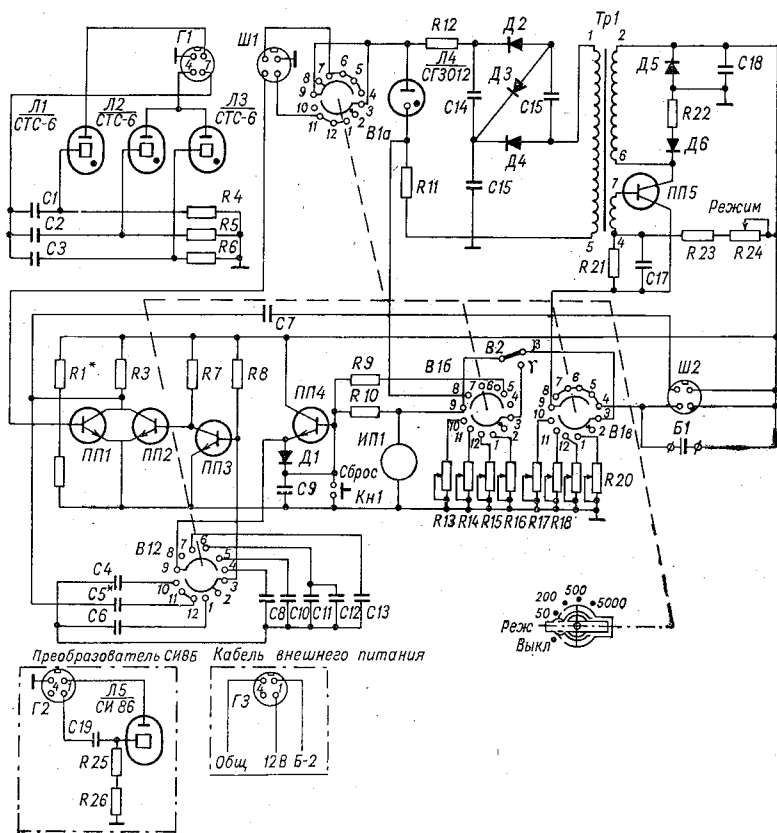


Рис. 64. Электрическая схема радиометра «Прогноз».

$C8, C10, C11, C12, C13$ поступают на схему измерения средней скорости счета импульсов, состоящую из линейаризирующего триода $ПП4$, диода $Д1$, резисторов $R9$ и $R10$, интегрирующего конденсатора $C9$ и электроизмерительного прибора $ИП1$. Измеритель средней скорости преобразует импульсы напряжения в постоянный ток, который измеряется микроамперметром. Преобразование основано на том, что каждый импульс заряжает интегрирующий конденсатор $C9$, который в промежутке между импульсами разряжается через резистор $R9, R10$ и измеритель-

ный прибор *ИП1*. Среднее значение тока, протекающего через измерительный прибор, пропорционально количеству поступающих импульсов в единицу времени, а значит и мощности дозы облучения.

Шкала измерительного прибора проградуирована непосредственно в единицах мощности экспозиционной дозы (мкР/ч) и в единицах потока ионизирующих частиц (бета-част/(мин · см²)).

Питание счетчиков и схемы осуществляется от преобразователя напряжения, собранного на транзисторе *ПП5* и трансформаторе *Тр1*. Напряжение с высоковольтной обмотки трансформатора после выпрямителя и стабилизации на лампе *Л4* подается на счетчики излучений. Диод *Д6*, резистор *R₂₂* и стабилизатор *Д5* в коллекторной цепи транзистора *ПП5* обеспечивают выпрямление и стабилизацию напряжения питания схемы усилителя — нормализатора и измерителя тока.

Переключение диапазонов измерения радиометра осуществляется переключателем *В1а* (см. рис. 63, 5). Ручка *В2(4)* служит для переключения рода измерений (γ- или β-излучения). С помощью ручки «режим» (2) осуществляется регулировка режима питания по метке на шкале прибора при уменьшении емкости батареи питания. Кнопка «сброс» (3) служит для сброса показаний измерительного прибора *ИП1* перед началом измерений и при установке режима питания. Подготовка прибора к измерениям и выполнение измерений производится в соответствии с описанием к прибору и инструкцией по его эксплуатации. При измерениях необходимо соблюдать меры предосторожности, указанные в инструкции и в правилах техники безопасности, установленные действующими «Санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений».

8.2. Указания по поверке

Поверка радиометров производится в соответствии с ГОСТ 2518-67 ежегодно, а также после ремонта или замены радиодеталей.

При внешнем осмотре прибора устанавливается правильность маркировки, комплектность и наличие каких-либо дефектов или нарушений требований технических условий.

Подготовка прибора к поверке должна проводиться в соответствии с описанием к прибору и инструкцией по его эксплуатации. Для поверки должно быть оборудовано рабочее место, укомплектованное необходимыми образцовыми приборами и поверочными установками с контрольными радиоактивными источниками. По согласованию с Госстандартом СССР при градуировке и поверке радиометров могут применяться следующие источники излучения:

для бета-излучения: стронций-90 + иттрий-90 с активностью $10^3 \div 10^6$ бета-част/(мин · см²);

для гамма-излучения: кобальт-60 мощностью до 0,4 мкР/с.

После внешнего осмотра производится проверка работоспособности приборов и определение основной погрешности. *Работоспособность* проверяется при нормальном рабочем режиме питания прибора по контрольным радиоактивным препаратам β - и γ -излучения с активностью, обеспечивающей отклонение стрелки измерительного прибора на всех диапазонах измерения.

Определение *основной погрешности* радиометров должно производиться одним из двух методов: по образцовому источнику или методом замещения.

При проверке по *образцовому источнику* счетчик поверяемого радиометра размещают в поле коллимированного пучка γ -излучения так, чтобы центр луча проходил через центр счетчика и диаметр луча в месте расположения прибора был больше размеров счетчика не менее чем в два раза. Рассчитывают мощность экспозиционной дозы излучения источника на трех различных расстояниях от прибора, соответствующих трем поверяемым точкам шкалы для каждого диапазона. В качестве поверяемых точек рекомендуется брать точки 0,3; 0,6 и 0,9 от номинального значения шкалы. На выбранных точках сравнивают значения мощности дозы, создаваемые образцовым γ -источником с показаниями поверяемого прибора. На каждой точке измерения по прибору проводят не менее трех раз. В начале и в конце измерений проверяют чувствительность прибора по показанию контрольного источника. Показания прибора должны совпадать с расчетными значениями доз излучения от образцового источника в пределах погрешности измерения.

При проверке *методом замещения* сравнивают показания поверяемого и образцового приборов в одной и той же точке поля γ -излучения на каждом диапазоне. Измерения выполняют в указанном выше порядке. Показания поверяемого и образцового приборов должны совпадать в пределах погрешности измерений.

Проверка радиометрических приборов должна проводиться в нормальных условиях (при температуре среды $20 \pm 5^\circ \text{C}$ и относительной влажности не более 80%). Основная погрешность измерения радиометром определяется по формуле

$$\Delta = \sqrt{\Delta_o^2 + \Delta_{сл}^2},$$

где Δ_o — погрешность образцового прибора или образцового источника в процентах, взятая из поверочного свидетельства, $\Delta_{сл}$ — случайная погрешность поверяемого прибора в процентах:

$$\Delta_{сл} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta P_i)^2}{n-1}} \cdot 100,$$

где $\Delta P_i = (P_n - P_o) \frac{1}{P_o}$; n — число измерений; P_n , P_o — соответственно значения мощности экспозиционной дозы, измеренные поверяемым и образцовым приборами (или расчетное значение мощности дозы).

Погрешность прибора не должна превышать: для образцовых приборов II разряда $\pm 7\%$; для рабочих приборов — значений, приведенных в технических условиях. Результаты поверки заносятся в журнал, где должны быть указаны:

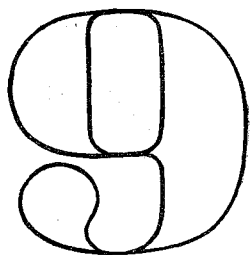
наименование и тип поверяемого прибора, предприятие-изготовитель, предприятие, представившее прибор;

наименование и тип образцового прибора и источника;

условия измерения: давление, температура, расстояние до источника и др.;

результаты измерений и обработки.

На радиометры, удовлетворяющие требованиям ГОСТа, выдается поверочное свидетельство.



ПОВЕРКА АНЕМОМЕТРОВ И АНЕМОКУМБОМЕТРОВ

9.1. Принцип действия и основные метрологические характеристики приборов

Анемометры и анеморумбометры служат для измерения горизонтальной составляющей скорости и направления воздушного потока. Скорость измеряется в метрах в секунду (м/с), а направление ветра определяется по 16 румбам или в угловых градусах. Скорость ветра принято осреднять в 10-минутном интервале времени. Для направления ветра интервал осреднения составляет 1—3 мин. Кроме средней скорости, измеряется мгновенное или текущее значение скорости ветра, осредняемое самим прибором (интервал осреднения 2—5 с), а также максимальное значение мгновенной скорости, которое характеризует порывистость ветра.

В основу работы большинства приборов, измеряющих скорость и направление ветра, положено действие динамического давления, оказываемого воздушным потоком на расположенную в нем твердую поверхность подвижной приемной части прибора. В качестве приемников скорости ветра — *первичных измерительных преобразователей* — применяются чашечные вертушки или винты с лопастями. Для определения направления ветра используются *флюгарки* или *виндрозы*, которые легко ориентируются потоком. Под влиянием давления ветра преобразователи приходят во вращение с установившейся угловой скоростью, пропорциональной скорости ветра, или отклоняются на определенный угол, соответствующий направлению ветра.

Форма и размеры флюгарок подбираются, исходя из заданных значений чувствительности и инерции. Чувствительность флюгарок к изменению направления определяется соотношением между моментом сил динамического давления воздушного потока на оперение флюгарки и силами трения в опорах, возникающими при повороте флюгарки. Чем меньше момент сил трения, тем чувствительнее флюгарка. Чувствительность флюгарки возрастает с увеличением динамического давления и соответственно скорости потока.

При уменьшении скорости воздушного потока наступает предел, когда флюгарка перестает реагировать на изменение направления. Такая скорость называется *порогом чувствительности анеморумбометра по направлению*. Порог чувствительности по направлению связан с заданной погрешностью измерения направления: чем меньше заданная погрешность, тем большим следует считать порог чувствительности по направлению. При измерениях направления флюгаркой могут вноситься динамические искажения, зависящие от величины аэродинамического затухания ее колебаний. При колебаниях направления потока собственный период колебаний флюгарки будет тем меньше, чем меньше момент ее механической инерции и чем больше восстанавливающий аэродинамический момент, зависящий от формы и размеров флюгарки.

При наличии колебаний потока лучшие характеристики имеет виндроза, которая представляет собой два ветровых колеса, насаженных на одну горизонтальную ось (см. рис. 81). Под действием ветра виндроза устанавливается так, чтобы ось, соединяющая колеса, оказалась перпендикулярной вектору скорости ветра.

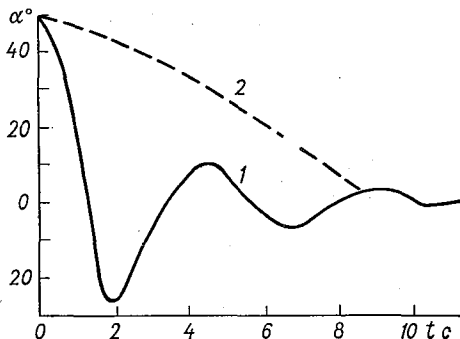


Рис. 65. Затухание колебаний флюгарки (1) и виндрозы (2) в воздушном потоке.

Виндроза отличается от флюгарки большим восстанавливающим моментом и большей чувствительностью. Она характеризуется также большим аэродинамическим сопротивлением и соответственно большей инерцией. На рис. 65 показан характер движения флюгарки и виндрозы в воздушном потоке со скоростью 2 м/с после того, как они были отклонены на некоторый угол. Из рис. 65 видно, что поворот виндрозы вслед за поворотом потока носит апериодический характер.

Виндроза слабо реагирует на кратковременные изменения направления ветра и в то же время имеет достаточно высокую чувствительность даже при малых скоростях потока, что весьма ценно при измерении среднего направления ветра.

Первичные преобразователи скорости ветра выполняются в виде трехшашечной вертушки или многолопастного винта. Давление воздушного потока на вертушку создает момент аэродинамических сил, заставляющий ее вращаться с постоянной угловой скоростью, величина которой в случае ламинарного потока будет зависеть только от скорости ветра. Уравнение движения вертушки с n лопастями, устанавливающее количественную

зависимость между скоростью воздушного потока v и скоростью вращения вертушки $\omega = d\varphi/d\tau$, может быть записано в виде

$$k \frac{d^2\varphi}{d\tau^2} = \sum_{i=1}^n M_i + M_{\text{тр}}, \quad (57)$$

где k — момент механической инерции вертушки относительно оси вращения; $M_{\text{тр}}$ — момент сил, обусловленный механическим трением, возникающим в осях вращения вертушки и в передаточном механизме; $\sum M_i$ — сумма моментов аэродинамических сил, действующих на вертушку; φ — угол поворота.

Расчет градуировочной характеристики анемометра по этому уравнению представляет собой сложную задачу. Для установившегося движения чашечной вертушки без трения это уравнение существенно упрощается, его решение имеет вид

$$\psi = \frac{v}{R\omega} = \frac{v}{u} \simeq 3. \quad (58)$$

Уравнение (58) устанавливает связь между скоростью ветра и линейной скоростью движения вертушки u . Величина ψ называется *коэффициентом анемометра*. Так как $\omega = \frac{2\pi n}{60}$, то число оборотов вертушки в минуту будет равно

$$n_{\text{ч}} = \frac{30v}{\psi \pi R_{\text{ч}}}, \quad (59)$$

где $R_{\text{ч}}$ — радиус вращения чашки вокруг оси анемометра.

Для винтовых преобразователей скорость воздушного потока и число оборотов винта в единицу времени связаны соотношением

$$n_{\text{в}} = \frac{30v}{\pi R_{\text{в}}} \operatorname{tg}(\varphi - \gamma), \quad (60)$$

где φ — угол установки лопастей, γ — угол, учитывающий момент трения, приведенный к оси винта.

Приведенные выражения являются *градуировочными характеристиками преобразователей ветра*. Они могут быть использованы для приближенного расчета параметров анемометра. Для построения шкалы анемометра эти выражения оказываются недостаточно точными, в связи с чем вращающиеся анемометры обычно градуируются путем сравнения с образцовыми анемометрами.

При уменьшении скорости потока влияние сил трения возрастает и вертушка или винт перестает вращаться. Эту скорость называют *порогом чувствительности анемометра*. При значительном трении существенно нарушается пропорциональность между скоростью потока и скоростью вращения вертушки, в результате чего шкала прибора становится существенно нелиней-

ной. Кроме того, силы трения непостоянны во времени, что обуславливает непостоянство градуировки анемометров. Поэтому основным требованием, предъявляемым к вращающимся анемометрам, является пренебрежимо малый момент сил трения при всех скоростях, подлежащих измерению. Второй важной характеристикой анемометров является инерция вертушки, благодаря которой могут вноситься динамические искажения в результат измерения.

При внесении анемометра в поток или при изменении скорости в естественном турбулентном потоке вертушка воспринимает новую скорость от v_0 до v с некоторым запозданием, при этом угловая скорость ее меняется по закону

$$\omega - \Omega = (\omega_0 - \Omega) e^{-\frac{(v - v_0)}{L} \tau}, \quad (61)$$

где Ω — установившаяся угловая скорость вертушки, соответствующая скорости потока v ; ω — угловая скорость вертушки в момент времени τ ; ω_0 — то же в начальный момент времени; L — так называемый путь синхронизации вертушки, характеризующий ее инерцию.

При трогании вертушки с места $\tau = 0$, $v_0 = 0$, $\omega_0 = 0$ и

$$\omega = \Omega \left(1 - e^{-\frac{v\tau}{L}} \right).$$

Если положить $L = v\tau$, то

$$\omega = \Omega (1 - e^{-1}) \quad \text{или} \quad \frac{\Omega}{\Omega - \omega} = e,$$

т. е. путь синхронизации численно равен пути, который должен пройти воздушный поток, чтобы расхождение между начальной и установившейся скоростью вертушки уменьшилось в e раз.

Величина $\tau = \frac{L}{v}$ называется *временем синхронизации*, или *коэффициентом инерции вертушки*. Вертушка полностью реагирует лишь на такие пульсации скорости потока, периоды которых значительно больше времени синхронизации τ . Пульсации с периодом, меньшим времени синхронизации, вертушка практически не воспринимает. По экспериментальным данным средняя скорость турбулентного потока, измеренная вертушкой, всегда больше действительной средней скорости. Разность между измеренной и действительной средней скоростью тем больше, чем больше отношение времени синхронизации вертушки к среднему периоду пульсации ветрового поля. При градуировке и поверке анемометров должны быть созданы условия, исключающие влияние инерционных свойств вертушек и турбулентности среды на результаты измерений.

Существенным источником ошибок в измерении параметров ветра анеморумбометрами может быть отклонение геометрических размеров ветроприемника от номинальных значений вследствие неточности изготовления. Приводим пример расчета погрешности измерения скорости четырехлопастным винтом из-за разброса угла установки лопастей φ при изготовлении.

Пример. $\gamma=5^\circ$, $\Delta\varphi=1.4^\circ$. Отклонения $\Delta\varphi$ измерялись на расстоянии $R=200$ мм от оси вращения (на конце лопасти), где $\varphi=50^\circ$.

Решение. При номинальном значении φ число оборотов винта определяется выражением (60).

С учетом $\Delta\varphi$ число оборотов винта будет равно

$$n = \frac{30v}{\pi R} \operatorname{tg} [(\varphi \pm \Delta\varphi) - \gamma],$$

тогда погрешность измерения скорости составит

$$\Delta n = \frac{n' - n}{n} \cdot 100 = \frac{\operatorname{tg} [(\varphi \pm \Delta\varphi) - \gamma] - \operatorname{tg} (\varphi - \gamma)}{\operatorname{tg} (\varphi - \gamma)} \cdot 100.$$

После подстановки числовых значений получим

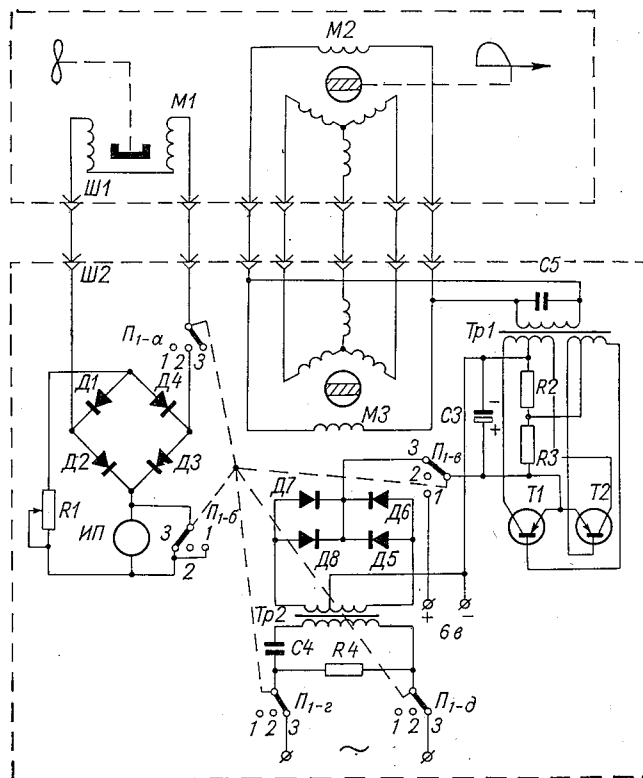
$$\Delta n = \frac{\operatorname{tg} [(50 - 1.4) - 5] - \operatorname{tg} (50 - 5)}{\operatorname{tg} (50 - 5)} \cdot 100 = \frac{1.0501 - 1}{1} \cdot 100 \approx 5\%.$$

т. е. при таком разбросе угла установки лопастей винта получим погрешность в измерении скорости $\Delta v \approx +5\%$, что соизмеримо с основной погрешностью и, следовательно, должно учитываться путем индивидуальной градуировки приборов.

Стабильность геометрических размеров ветроприемников обеспечивает постоянство их аэродинамических характеристик и необходимую точность измерения параметров ветра. Она зависит от выбора материала конструкции и технологии изготовления ветроприемника. При хорошо налаженном производстве могут выпускаться достаточно идентичные и стабильные ветроприемники, не требующие индивидуальной градуировки. Проверка и регулировка приборов с такими приемниками в воздушном потоке может производиться только при выпуске и после ремонта, а в процессе эксплуатации контролируется сохранность их геометрической формы и размеров. Точность измерений параметров ветра зависит и от свойств и конструкции вторичных преобразователей, применяемых для преобразования угла поворота ветроприемников в электрический сигнал, идущий к показывающему измерительному прибору или регистратору. Рассмотрим принцип их действия и основные характеристики.

В ручных анемометрах измерение числа оборотов вертушки осуществляется с помощью механического счетчика (МС-13) или индукционного преобразователя (АРИ-49).

Направление ветра измеряется флюгаркой, сопряженной со следящей системой. В современных дистанционных станциях ис-



пользуются следящая система на бесконтактных сельсинах и потенциометрическая следящая система.

На рис. 66 показана схема анеморумбометра М-47 (М-49), в которой для измерения мгновенной скорости ветра используется тахогенератор переменного тока $M1$, а для измерения направления ветра — следящая система на сельсинах $M2$ и $M3$. В следящей системе ротор сельсина $M2$ жестко связан с флюгаркой, а ротор сельсина $M3$ — с указателем на пульте измерения. При включении источника питания (батареи или силового трансформатора $Tr2$ с выпрямителем $D5 \div D8$) на статорные

обмотки сельсинов подается переменное напряжение с частотой 400 Гц, которое вырабатывается полупроводниковым преобразователем $T1T2$, в результате чего их роторы приходят в согласование и указатель отмечает положение флюгарки. При изменении направления ветра указатель сельсина $M2$ будет следовать за положением флюгарки. Тахогенератор состоит из ротора — многополюсного постоянного магнита, связанного через редуктор с винтом, и статора, представляющего собой несколько последовательно соединенных катушек. При вращении винта в катушках индуцируется переменное напряжение, пропорциональное числу оборотов. Это напряжение выпрямляется диодами $D1 \div D4$ и измеряется показывающим прибором $ИП$. Балластное сопротивление $R1$ используется при градуировке шкалы прибора для установки пределов измерения. Выпрямленное значение тока, протекающее через измерительный прибор, за период измерения магнитного потока в катушках от 0 до Φ при числе витков W будет

$$I = 10^{-9} \cdot \frac{4}{3} \frac{1}{R} p^2 n_b W \Phi,$$

где p — число катушек, R — общее сопротивление цепи.

После подстановки сюда выражения (60) для n_b можно найти скорость ветра

$$v = \frac{\pi r_b I R}{4 \cdot 10^{-8} p^2 \omega \Phi \operatorname{tg}(\varphi - \gamma)}. \quad (62)$$

Контактная система измерения скорости используется в анемометрах М-25, М-92 и судовой станции ГМ-6. В анемометре М-25 вертушка крепится на оси, имеющей в нижней части червячное зацепление с кулачком, который замыкает и размыкает контактную группу. Скорость ветра определяется по числу контактов в единицу времени, которые подсчитываются с помощью электрического счетчика или отмечаются регистратором. В контактном анемометре М-92 (рис. 67) ось вертушки связана с редуктором, на выходной оси которого укреплен магнит, управляющий герметичным контактом. К контактам присоединяется схема формирования кратковременного импульса тока на транзисторе T и электросчетчик $ЭМ$. Запись показаний может производиться на многоканальном электромагнитном регистраторе. Анемометры М-92 имеют электрообогрев, который включается зимой во избежание обледенения приемника.

Приемник скорости и направления ветра судовой станции ГМ-6 представляет собой также контактный анемометр и дистанционный румбометр с потенциометрической передачей на постоянном токе [18].

В качестве указателя скорости применены электрический счетчик импульсов, который автоматически включается на 100 с

для измерения средней скорости за это время. Импульсы напряжения на счетчике преобразуются им в угловое перемещение шкалы, что удобно для отсчета.

Потенциометрическая следящая система (рис. 68) содержит круговой потенциометр с тремя отводами, к которым присоединяется трехкатушечный логометр — указатель направления. Потенциометр имеет два диаметрально расположенных и жестко связанных с осью флюгарки следящих контакта, к которым подводится постоянное напряжение. При повороте флюгарки изменяется величина и знак напряжения на секциях потенциометра и происходит соответствующее перераспределение токов в катушках логометра. Протекающие в катушках токи вызовут вращающий момент, под воздействием которого подвижная система логометра устанавливается в направлении результирующего магнитного потока, т. е. будет следовать за флюгаркой.

Следящая система на бесконтактных сельсинах применяется в приборах М-63, М-64, М-47 для измерения средней скорости

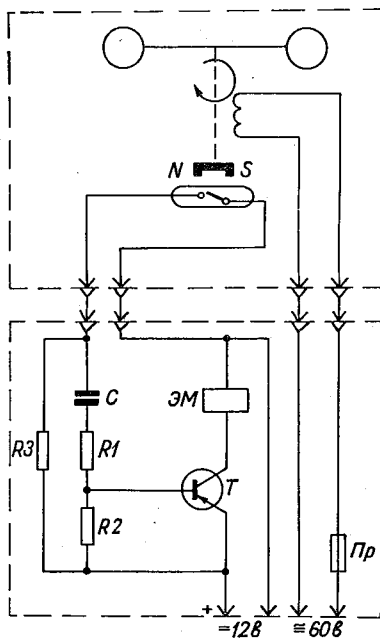


Рис. 67. Электрическая схема анемометра М-92.

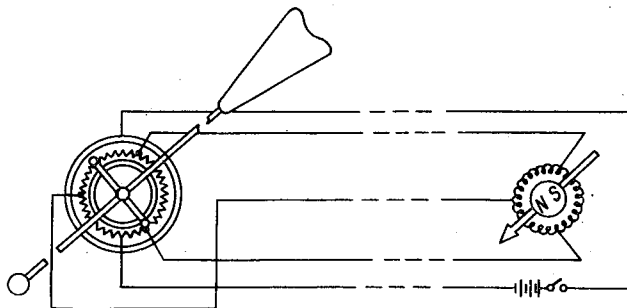


Рис. 68. Схема румбометра с потенциометрической дистанционной передачей (ГМ-6).

и направления ветра. Она включает в себя два одинаковых сельсина, обмотки возбуждения, вторичные обмотки которых

соединены между собой линией связи (см. рис. 66). Ось ротора сельсина *М2* связана с ветроприемником, а ось ротора сельсина *М3* — со стрелкой указателя. На обмотки возбуждения сельсинов подается напряжение питания переменного тока частотой 400 Гц. Переменный магнитный поток, возбуждаемый напряжением питания, индуцирует во вторичной цепи сельсинов ЭДС, величина которой определяется положением ротора. При одинаковом положении роторов сельсины согласуются между собой. Если же под воздействием ветроприемника между роторами сельсинов возникает угол рассогласования, то в обмотках статора появятся уравнивающие токи, которые создадут синхронизирующий момент, направленный на уничтожение рассогласования. Так как ротор сельсина будет удерживаться ветроприемником, то под воздействием синхронизирующего момента повернется ротор сельсина-указателя. При любом повороте ротора преобразователя ротор сельсина-указателя будет синхронно поворачиваться на такой же угол. Связь флюгарки анеморумбометра с сельсином следящей системы осуществляется с помощью магнитной муфты. Муфта состоит из двух постоянных магнитов: один из них установлен в поворотной стойке флюгарки, другой закреплен на оси ротора сельсина.

В приборах *М-63* и *М-64* передача вращения от винта анемометра к сельсину осуществляется через механический редуктор. Передаточное отношение редуктора рассчитано так, что при предельной скорости ветра $v \leq 40$ м/с ротор сельсина повернется на угол не более 170° . Значение средней скорости находится по суммарному углу поворота ротора за 10 мин. Набор и сброс средней скорости осуществляется автоматически с помощью электромагнитной муфты, отключающей ось ротора сельсина после окончания каждой 10-й минуты, и спиральной пружины, возвращающей ротор в первоначальное положение. Управление механизмом набора средней скорости осуществляется автоматически с помощью программного устройства и часового механизма. Следящие системы на бесконтактных сельсинах более надежны в эксплуатации. Однако этим системам свойственны погрешности из-за наличия некоторого остаточного напряжения при угле рассогласования, равном нулю. Остаточные напряжения обусловлены асимметрией магнитной цепи сельсинов, наличием коротко замкнутых витков в обмотках и т. п. Остаточное напряжение вызывает появление в дистанционной передаче дополнительной систематической погрешности, которая должна учитываться при измерениях.

Метод преобразования скорости и направления ветра с помощью электронных импульсаторов применен в анеморумбометре *М-63М* и в автоматических метеорологических станциях (УАТГМС). Импульсатор (рис. 69) представляет собой транзисторный блокинг-генератор, работающий со срывом колебаний. Управление режимом колебаний генератора осуществля-

ется с помощью подвижных элементов импульсного трансформатора — ферритов, которые устанавливаются на оси вращения винта и флюгарки анеморумбометра. Когда подвижный элемент с ферритом проходит над сердечником трансформатора, резко изменяется индуктивность обмотки и в генераторе возбуждается электрический импульс; в отсутствие феррита автоколебания генератора срываются. Принципиальная кинематическая

схема преобразования скорости и направления ветра с помощью импульсаторов приведена на рис. 70, 71. Здесь используются три импульсатора: два измерительных (основной 9 и сдвинутый на 180° 7) и опорный 4 (рис. 70).

Трансформаторы импульсаторов закреплены на неподвижной вертикальной оси ветроприемника 8. Подвижный элемент опорного импульсатора 3 установлен на оси винта 1, а подвижный элемент измерительного импульсатора 10 — на конической шестерне 5, которая приводится в движение шестерней 2 с передаточным отношением 1:1.

Если флюгарка 6 неподвижна, то при вращении винта подвижные элементы импульсаторов, проходя над неподвижными, будут возбуждать три одинаковых серии импульсов. При повороте флюгарки 6 на угол φ шестерня 5 и закрепленный на ней подвижный элемент 10 также повернутся на угол φ , вследствие чего основная серия импульсов будет сдвинута относительно опорной также на угол φ . Все три серии импульсов имеют одинаковую частоту, которая пропорциональна числу оборотов винта. Благодаря этому любая из них может использоваться для измерения скорости ветра. Направление ветра определяется углом сдвига фаз между основной (или сдвинутой) и опорной сериями импульсов. Полученные серии импульсов с выходов импульсаторов подаются на измерительный пульт анеморумбометра, содержащий соответствующие устройства для измерения параметров ветра. Принцип измерения параметров ветра поясняется блок-схемами, приведенными на рис. 71.

Рис. 69. Схема импульсатора.

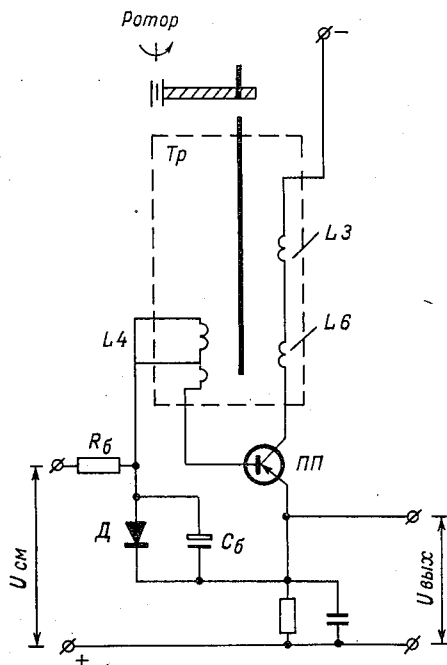


Рис. 69. Схема импульсатора.

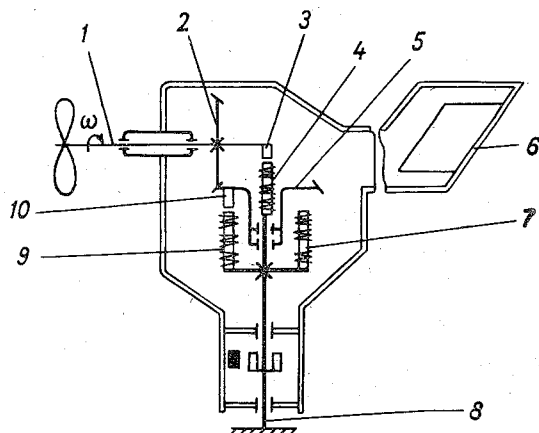


Рис. 70. Кинематическая схема преобразователя М-63М.

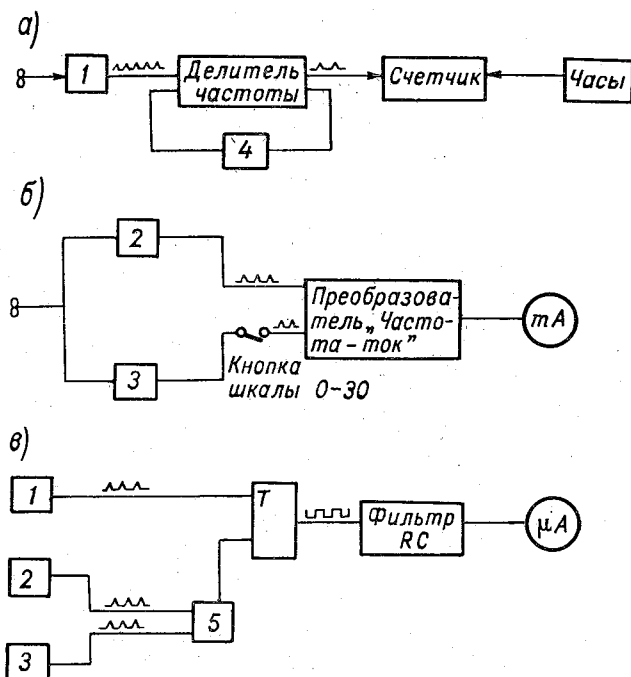


Рис. 71. Блок-схема преобразователя М-63М.

а, б, в — преобразователи средней, мгновенной скорости ветра и направления; 1, 2, 3 — импульсаторы опорной, основной и сдвинутой серий; 4 — обратная связь для регулировки коэффициента пересчета, 5 — переключатель шкалы 0—360 и 180—0—180°.

Средняя скорость ветра находится по числу импульсов опорной серии, сосчитанных электромагнитным счетчиком МЭС-5 за 10 мин. До подачи импульсов на счетчик осуществляется деление частоты. Коэффициент делителя частоты $n=60/k$ устанавливается в зависимости от характеристики винта в пределах $n=40-64$; здесь $k=v/F$ — коэффициент винта; v — скорость ветра, F — частота.

Мгновенная скорость определяется непрерывно с помощью основной и сдвинутой серии импульсов по значению тока, измеренного микроамперметром после преобразования частоты в ток в диапазоне 1,5—60 м/с. Импульсатор сдвинутой серии включается в измерительную цепь при измерении скорости ветра до 30 м/с. В этом случае скорость ветра определяется суммой импульсов основной и сдвинутой серии, чем достигается увеличение чувствительности по шкале.

Максимальная скорость ветра определяется также по микроамперметру, но с помощью механического устройства, запищающего наибольшее значение тока за определенный промежуток времени.

Направление ветра определяется по току, измеренному микроамперметром, среднее значение которого пропорционально фазовому сдвигу между импульсами опорной и основной (или сдвинутой) серий.

Погрешность измерения скорости ветра представляет собой сумму погрешностей, обусловленных наличием сил трения в механизме, или погрешностей нуля, погрешностей преобразования скорости в электрическую величину и погрешности из-за неточности изготовления.

Погрешность нуля определяется величиной скорости воздушного потока v_0 , при которой момент аэродинамических сил будет равен суммарному моменту трения и нагрузки преобразователя. В момент трогания винта его скорость равна нулю и $\varphi=\gamma$. При этих условиях аэродинамическая сила, действующая на винт, будет

$$P = c \frac{\rho}{2} m S v^2,$$

где c — аэродинамический коэффициент, ρ — плотность воздуха, S — площадь лопасти винта, m — число лопастей.

Вращающий момент, развиваемый этой силой, равен суммарному моменту трения и нагрузки M_T на оси винта, т. е.

$$M_T = c \frac{\rho}{2} m S R_B v_0^2.$$

Отсюда погрешность нуля равна

$$\Delta_0 = v_0 = \sqrt{\frac{2M_T}{c\rho SR_B}} \quad (63)$$

Для винтовых и чашечных ветроприемников различных конструкций эта погрешность лежит в пределах $v_0 = (0,3 \div 1)$ м/с.

Погрешность преобразования скорости в электромеханическую величину и погрешность за счет неточности изготовления ветроприемника может быть найдена путем дифференцирования выражения (62). После дифференцирования для винтового приемника получим

$$\Delta_{\pi} = \varepsilon \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial I} \Delta I\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial R} \Delta R\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial \Phi} \Delta \Phi\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial \varphi} \Delta \varphi\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial \gamma} \Delta \gamma\right)^2}, \quad (64)$$

где

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\pi r_B}{4 \cdot 10^{-8} p^2 W}}. \quad (65)$$

Первые три слагаемых этого выражения определяют погрешности преобразования скорости в электрическую величину. Они зависят от величин I , R и Φ электроцепи. Остальные характеризуют влияние аэродинамических свойств ветроприемника, т. е. величин φ и γ . Экспериментальные исследования показывают, что у различных ветроприемников предельное значение погрешности Δ_{π} не превышает 5% измеряемой величины v . Поэтому суммарная погрешность анемометра обычно приводится в виде

$$\Delta = \pm (v_0 + 0,05v) \text{ м/с}. \quad (66)$$

Необходимо отметить, что при измерениях в естественных условиях возникает дополнительная (динамическая) погрешность, которая характеризует точность измерения средней скорости пульсирующего потока. Установлено, что при порывистом ветре всякое увеличение скорости воспринимается винтовыми и чашечными приемниками быстрее, чем ее уменьшение. Поэтому вертушки и винты дают несколько завышенные показания средней скорости ветра, причем винты завышают ее меньше. Динамическая погрешность должна учитываться методикой измерений. Поскольку показания различных анемометров в пульсирующем потоке несравнимы между собой, то градуировка анемометров должна проводиться только в аэродинамических трубах, в которых пульсации потока отсутствуют.

9.2. Поверочная схема

Передача размера единицы измерения скорости ветра осуществляется по схеме: эталонный анемометр — образцовые средства измерения I разряда — образцовые средства измерения II разряда — рабочие измерительные приборы (рис. 72).

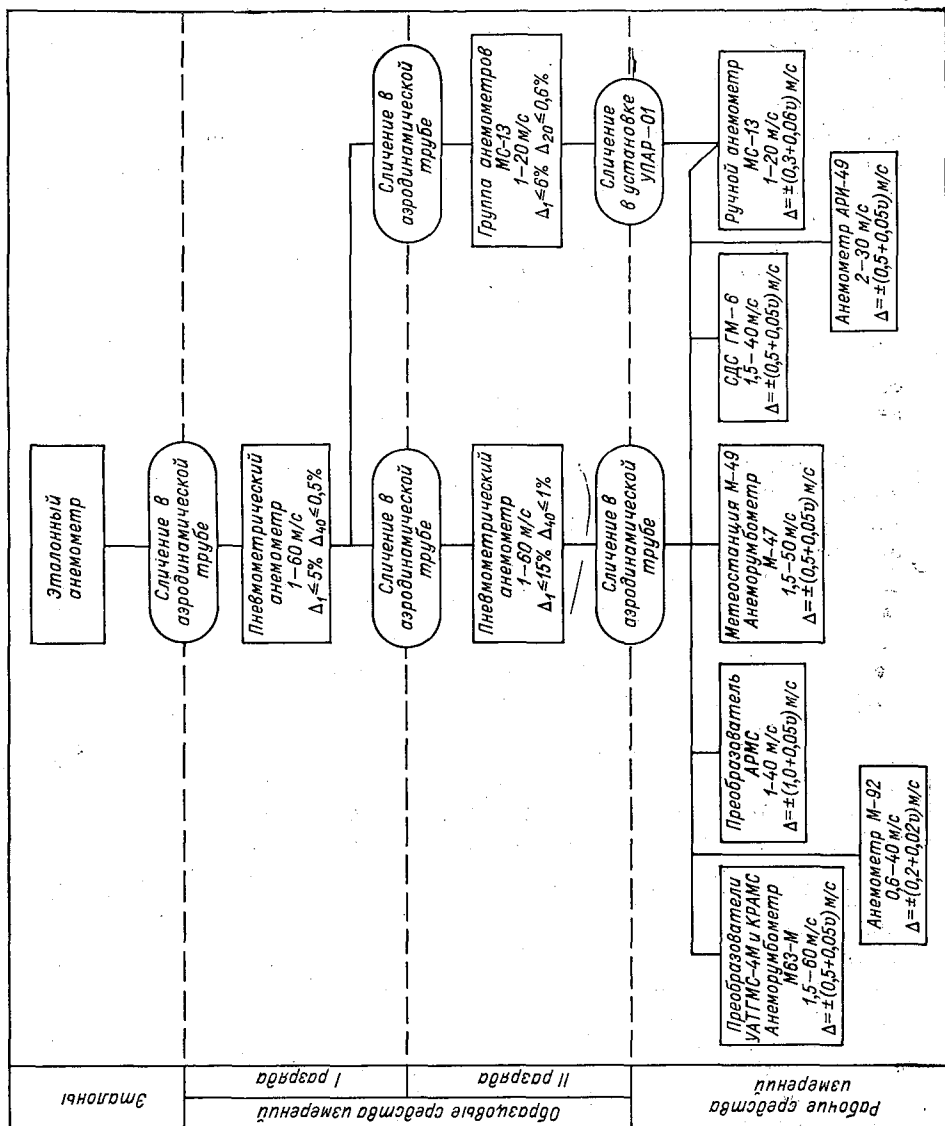


Рис. 72. Поверочная схема для средств измерения скорости ветра.

Эталонный анемометр к настоящему времени еще не утвержден. Он может состоять из нескольких анемометров различного принципа действия, обеспечивающих воспроизведение и хранение единицы измерения на соответствующих интервалах всего диапазона скоростей (0,5—60 м/с). Например, при градуировке анемометров в диапазоне от 0,5 до 5 м/с применяют лотки или ротационные анемометры, в которых скорость потока рассчитывается по перемещению вертушки в единицу времени в неподвижном воздухе. В диапазоне 0,5—10 м/с успешно используются тепловые анемометры [9], в диапазоне 5—60 м/с — пневмометрические.

В качестве эталона могут использоваться также средства, основанные на применении абсолютных методов измерения высокой точности, например акустические или ионизационные анемометры [35]. Исходным образцовым средством измерения скорости ветра в Гидрометслужбе СССР служит образцовый пневмометрический анемометр I разряда. Образцовый анемометр I разряда состоит из образцовой пневмометрической трубки и микроманометра ММ-250. Его сличение с эталонным анемометром должно производиться в аэродинамической трубе, создающей воздушный поток со скоростью 0,5—60 м/с. При сличениях определяется коэффициент пневмометрической трубки, устанавливающий связь между показаниями образцового анемометра и действительной скоростью потока. Предел основной погрешности определения коэффициента трубки (погрешность поверки анемометра) по данным экспериментальных исследований при скоростях 1 и 40 м/с соответственно равен $\Delta_1 \leq 5\%$ и $\Delta_{40} \leq 0,5\%$.

Образцовая пневмометрическая трубка I разряда хранится в отделе метрологии Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова как исходное средство поверки.

В качестве образцовых средств измерений II разряда применяются микроманометры ММН, соединенные с отверстием в коллекторе аэродинамической трубы, выполняющем роль пневмометрической насадки. Отверстия в коллекторе градуируются с помощью образцовой пневмометрической трубки I разряда. При градуировке определяется коэффициент отверстия при различных скоростях потока.

Погрешность поверки при скоростях 1 и 40 м/с не превышает соответственно 15 и 1%.

Образцовые средства II разряда применяются на заводах-изготовителях и в поверочных лабораториях, оснащенных аэродинамическими трубами.

Для поверки ручных анемометров типа МС-13 применяется также более простая по конструкции и удобная в эксплуатации установка УПАР-01. В воздушном потоке установки, создаваемом многолопастным вентилятором, размещается только приемная часть анемометров, что позволяет уменьшить габариты

установки и ее мощность. Скорость потока определяется по числу оборотов вентилятора из графика градуировки. Градуировка производится с помощью нескольких анемометров такого же типа, поверенных в аэродинамической трубе по образцовому анемометру I разряда. Результаты отдельных градуировок осредняются, что повышает точность поверки.

9.3. Основные средства поверки и градуировки

Метрологические характеристики ветроизмерительных приборов достаточно надежно определяются только путем сличения их с образцовыми средствами измерений в условиях ламинарного потока. При измерениях в турбулентной среде возникают динамические погрешности, не поддающиеся учету.

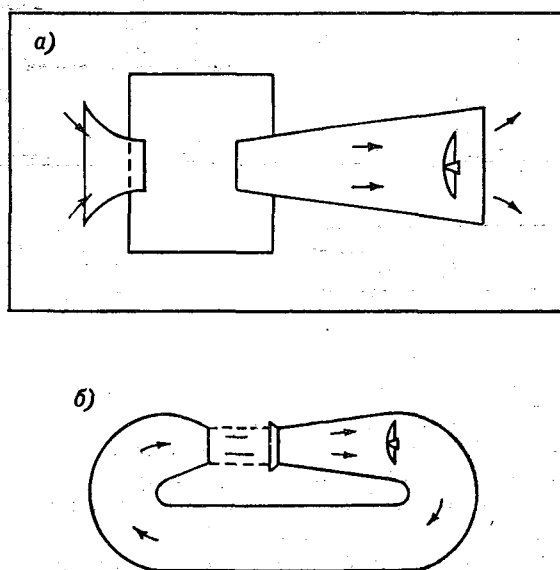


Рис. 73. Типы аэродинамических труб.

Поэтому градуировка и поверка анеморумбометров должна производиться в аэродинамических трубах, обеспечивающих создание равномерного потока в широком диапазоне скоростей. При поверке устанавливается зависимость показаний измерительных средств от скорости воздушного потока. Для поверки анеморумбометров применяются аэродинамические трубы двух типов: прямого действия и замкнутые (рис. 73 а и б). Трубы замкнутые используются в заводских условиях при

выпуске приборов. В качестве типового оборудования поверочных лабораторий может служить малогабаритная аэродинамическая труба прямого действия с открытой рабочей частью (рис. 74). Она состоит из входного коллектора 10, форкамеры 7, сопла 4, приемного диффузора 2 с отражательным экраном 1 и опорной рамы 12. Диаметр и длина рабочей части трубы выбраны, исходя из максимальных габаритов поверяемых приборов (М-63) и составляют соответственно 600 и 900 мм. Длина трубы составляет 4,5 м, ширина 1,2 м и высота 1,6 м.

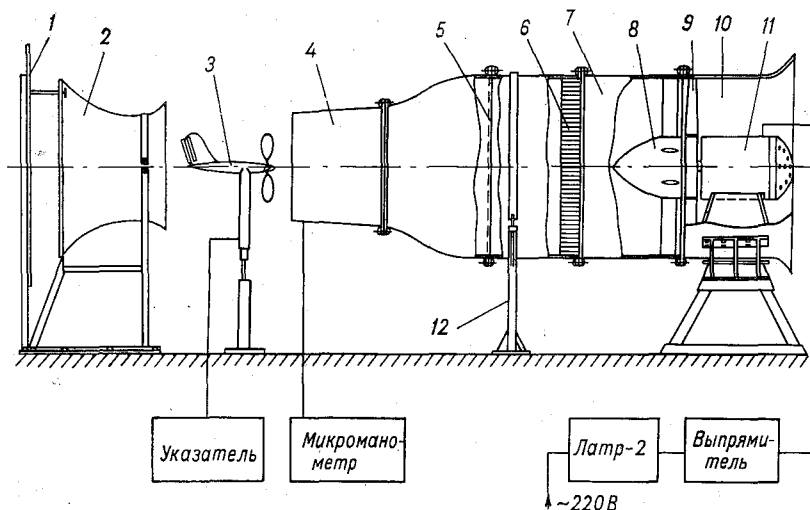


Рис. 74. Аэродинамическая труба.

Воздушный поток в трубе создается четырехлопастным вентилятором 9, который приводится во вращение электродвигателем постоянного тока 11. Вентилятор засасывает воздух через коллектор и нагнетает его в рабочую часть, в которой на специальной подставке устанавливаются поверяемые приборы 3. Сопло трубы осуществляет необходимое поджатие потока и формирование поля скоростей в рабочей части. Пройдя через рабочую часть, воздух захватывается приемным диффузором и с помощью отражательного экрана выбрасывается в помещение, а затем возвращается к коллектору. Для создания в рабочей части трубы достаточно равномерного потока применены специальные выравнивающие устройства: обтекатель 8, спрямляющая решетка 6 с продолговатыми ячейками и сетка 5, которые устраняют закрутку потока и уменьшают его турбулентность и скос. Конструктивно аэродинамическая труба выполнена в виде отдельных секций, соединяющихся между собой фланцами. Для повышения эксплуатационной надежности, прочно-

сти и уменьшения общего веса секций трубы и лопасти вентилятора выполняются из стеклопластика.

При работе в трубе задаются различные значения скорости потока от 0,5 до 20 м/с. Верхний предел скорости может быть увеличен путем установки двигателя, обеспечивающего большее число оборотов вентилятора. Плавное задание скорости достигается с помощью автотрансформатора, включенного в цепь выпрямителя питающего устройства. Потребляемая двигателем мощность не превышает 4 кВт.

Измерение скорости воздушного потока в рабочей части трубы осуществляется манометрическим способом. С этой целью используется пневмометрическая трубка, или отградуированное отверстие в коллекторе трубы, которые соединяются с микроманометром (рис. 75). Пневмометрическая трубка состоит из двух тонких трубок разного диаметра, вставленных одна в другую. Внутренняя трубка имеет открытый конец в точке 1, внешняя — кольцевые щели или отверстия на цилиндрической плоскости 2. Каждая из трубок имеет штуцеры, через которые они при помощи резиновых шлангов присоединяются к микроманометру. Если такую трубку установить навстречу потоку, то внутренняя трубка будет воспринимать полное давление потока, равное сумме статического и динамического давлений, а наружная — статическое давление. Разность давлений, действующих на микроманометр, будет равна

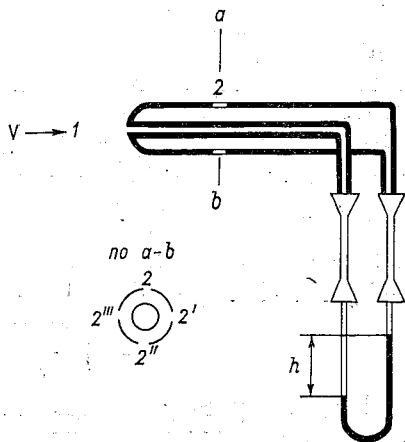


Рис. 75. Пневмометрическая трубка.

$$\Delta P = P - P_c = P_d = \rho \frac{v^2}{2},$$

где v — скорость потока, ρ — плотность воздуха, откуда

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}.$$

В действительности из-за несовпадения линий тока с контурами трубки это уравнение является приближенным и в него необходимо ввести коэффициент градуировки трубки c , который определяется экспериментально путем сличения с эталонным анемометром. Тогда

$$v = c \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}. \quad (67)$$

Микроманометр, измеряющий перепад давлений ΔP , представляет собой два сообщающихся сосуда, наполненных этиловым спиртом. Один из сосудов выполняется в виде широкой металлической чашки, второй — в виде узкой стеклянной трубки, располагаемой под некоторым углом и снабженной шкалой для отсчета положения столбика жидкости.

При наличии разности давлений ΔP (при $P_2 - P_1 > 0$) жидкость в измерительной трубке повысится на высоту h , а в чашке опустится на высоту H . Следовательно, измеряемое давление ΔP будет уравновешено давлением столба жидкости $H + h$. Но, поскольку площадь чашки выбирается во много раз больше площади сечения измерительной трубки, величиной H можно пренебречь и разность давлений ΔP определять просто разностью отсчетов $(n - n_0)$, соответствующей высоте столба жидкости, равной h . Возникающая при этом систематическая ошибка учитывается введением в формулу микроманометра коэффициента, определяемого при поверке его по образцовому прибору. Таким образом, измеренная разность давлений

$$\Delta P \simeq k(n - n_0) \gamma \sin \alpha,$$

где γ — плотность жидкости, α — угол наклона трубки. Подставив в формулу (67) найденное значение ΔP , получим

$$v = c \sqrt{\frac{1}{\rho} 2(n - n_0) k \gamma \sin \alpha}. \quad (68)$$

По формуле (68) составляются таблицы, которыми пользуются при вычислении скорости потока по отсчетам микроманометра при нормальных условиях ($t = 15^\circ \text{C}$, $P = 760$ мм рт. ст.). Так как плотность воздуха зависит от температуры и атмосферного давления, а удельный вес спирта — от температуры, для точного определения скорости воздушного потока эти величины измеряются по вспомогательным приборам — барометру и термометру. Поправочный коэффициент определяется из табл. 17 приложения в [27], составленной по формуле

$$R = \sqrt{\frac{760(273 + t)}{B(273 + 15)[1 + \beta(t - 15)]}}, \quad (69)$$

где t , B — температура воздуха и давление в момент поверки, β — коэффициент объемного расширения этилового спирта.

При использовании вместо трубки отградуированного отверстия в коллекторе последнее через резиновую трубку присоединяют к трубке микроманометра, а чашку сообщают с атмосферным давлением. Для определения скорости пользуются теми же формулами, только вместо коэффициента c подставляется коэффициент отверстия ξ . Коэффициент отверстия определяется с помощью образцовой пневмометрической трубки, установленной в центре рабочего поля трубы. При этом снимается зави-

симость между скоростью, измеренной пневмометрической трубкой, и скоростью, полученной с помощью отверстия в нескольких точках. Коэффициент отверстия вычисляется из соотношения

$$\xi = \frac{v_0}{v_1}, \quad (70)$$

где v_0 — скорость, определенная по показаниям микроанометра, соединенного с пневмометрической трубкой; v_1 — скорость, определенная по показаниям микроанометра, соединенного с отверстием.

Из полученных коэффициентов вычисляется средний, который и записывается в паспорт трубы.

Точность измерения пневмометрического анемометра и диапазон измеряемых им скоростей зависит от угла наклона трубки микроанометра, а также точности отсчета по шкале. Нижний предел измеряемых скоростей будет тем меньше, чем меньше угол наклона трубки, т. е. чем чувствительнее микроанометр. Однако с уменьшением угла наклона трубки увеличиваются погрешности из-за влияния капиллярных сил на положение мениска жидкости, а также уменьшается верхний диапазон измерения скорости. При любом наклоне отсчетной трубки микроанометра чувствительность пневмометрического анемометра возрастает при увеличении скорости ветра и падает при ее уменьшении. Практически погрешность измерения скорости потока пневматическим анемометром в трубе не превышает 1% при скорости от 2 м/с и более и доходит до 5% при скорости 0,5 м/с [9].

Чтобы получить высокую точность поверки ветроизмерительных приборов в аэродинамической трубе, необходимо обеспечить надлежащее качество потока в ее рабочей части, оптимальные размеры трубы и соответствующие удобства при ее эксплуатации. Поток в рабочей части должен быть стационарным с однородным по величине и направлению полем скоростей. Равномерность поля скоростей в рабочем сечении (в процентах) характеризуется величиной

$$\Delta = \left(\frac{v_r}{v_c} - 1 \right) \cdot 100, \quad (71)$$

где v_r — скорость потока в данной точке поля, v_c — скорость в центре трубы.

В описанной выше трубе, как показывают исследования [39, 40], указанная величина неравномерности поля лежит в пределах $\pm (1 \div 3) \%$. По абсолютной величине колебания скорости не должны превышать 0,1—0,2 м/с. По направлению воздушный поток должен быть параллелен оси трубы. Угол скоса не должен превышать 1°. Размеры рабочей части и габариты трубы определяются габаритами поверяемых приборов

и предельными значениями задаваемых скоростей потока. Проверка большинства ветроизмерительных приборов может проводиться в ограниченном диапазоне скоростей (до 20 м/с), при этом отпадает необходимость в громоздких поверочных трубах. Однако размеры рабочей части трубы должны соответствовать размерам ветроприемника. Ограниченность размеров потока в рабочей части трубы может привести к изменению скорости потока в области расположения ветроприемника вследствие эффекта загромождения потока испытываемой моделью. Эффект загромождения можно не учитывать, когда размеры ветроприемника весьма малы по сравнению с поперечным сечением рабочей части трубы (если проекция площади ветроприемника составляет не более 10% площади сечения трубы). В противном случае необходимо вносить поправку в результат измерения. Величина поправки на ограниченность потока определяется из соотношения

$$v_{\text{ист}} = v_{\text{изм}} (1 + \epsilon), \quad (72)$$

где $v_{\text{ист}}$ — истинная скорость потока, набегающего на ветроприемник; $v_{\text{изм}}$ — скорость, измеренная контрольным прибором на месте расположения вертушки; ϵ — коэффициент загромождения.

Коэффициент загромождения ϵ для тела вращения, расположенного вдоль оси трубы, может быть вычислен по формуле

$$\epsilon = \tau \lambda \left(\frac{A}{S} \right)^{3/2},$$

где λ — множитель, зависящий от формы тела; τ — коэффициент, зависящий от формы поперечного сечения трубы и от свойств границ рабочей части; S — площадь поперечного сечения рабочей части трубы; A — площадь миделевого сечения винта (площадь в свету).

С учетом этого выражения формула (72) примет вид

$$v_{\text{ист}} = v_{\text{изм}} (1 - \tau \lambda) \sqrt{\left(\frac{A}{S} \right)^3} = v_{\text{изм}} k. \quad (73)$$

Здесь k — поправочный коэффициент на загромождение.

Исследования показывают [39, 40], что для приборов типа М-47 и М-63М при диаметре трубы 600 мм поправка на загромождение не превышает основной погрешности этих приборов.

9.4. Методика поверки ветроизмерительных приборов

Рассмотрим методические основы поверки анемометров, анеморумбографов и датчиков ветра ДМС и УАТГМС. Поверка указанных приборов осуществляется по утвержденным инструкциям и состоит из следующих основных операций.

Внешний осмотр. При внешнем осмотре проверяется соответствие прибора требованиям технических условий по качеству исполнения, сборки узлов и покрытий, а также правильность маркировки и отсутствие каких-либо видимых дефектов и повреждений, которые могут нарушить нормальную работу прибора или ухудшить аэродинамические характеристики ветроприемников. Особое внимание уделяется проверке состояния механических вращающихся частей. При небольшом трении в осях винты (флюгарки), приведенные во вращение, должны плавно уменьшать скорость вращения до полной остановки. Они должны быть также хорошо уравновешены. Разбаланс флюгарки и винта определяется при горизонтальном положении их осей. В сбалансированном датчике винт и флюгарка в любом положении должны оставаться в безразличном равновесии, лопасти винта при вращении не должны иметь торцевого и радиального биений. Биения контролируются с помощью вертикальной 7 и горизонтальной 8 линейки (рис. 76). Линейки устанавливаются на плате 6 со штырем 5 так, чтобы их плоскости касались кромок наиболее выступающей лопасти винта, флюгарка закрепляется откидным упором 2. Затем, не смещая линеек, поочередно подводят к ним остальные лопасти и каждый раз щупом замеряют зазоры (биения) между линейками и лопастью. Найденные величины биений не должны превышать установленных допусков.

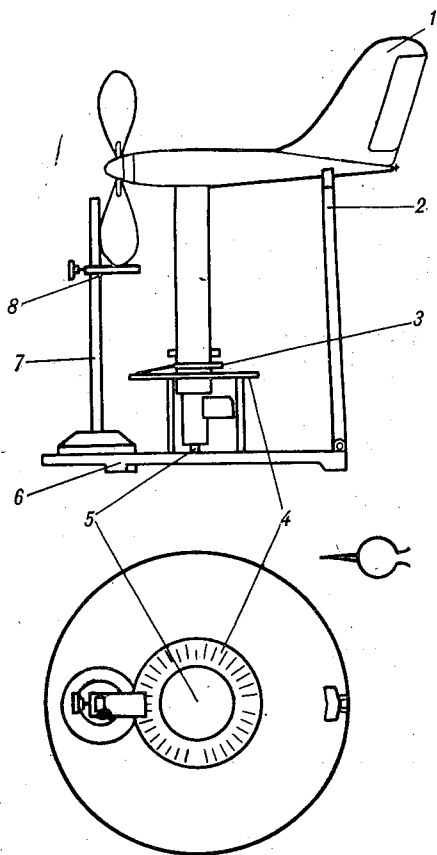


Рис. 76. Приспособление для определения биений и рассогласованности флюгарки.

Проверка исправности анеморумбометров. Проверка исправности анеморумбометров осуществляется с помощью простейших приспособлений, некоторых электроизмерительных приборов и просто от руки. Для проверки

электромеханической части приборов применяются также специальные стенды и имитаторы скорости потока [34].

Перед проверкой производят монтаж анеморумбометра и готовят его к работе, руководствуясь инструкцией по эксплуатации приборов. При контроле исправности анеморумбометров выполняют следующие *основные операции*.

1. Проверка источника питания и включения сигнальных устройств. Напряжение питания контролируется по авометру.

2. Контроль начального положения стрелок указателей. Если стрелки не совпадают с нулем шкалы, их устанавливают с помощью корректора. Стрелки указателя направления должны указывать «Север» при положении винта над стержнем-ориентиром.

3. Проверка работоспособности узлов скорости и направления ветра. При вращении винта рукой стрелка указателя мгновенной скорости должна отклоняться вправо. Контроль правильности набора средней скорости осуществляется по секундомеру, с помощью которого проверяется время между включением и выключением канала средней скорости и точность работы часового механизма. При нажатии кнопки «сброс» стрелка указателя должна возвращаться в нулевое положение. При вращении флюгарки вокруг оси стрелка указателя направления должна менять свое положение от 0 до 360°.

В исправном румбометре производят определение рассогласованности указателя с флюгаркой. Эта операция выполняется при установке преобразователя на плате 6 (см. рис. 76) так, чтобы стрелка-ориентир 3 была направлена на север по шкале 4. Флюгарку 1 последовательно поворачивают по часовой стрелке и обратно по четырем румбам (восток, юг, запад, север). При каждом положении флюгарки производят отсчет по указателю направления и вычисляют разность между положением флюгарки по шкале и показанием указателя. Максимальное расхождение между любым положением флюгарки и указателем не должно превышать 5°.

4. Проверка скорости перемещения диаграммной ленты регистратора и продолжительности работы часового механизма. Скорость движения ленты измеряется с помощью масштабной линейки и хронометра.

В анеморумбометрах М-63М и преобразователях УАТГМС, кроме того, проверяются:

момент трения на оси винта. При этом взамен стопорной гайки на ось винта надевается ролик, на который наматывается нить. На свободный конец нити подвешивают грузики так, чтобы они были уравновешены силами трения. Проверка должна проводиться в четырех положениях винта. Допустимый момент трения на оси винта не должен превышать 5 г/см;

момент трения на оси флюгарки определяют также путем уравновешивания сил трения с помощью грузиков, навешивае-

мых на свободный конец нити, намотанной на вращающуюся стойку датчика (рис. 77). Допустимый момент трения на оси флюгарки не должен превышать 60 г/см;

геометрические размеры винта (угол наклона в среднем сечении $+80^\circ$, размах лопасти в пределах от 200 до 2 мм, ширина лопасти 88 с допуском ± 2 мм) определяют с помощью специальных приспособлений;

амплитуда выходных импульсов опорного и измерительного импульсаторов проверяется с помощью осциллографа С1-19 или авометра, подключенного к выходу импульсаторов; фазовый сдвиг между импульсаторами — с помощью частотомера или контрольного пульта прибора М-63М при различных положениях флюгарки, определяемых с помощью лимба и стрелки, закрепленной на преобразователе;

магнитоуправляемые контакты $K1$, $K2$, переключающие шкалы румбометра с $0-180$ до $180-360^\circ$, должны замыкаться при подходе к делениям 0 и 180° не менее чем за 5° и не более чем за 20° .

Проверка их осуществляется с помощью авометра, подключенного к контактам;

регулируемые потенциометры пульта при подключении тумблера на измерительном пульте «преобразователь — контроль» в положение «контроль» должны обеспечивать возможность регулировки текущей скорости на $\pm 5\%$, направления ветра $\pm 10^\circ$;

каналы измерения скорости и направления ветра. Исправность канала скорости проверяется с помощью имитатора скорости потока — приводного механизма, позволяющего раскручивать ось винта с числами оборотов, соответствующими скорости ветра 5, 15 и 35 м/с и выше (рис. 78). Приводной механизм состоит из электродвигателя 5, жестко закрепленного на стойке 2 хомутом 1 и редуктора 6, 7. Зависимость числа оборотов винта от скорости потока (градуировка) определяется в аэродинамической трубе перед выпуском прибора из производства, а также после его ремонта и указывается в паспорте. В исправном приборе показания, снятые с пульта в указанных точках (коэффициент пересчета пульта) не должны отличаться от паспортных данных на величину более $(0,3+0,035v)$ м/с по текущей скорости, более $(0,7+0,035v)$ по максимальной скорости и более $(0,2+0,035v)$ по средней скорости.

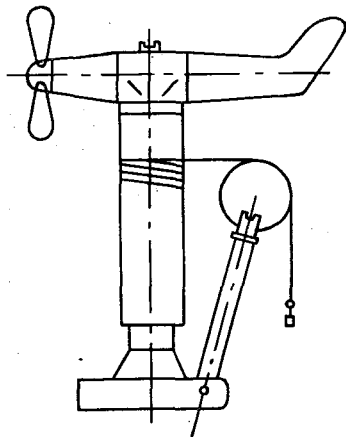


Рис. 77. Приспособление для проверки чувствительности.

Канал направления проверяется в четырех положениях флюгарки с помощью круговой шкалы-лимба 3 и стрелки 4. Положения флюгарки, снятые по лимбу, не должны отличаться от соответствующих показаний по шкале пульта более чем на 5° .

Определение порога чувствительности. Порог чувствительности анеморумбометра характеризуется величиной скорости потока, при которой винт и флюгарка начинают вращаться. Определение порога чувствительности анеморумбометров по скорости и направлению обычно производится в аэроди-

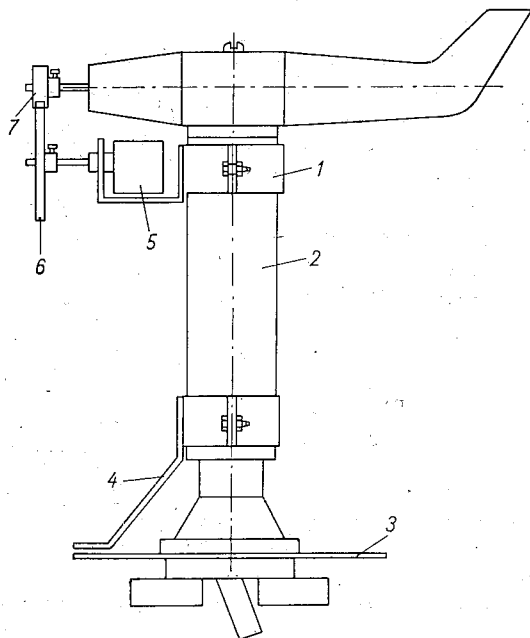


Рис. 78. Приспособление для задания числа оборотов.

намической трубе. С этой целью преобразователь устанавливается в рабочем поле трубы. Постепенно увеличивая скорость воздушного потока, наблюдают за винтом. В тот момент, когда винт, стронувшись с места, разовьет непрерывное и равномерное вращение, производят отсчет по микроманометру. Вычисленная по показаниям микроманометра скорость будет равна порогу чувствительности прибора по скорости.

Чувствительность по направлению воздушного потока определяется следующим образом. Установив флюгарку по направлению потока, в трубе задают скорость 2—5 м/с и поворачивают стойку анеморумбометра так, чтобы стрелка указателя направления показывала на «север». Уменьшив скорость, флюгарку отводят на 15° в сторону. Затем, постепенно увеличивая ско-

рость потока, наблюдают, когда флюгарка вновь установится по направлению потока. В этот момент производят отсчет по микроманометру. Вычисленная скорость будет соответствовать порогу чувствительности прибора по направлению.

Уменьшив скорость и отведя флюгарку в другую сторону, повторяют операцию. Поворачивают стойку флюгарки на 90° и снова определяют порог чувствительности флюгарки. Таким образом, производят определение порога чувствительности флюгарки в четырех направлениях. Результаты записывают в рабочий журнал.

Чувствительность преобразователя ветра может быть определена и по данным измерения момента трения на осях винта и флюгарки. Этот метод основан на том, что аэродинамический момент винта, пропорциональный квадрату скорости потока, в начале движения равен моменту трения на оси ветроприемника, т. е.

$$M_{\text{тр}} \simeq M_a = A (v_{\text{мин}}^2),$$

где A — постоянная величина.

Это позволяет установить количественную зависимость между порогом чувствительности $v_{\text{мин}}$ и моментом трения $M_{\text{тр}}$.

Градуировка и поверка шкалы анемометров. Градуировка и поверка шкалы анемометров производится в аэродинамической трубе. В процессе градуировки определяют градуировочные характеристики анемометров, которые дают в виде таблиц или графиков зависимости их показаний от скорости потока. При эксплуатации приборов или после их ремонта и регулировки градуировочные характеристики могут измениться. Поэтому периодически должна производиться поверка показаний анемометров. При поверке определяют поправки к шкале анемометра, которые заносят в поверочное свидетельство. В годных приборах полученные величины поправок не должны превышать установленных допусков. В других случаях приборы бракуются.

Поверка показаний анемометров производится в нескольких точках градуировочной характеристики при повышении и понижении скорости воздушного потока двумя поверителями. Один устанавливает и поддерживает скорость воздушного потока в трубе и делает отсчеты по микроманометру. Второй производит отсчеты показаний поверяемого прибора и ведет запись результатов измерений. Число поверяемых точек следует выбирать так, чтобы по ним можно было построить градуировочный график. Для большинства применяемых приборов на градуировочном графике строится прямая линия. Кривизна линии чаще всего наблюдается в начале нижнего предела измеряемых скоростей, что объясняется влиянием трения, которое уменьшает чувствительность анемометров на малых скоростях. Поэтому на участке малых скоростей точки следует брать через меньшие

промежутки. На каждой поверяемой точке анемометры выдерживают несколько минут в зависимости от инерционных свойств ветроприемника. После выдержки делается 3—5 отсчетов по шкале и микроманометру. По результатам измерений вычисляют средние значения скорости потока и показания анемометра для мгновенной, максимальной и средней скорости. Затем строят график зависимости показаний анемометра от скорости потока и определяют поправки по шкале на каждой точке.

Допуск на величину поправки вычисляется по формуле

$$\Delta_n = [v_0 + (0,02 \div 0,05) v], \quad (74)$$

где v_0 — погрешность нуля анемометра, v — скорость в данной точке градуировочной характеристики.

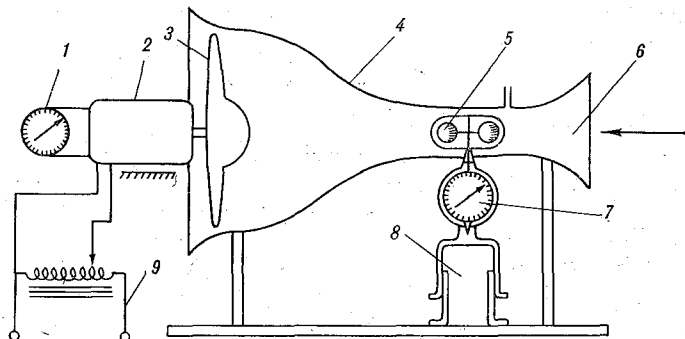


Рис. 79. Установка для проверки ручных анемометров.

Проверка ручных анемометров на установке УПАР-01. При проверке однотипных малогабаритных анемометров, кроме аэродинамических труб, могут быть использованы более простые вентиляционные установки настольного типа. Для проверки ручных анемометров (ГОСТ 6376—52, тип А) применяется установка УПАР-01 (рис. 79). Она состоит из вентиляционного канала 4, в котором устанавливается приемная часть 5 поверяемого анемометра 7, вентилятора 3, приводимого во вращение от электродвигателя постоянного тока 2 и приспособления 8 для крепления анемометра. Установка позволяет создавать воздушный поток в диапазоне скоростей от 0,8 до 20 м/с. Вентилятор 3 засасывает воздух через входное отверстие канала 6 и выбрасывает его наружу в сторону расширенной части. Задание необходимой скорости потока осуществляется изменением числа оборотов вентилятора 3 путем изменения напряжения питания электродвигателя с помощью автотрансформатора 9. Скорость потока определяется из градуировочной таблицы или графика по числу оборотов вентилятора, измеряемых с помощью электромеханического счетчика 1. При

поверке анемометров на установке необходимо соблюдать определенные условия и меры предосторожности.

Вентиляционный канал в рабочем сечении имеет круглую форму и рассчитан на введение в него только вертушки анемометра. Поверяемый анемометр вставляется в канал через специальную прорезь, закрываемую заслонкой, и закрепляется в строго определенном положении на стойке приспособления. Входное отверстие в канале установки должно находиться у края стола на расстоянии не менее одного метра от пола, стен и других предметов.

Во время работы с установкой нельзя создавать возмущения воздушного потока перед входным отверстием канала. Двери и окна должны быть закрыты. Поверка производится при температуре помещения $20 \pm 5^\circ \text{C}$.

Включать и выключать установку следует при нулевом положении ручки автотрансформатора 9. Поверка и градуировка установки производится не менее одного раза в год и после ремонта или замены деталей. Для градуировки используется группа образцовых анемометров того же типа из пяти штук, которые градуируются в аэродинамической трубе по образцовому пневмометрическому анемометру I разряда. Отклонения осредненной градуировочной характеристики установки от осредненной характеристики группы образцовых анемометров не должны превышать установленных допусков. Образцовые анемометры хранятся в отделе метрологии ГГО.

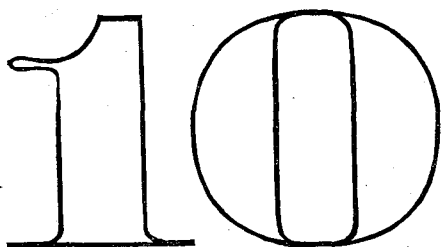
Поверка ручных анемометров на установке УПАР-01 состоит из определения порога чувствительности анемометра и поверки шкалы. Для определения порога чувствительности в установке создают минимально возможную скорость потока и затем постепенно увеличивают ее до тех пор, пока вертушка анемометра не начнет вращаться. В этот момент включают секундомер и по показаниям счетчика определяют число оборотов вентилятора за 10 с. Разделив эту величину на 10, вычисляют количество оборотов за одну секунду и из градуировочной таблицы установки находят соответствующее значение скорости потока в м/с. Если вертушка анемометра начала вращаться при скорости большей 0,8 м/с, то прибор бракуется и дальнейшей поверке или градуировке не подлежит.

Поверка шкалы анемометра производится на значениях скорости 1, 2, 4, 10 и 20 м/с при возрастании и убывании скорости потока. На каждом значении определяются показания анемометра за одну секунду и соответствующие им значения скорости воздушного потока из показаний счетчика установки. Измерения выполняют в следующем порядке. Сначала записывают показания выключенных счетчиков анемометра и установки. Затем, включив установку в сеть, задают скорость около 1 м/с и дают раскрутиться вентилятору и анемометру в течение 30 с, после чего включают секундомер и счетчики. Через 100 с

счетчики выключают и их показания записывают в журнал поверки под первыми отсчетами.

Определяют число делений счетчиков установки и анемометра за 100 с по соответствующей разности между последующими и предыдущими отсчетами. Полученные разности делят на 100, находят число делений счетчиков за одну секунду и заносят показания в журнал. По числу делений счетчика установки за одну секунду из градуировочной таблицы находят скорость воздушного потока в м/с для данной точки. Измерения на остальных точках выполняют аналогично. По полученным данным строят график градуировки, который заносят в поверочное свидетельство анемометра.

Отклонения отдельных точек на графике от градуировочной характеристики не должны превышать 0,05 м/с при скорости от 1 до 5 м/с и 0,1 м/с при скорости большей 5 м/с.



ПОВЕРКА ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

10.1. Устройство и общие указания по поверке

Дистанционные метеорологические станции (ДМС) применяются в наземных условиях и на судах. Они служат для измерения скорости и направления ветра, температуры и влажности воздуха, а также температуры воды.

Наземная дистанционная метеорологическая станция М-49 (рис. 80) состоит из узла преобразователей скорости и направления ветра 1, узла преобразователей температуры и влажности воздуха 5, размещенных в защите 4, и указателя метеорологических элементов 7. Преобразователи подключаются к указателю 7 с помощью электрокабеля.

Для измерения скорости ветра служит восьмиллопастная вертушка 2, которая ориентируется навстречу потоку с помощью флюгарки 3. Вращение вертушки 2 (см. рис. 66) передается на ось тахогенератора переменного тока, выходное напряжение которого измеряется по нижней шкале микроамперметра 8, проградуированной от 0 до 50 м/с. На оси флюгарки 3 закреплен ротор сельсина-приемника, который электрически связан с сельсином-указателем. При отклонении флюгарки 3 на некоторый угол синхронно с ней поворачивается ротор сельсина-указателя с закрепленной на его оси стрелкой. Направление ветра отсчитывается по шкале сельсина в градусах. Для ориентировки флюгарки по странам света служит штырь 12, который должен быть направлен на «север».

Измерение температуры и влажности производится с помощью медного термометра сопротивления и пленочного гигрометра, размещенных в общем блоке (см. рис. 41). Термометр включен в неравновесную мостовую схему, измерительная диагональ которой может соединяться с микроамперметром указателя. На микроамперметре над шкалой «скорость ветра» нанесены две шкалы температуры: от -55 до -5 и от -5 до $+45^{\circ}\text{C}$.

Дистанционная передача показаний гигрометра обеспечивается также посредством следящей системы на сельсинах. При

измерениях влажности сельсин-преобразователь гигрометра электрически соединяется с сельсином-указателем станции. Отсчеты показаний производятся по «шкале влажности» 6, нанесенной рядом со «шкалой направления ветра». Переключение шкал указателей станции осуществляется рукояткой переключателя 9. На лицевой панели указателя, кроме того, расположены ручка переключателя питания 10 и ручка установки напряжения питания моста 11. Сбоку панели находятся штепсельные разъемы для подключения питания от сети и от батареи, а также разъемы для подключения преобразователей.

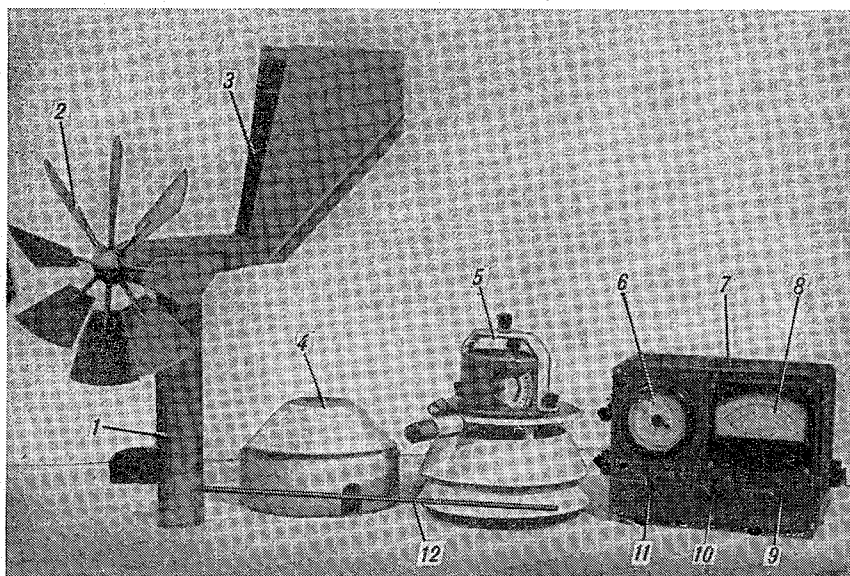


Рис. 80. Дистанционная метеорологическая станция М-49.

В судовой дистанционной метеорологической станции (СДС) ГМ-6 узел преобразователей (рис. 81) метеорологических элементов, состоящий из электрического психрометра 1 и анеморумбометра 2, 3, размещен в закрытом кожухе 4, который служит для защиты преобразователей от внешних воздействий: брызг морской воды, осадков, пыли и пр. На время измерений узел преобразователей выдвигается из кожуха с помощью подъемного механизма 5. Управление подъемным механизмом осуществляется посредством переключателя 2 с измерительного пульта станции (рис. 82).

Скорость ветра измеряется трехчашечным контактным анемометром. В качестве указателя анемометра используется электрический счетчик импульсов, снабженный поворотной шкалой 4, которая градуируется в м/с. Анемометр включается ав-

томатически по окончании подъема узла преобразователей с помощью часового механизма на период времени 100 с, необходимый для осреднения его показаний. Импульсы напряжения, поступившие за это время на счетчик, вызовут угловое перемещение шкалы, по суммарной величине пропорциональное средней скорости ветра за 100 с.

Для отсчета средней скорости тумблером 8 включают питание станции и заводят часовой механизм. При этом загорится сигнальная лампа «опущено» и подсветка шкал. Затем устанавливают на нуль шкалу скорости ветра нажатием кнопки сброса 1, а переключатель 2 переводят в положение «поднято». По окончании подъема блока преобразователей должна погаснуть сигнальная лампа «опущено» и подсветка шкалы скорости ветра. Одновременно с этим загорится сигнальная лампа «поднято» и начинается работа часового механизма. Через 100 с часовой механизм автоматически выключится и вновь загорится подсветка шкалы, после этого производят отсчет средней скорости ветра. Отсчеты по шкале делают с точностью до 0,1 м/с, исправляя результаты поправкой, взятой из поверочного свидетельства анемометра.

Направление ветра измеряют колесом Салейрона при помощи дистанционной потенциометрической схемы постоянного тока. Отсчеты направления ветра производятся по шкале указателя 5.

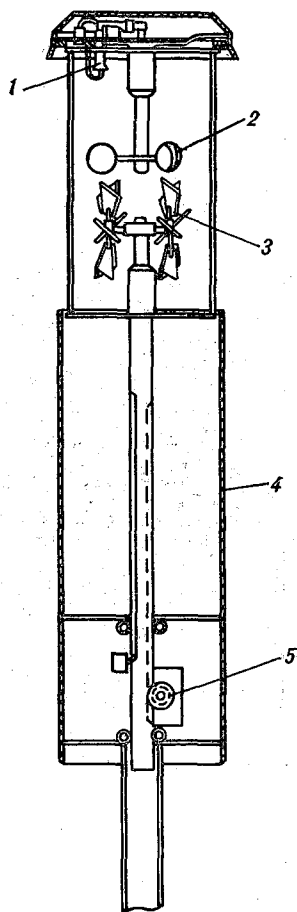


Рис. 81. Узел преобразователя М-49.

Влажность и температура воздуха измеряются *электрическим аспирационным психрометром*, у которого в качестве «сухого» и «смоченного» термометров применены медные термометры сопротивления. Аналогичный термометр используется и для измерения температуры забортной воды. В качестве смачивающей жидкости в психрометре СДС при отрицательных температурах применяется 33%-ный раствор этилового спирта. Поскольку максимальная упругость пара над таким раствором мало отличается от упругости насыщения водяного пара над

водой, а требуемая точность измерения влажности не высока ($\pm 15\%$ при температуре от 0 до -10°C), для определения влажности могут использоваться стандартные психрометрические таблицы [4].

Дистанционное измерение сопротивления термометров осуществляется с помощью равновесной мостовой схемы, расположенной на пульте. Термосопротивления подключаются к измерительному мосту с помощью переключателя 9 («температура воздуха», «смоченный»), 8 («контроль» и «температура

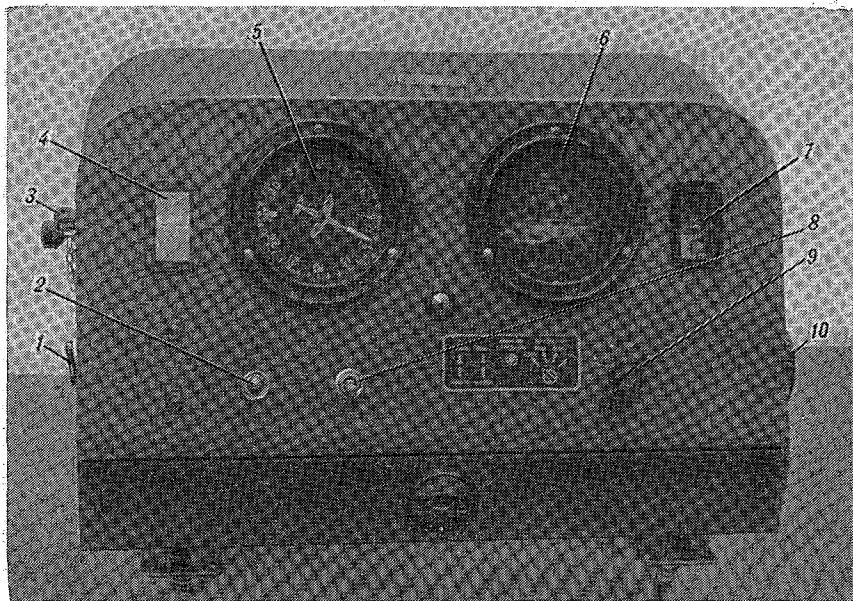


Рис. 82. Судовая дистанционная станция (СДС) ГМ-6.

воды») по трехпроводной схеме, исключающей влияние температуры окружающей среды на измерения. Отсчет показаний термометров производится по шкале реохорда 7 в момент равновесия измерительного моста. Уравновешивание мостовой схемы производится по нуль-гальванометру 6 вращением рукоятки реохорда 10.

Проверка дистанционных метеорологических станций включает в себя внешний осмотр и проверку исправности отдельных узлов, проверку узлов скорости, направления, влажности и температуры, а также проверку работоспособности станций в комплексе перед выпуском их в эксплуатацию.

Внешний осмотр производится для выявления каких-либо дефектов, не допускаемых техническими требованиями, которые подробно изложены в инструкциях по проверке или в руковод-

ствах по монтажу и эксплуатации станций. Исправность станций проверяется поэлементно и в собранном виде.

Особое внимание следует обращать на правильность регулировки узлов скорости ветра и влажности. Все элементы управления станцией, переключатели и ручки регулировки должны функционировать безотказно. Кабели с разъемами должны обеспечивать надежные контакты и не иметь замыканий между жилами. Проверка кабелей осуществляется тестером или на специальном стенде.

В станции СДС проверяется работа часового и подъемного механизмов. Часовой механизм должен включаться только после полного выдвижения блока преобразователей из защиты на время 100 ± 2 с. Блок должен подниматься и опускаться свободно, без заеданий, что проверяется многократным включением подъемного механизма с одновременным наблюдением за правильностью включения сигнальных лампочек на измерительном пульте.

10.2. Поверка узла скорости и направления ветра

При проверке узла скорости ветра определяется начальное значение шкалы анемометра и правильность его показаний. При проверке узла направления ветра определяется чувствительность румбометра и погрешность дистанционной передачи. Поверка производится в аэродинамической трубе. Узел преобразователей устанавливается в центре трубы в рабочем положении и соединяется кабелем с измерительным пультом.

Перед проверкой необходимо проверить исправность блока преобразователей. В исправных приборах вертушки анемометров и ветроприемники румбометра вращаются свободно, без заеданий и хорошо сбалансированы. При горизонтальном положении своих осей вращения они должны занимать положение безразличного равновесия. У вращающейся вертушки не должно наблюдаться заметное на глаз биение лопастей или чашек.

Проверку исправности узла скорости можно осуществить, если при снятой вертушке раскручивать ось анемометра с известным числом оборотов с помощью специального стенда. Зная зависимость числа оборотов вертушки от скорости воздушного потока, которая определяется заранее при градуировке прибора в аэродинамической трубе, можно таким способом проверить шкалу указателя скорости и внести необходимые поправки.

Узел направления можно проверить, поворачивая от руки ось флюгарки или виндрозы румбометра в одну и другую сторону и наблюдая за шкалой указателя. В исправном румбометре стрелка указателя направления должна поворачиваться синхронно с ветроприемником.

Для полной оценки правильности измерения направления необходимо определить погрешность дистанционной передачи, которая может возникнуть вследствие изменения параметров сельсинов или потенциометрической схемы измерения. Указанные погрешности обычно носят систематический характер и могут быть учтены путем введения поправок.

Для определения погрешности дистанционной передачи внизу стойки соосно с румбометром устанавливается планшет с круговой шкалой, разделенной на градусы и основные румбы. Планшет ориентируется по странам света. К противовесу ветроприемника румбометра прикрепляется отвес-указатель. Поворачивая ветроприемник, последовательно устанавливают отвес над делениями шкалы планшета через 45° и при каждом положении отвеса делают отсчеты по шкале указателя направления. Измерения повторяют, поворачивая флюгарку или винд-розы в обратном направлении. Подводить противовес к намеченному делению шаблона нужно только в одном направлении. Расхождение между положением ветроприемника на планшете и указателем направления не должно превышать установленного допуска (табл. 36).

Таблица 36

Допуски для СДС ГМ-6 и ДМС М-49

Метрологические величины	СДС ГМ-6	ДМС М-49
Начальная скорость анемометра . .	$\leq 1 \text{ м/с}$	
Поправки шкалы указателя скорости	$\leq (0,5 + 0,05v) \text{ м/с}$	
Отклонение показаний анемометра от градуировочной кривой	$\leq 0,5 \text{ м/с}$	$\leq (0,5 + 0,02v) \text{ м/с}$
Чувствительность румбометра	2 м/с	$1-2 \text{ м/с}$
Погрешность дистанционной передачи направления	$\pm 7^\circ$	$\pm 6^\circ$
Поправки к шкале указателя температуры	$\pm 0,3^\circ \text{ C}$	$\pm 0,8^\circ \text{ C}$
Поправки к показаниям преобразователя влажности	—	$\pm 5\%$
Погрешность дистанционной передачи влажности	—	$\pm 2\%$
Время работы часового механизма .	$100 \pm 2 \text{ с}$	—
Скорость аспирации психрометра . .	$\geq 3 \text{ м/с}$	—

10.3. Определение начального значения шкалы анемометра и чувствительности румбометра

Начальное значение шкалы анемометра характеризуется величиной скорости потока, при которой вертушка трогается с места и начинает вращаться. Включив анемометр, медленно повышают скорость потока в аэродинамической трубе и наблю-

дают за вертушкой. В тот момент, когда вертушка начнет медленно вращаться и, преодолев силы трения в осях, сделает 2—3 оборота, снимают отсчеты по микроанометру. Вычисленная по этому отсчету скорость и будет соответствовать начальному значению шкалы анемометра.

Для определения чувствительности румбометра флюгарку или виндрозы, установленные вдоль оси трубы, отводят на некоторый угол по часовой стрелке. Затем постепенно увеличивают скорость потока и в момент, когда ветроприемник вновь установится по потоку или будет отклоняться от него на небольшой угол, производят отсчет по микроанометру и по шкале направления. Операцию повторяют, отводя ветроприемник в направлении против часовой стрелки, чтобы учесть возможное различие в величине трения из-за асимметрии прибора.

Для вычисления скорости потока по показаниям микроанометра необходимо измерить температуру и атмосферное давление в помещении. Вычисленная по отсчетам наибольшая скорость потока должна соответствовать порогу чувствительности румбометра. Румбометр годен по чувствительности, если флюгарка устанавливается по потоку или отклоняется от него на некоторый угол при значении скорости, соответствующем установленным (см. табл. 36) допускам (1—2 м/с.).

10.4. Поверка шкалы анемометра

При поверке анемометра определяют поправки к шкале указателя скорости. Поверку производят при увеличении и уменьшении скорости воздушного потока на нескольких значениях шкалы, например, 2, 5, 15, 25, 35 и 45 м/с. Требуемые скорости можно устанавливать приблизительно. На каждом значении при установившихся показаниях анемометра делают не менее трех последовательных отсчетов по микроанометру и по шкале прибора. С точностью до 0,1 м/с вычисляют средние значения скоростей из показаний микроанометра и анемометра станции и определяют поправки. Для этого из заданных значений скоростей вычитают соответствующие средние отсчеты по указателю станции.

Поправки на любых других значениях шкалы находят с помощью градуировочного графика. При построении графика по горизонтальной оси откладывают задаваемую в трубе скорость воздушного потока, а по вертикальной — показания анемометра. Градуировочную характеристику проводят через пересечения координат поверяемых значений так, чтобы все они располагались симметрично по обе ее стороны. У исправного анемометра градуировочная характеристика почти линейна. Максимальное

отклонение полученных поправок на всех значениях не должно превышать половины допуска для основной погрешности анемометра.

10.5. Поверка узлов температуры и влажности

Поверка узлов температуры и влажности метеорологических станций М-49 и ГМ-6 заключается в проверке их исправности и определении шкаловых поправок. Исправность преобразователей проверяется путем их осмотра и опробования. Проверка каналов температуры производится при включенных термосопротивлениях.

В станции М-49 при установке переключателя шкал в положение «контроль» стрелка указателя температуры должна устанавливаться на красную отметку вращением ручки регулировки питания моста. В положении переключателя при измерении температуры от -5 до $+45^{\circ}\text{C}$ указатель должен показывать температуру, близкую к комнатной. При нагревании термометра рукой стрелка указателя должна отклоняться вправо по шкале.

В станции ГМ-6 для проверки положения нуля шкалы температур переключатель 8 (см. рис. 82) устанавливают в положение «контроль» и уравнивают мост рукояткой реохорда 10. В исправном измерительном устройстве равновесие наступает, когда индекс реохорда совпадает с нулем шкалы. В случае смещения нуля шкалы температуры в измерения вносится соответствующая поправка. У всех термометров станции необходимо проверять также сопротивление изоляции. Эти измерения выполняются с помощью мегаомметра, зажимы которого соединяются с закороченными выводами термометра и его корпусом. Электрическое сопротивление изоляции термометров должно быть в пределах нескольких десятков мегаом (МОм). Уменьшение сопротивления ниже установленного допуска свидетельствует о разрушении изоляции или нарушении герметичности термометров, что приводит к ошибкам измерения вследствие утечки и выходу их из строя.

Определение шкаловых поправок термометров производится двумя методами.

1. По методике, изложенной в п. 4.3, измеряется сопротивление термометров R_0 и R_{100} и вычисляется их температурный коэффициент

$$\alpha = 0,01 \left(\frac{R_{100}}{R_0} - 1 \right).$$

По формуле $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ рассчитывают сопротивления термометра R_t при температурах t от -50 до $+40^{\circ}\text{C}$ через каждые 10° . Найденные значения устанавливают на магазине со-

противлений класса 0,02 и подают на вход измерительной схемы ДМС. Шкаловые поправки определяют как разность отсчетов температуры по указателю и значениями, соответствующими различным сопротивлениям на входе.

2. Извлеченные из блоков термосопротивления погружают в жидкостную ванну (рис. 10), в которой с помощью образцового термометра последовательно устанавливают значения температуры -30 , -20 , -10 , 0 , 10 , 20 и 30°C . На каждом значении делают по 3—5 отсчетов по станции и образцовому термометру с точностью до $0,1^\circ$, после чего вычисляют средние значения поправок. Результаты поверки наносят на график, по которому можно определить поправку в любом значении шкалы.

Поверка преобразователя влажности ДМС М-49 производится в гигростате по методике, рассмотренной в п. 6.2. Узел влажности освобождается от защиты и отключается от указателя. При размещении преобразователя в гигростате необходимо обеспечить удобство отсчета по шкале и возможность перемещения стрелки установочным винтом 4 (рис. 41). До начала поверки определяют погрешность дистанционной передачи влажности. С этой целью винтом 4 стрелку последовательно устанавливают на деления шкалы 20, 30, ..., 100 и, включая преобразователь, каждый раз делают отсчеты по указателю. Измерения повторяют, перемещая стрелку в обратном направлении. Средние расхождения показаний преобразователя по шкале и дистанционному указателю не должны превышать 2% относительной влажности.

Электрический психрометр станции ГМ-6 сличается с образцовым психрометром в гигростате перед выпуском из производства или ремонта. В процессе эксплуатации производится только периодическая поверка термометров сопротивления и проверяется исправность смачивающего устройства и работа аспиратора. В исправном психрометре не должно быть разбрызгивания смачивающей жидкости, а скорость аспирации в трубчатых защитах термометров должна быть не менее 3 м/с. При меньших значениях скорости аспиратор не обеспечит откачку смачивающей жидкости из защиты термометра при измерениях. Кроме того, могут возникнуть погрешности из-за изменения психрометрического коэффициента. Поэтому скорость аспирации необходимо периодически проверять на установке ПО-30 с помощью микронасадок и микроманометра. Разбрызгивание обнаруживается по налету жидкости на полированной пластинке, приставленной к отверстию вентилятора. Откачка жидкости из защиты проверяется следующим образом. После двухминутной работы вентилятора перекрывают кран бачка и снимают резиновую трубку со штуцера защиты. В исправном психрометре вода перейдет в верхний бачок, не выливаясь из штуцера.

10.6. Проверка работоспособности станции в комплекте

После поверки по узлам необходимо проверить работоспособность станции в собранном виде. Эта проверка производится в помещении или непосредственно на месте эксплуатации. Работа узла температуры и влажности проверяется путем сравнения показаний станции с аспирационным психрометром, который подвешивается рядом на уровне преобразователей.

Преобразователь температуры воды помещается в переносную термованну с водой или тающим льдом. Температура воды проверяется по образцовому ртутному термометру. Проверка узла направления ветра производится вращением ветроприемников от руки и одновременным наблюдением по шкале указателя. Узел скорости ветра проверяется, как было показано в п. 10.2. Проверка в полевых условиях производится путем сличения показаний анемометра станции с ручным анемометром при данной скорости ветра.

Лабораторные работы

10.1. ПОВЕРКА ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ М-49 И ГМ-6

Содержание работы. Внешний осмотр. Проверка исправности всех узлов и работоспособности станции в комплекте. Определение шкаловых поправок указателей. Составление поверочных свидетельств.

Поверочное оборудование и приборы. Аэродинамическая труба, микроманометр ММН, планшет с круговой шкалой, нуль-термостат для воспроизведения постоянной точки 0° , паровой термостат для воспроизведения постоянной точки 100° , жидкостная термованна с механическим перемешиванием (для поверки термографов), образцовый платиновый термометр ПТС-100, мост постоянного тока класса 0,05, гальванометр М-95/2 (с чувствительностью не менее 10—8 А/дел), магазин сопротивлений класса 0,02, гигростат ПО-34, аспирационный психрометр, чашечный барометр СР-Б, установка для поверки аспирационных психрометров ПО-30, психрометрический термометр, мегаомметр МОМ-3, секундомер, лупа.

Указания по выполнению работы. Лабораторные работы выполняются в порядке, изложенном в пп. 10.1—10.6. До начала работы проводится ознакомление и изучение технической документации станции. Точно так же должно быть хорошо изучено и подготовлено к работе поверочное оборудование, образцовые приборы и все справочные материалы.

Поверку узлов скорости ветра, направления, температуры и влажности можно проводить отдельно с составлением самостоятельного отчета. При этом основное внимание должно быть уделено снятию градуировочных характеристик и определению шкаловых поправок преобразователей. Результаты поверки оформляются в виде таблиц и графиков. Приводим содержание работ по поверке основных узлов станции.

Определение шкаловых поправок преобразователя ветра в аэродинамической трубе. Перед поверкой измеряют температуру и атмосферное давление по барометру и записывают их в журнал (табл. 37). Затем в аэродинамической трубе устанавливают скорости 2, 5, 15, 20, 15, 5 и 2 м/с и делают по три отсчета по микроманометру и указа-

тею скорости на каждом значении. Данные измерений записывают в журнал, после чего приступают к обработке отсчетов и вычислению шкаловых поправок. Из табл. 17 приложения [27] находят поправочный коэффициент к микроманометру, учитывающий влияние температуры и давления в помещении на плотность спирта 1,002, и умножают его на коэффициент отверстия в коллекторе аэродинамической трубы. Получают $1,002 \times 1,003 = 1,005$.

Таблица 37

Запись результатов измерений
при определении шкаловых поправок анемометра

Температура 14° С
Давление 755,3 мм
Поправочный коэффициент 1,002
Коэффициент отверстия в коллекторе 1,003

Начальное значение шкалы анемометра 0,8 м/с
Порог чувствительности по направлению 1,2 м/с

Отсчеты по микроманометру			Средний отсчет	Скорость, м/с	Исправленное значе- ние скорости	Преобразователь скорости ветра				Поправка	Средняя поправка
						отсчет по шкале указателя			Средний отсчет		
1.3	1.3	1.3	1.3	2.0	2.01	1.9	1.8	1.7	1.8	+0.2	+0.2
6.8	7.9	7.7	7.8	5.0	5.02	4.6	4.7	4.8	4.7	+0.3	+0.2
35.2	35.1	35.3	35.3	15.0	15.08	14.5	14.5	14.6	14.5	+0.6	+0.6
66.1	66.0	66.3	66.1	20.0	20.10	19.4	19.4	19.5	19.4	+0.7	+0.6
66.1	66.1	66.3	66.2	20.0	20.10	19.5	19.5	19.6	19.5	+0.6	
35.2	35.3	35.3	35.3	15.0	15.08	19.6	19.6	19.5	19.6	+0.5	
7.8	7.9	7.8	7.8	5.0	5.02	4.8	4.7	4.8	4.8	+0.2	
1.3	1.3	1.3	1.3	2.0	2.01	1.9	1.9	2.0	1.9	+0.1	

По средним отсчетам микроманометра с помощью градуировочных таблиц определяют скорость потока на каждом значении. Умножая найденные величины на коэффициент 1,005, находят исправленные значения средней скорости потока в аэродинамической трубе. Затем вычисляют средние отсчеты по шкале указателя и находят поправки для проверяемых значений скорости. Средние значения поправок находят как среднее арифметическое из величин поправок, полученных при увеличении и уменьшении скорости в трубе.

В приведенном примере средние поправки анемометра не превышают допуска $\Delta = (0,5 + 0,02 v)$ м/с.

Проверка термометров сопротивления и определение шкаловых поправок. Проверяемые термометры вынимают из станции и погружают в нуль-термостат, наполненный чистым снегом (или мелко-наскобленным тающим льдом). Головку термометров следует также обложить снегом, оставив на поверхности только выводы. С помощью дополнительных проводов с точно известным сопротивлением термометры присоединяют к мостовой измерительной схеме. После выдержки в течение 30 мин схема уравновешивается и делаются три отсчета с точностью до 0,1 Ом с интервалами через 1—2 мин. Записывают отсчеты в журнал и переносят термометры в паровой термостат. Термостат заливают дистиллированной водой и включают в сеть. Через 20 мин с начала кипения делают три отсчета R_{100} . Одновременно измеряют атмосферное давление по барометру. Из приложения 2 по

исправленным показаниям барометра находят действительную температуру пара кипящей воды с точностью до 0,05° С.

Формы записи результатов измерений приведены в табл. 38.

Таблица 38

Запись результатов измерений
при проверке термометров сопротивления

№ п/п	R_0	R_{100}	Показания барометра, мм рт. ст.				Темпе- ратура кипе- ния T °С
			t °С	B_t	поправка	B_0	
1	460.1	655.4	20.3	767.5	—1.7	765.8	100.2
2	460.1	655.5	20.5	767.4	—1.8	765.6	100.2
3	460.1	655.5	20.8	767.3	—1.8	765.5	100.2
Среднее	460.1	655.5					100.2

По результатам измерений определяют средние значения $\bar{R}_0$, $\bar{R}_{100}$ и T . В табл. 38 они соответственно равны 460,1; 655,5 и 100,2° С.

В показания барометра вводят поправки: инструментальную, на приведение к нормальному ускорению свободного падения и к температуре 0°. По средним значениям R_0 , R_{100} и T из $\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 t}$ находят температурный коэф-

фициент α для каждого термометра (по данным примера $\alpha = 4,24 \times 10^{-3}$). Затем по формуле $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ вычисляют сопротивления термометра R_t при температурах от —50 до 40° С через 10°. Рассчитанные значения R_t устанавливают на магазине сопротивлений и последовательно вводят в блок измерения температуры станции. Соответствующие им значения температуры по шкале указателя записываются в журнал. Шкаловые поправки Δt определяют как разность значений температуры t , соответствующих сопротивлениям на входе указателя и показаниям по шкале t_1 . Запись и обработка результатов поверки приведена в табл. 39.

Таблица 39

Вычисление шкаловых поправок

Дата	Указатель №	Термометр №	$R_0 = 450.1$ $\alpha = 4,24 \times 10^{-3}$	
t °С	(Расчетное) R_t	Показания по шкале указателя t_1 °С	Поправки $\Delta t = (t - t_1)$ °С	
—50.0	362.6	—49.7	—0.3	
—40.0	381.9	—39.7	—0.3	
—30.0	401.7	—29.9	—0.1	
—20.0	421.0	—20.2	+0.2	
—10.0	440.0	—10.5	+0.5	
0.0	460.1	0.0	0.0	
10.0	479.6	10.0	0.0	
20.0	499.1	19.8	+0.2	
30.0	518.6	29.4	+0.6	
40.0	538.1	39.6	+0.4	

Определение шкаловых поправок пленочного преобразователя влажности в гигростате. Перед поверкой в гигростате производят внешний осмотр преобразователя и определяют погрешность дистанционной передачи. Исправный преобразователь помещают

в гигростат и, измерив атмосферное давление по барометру, последовательно устанавливают значения относительной влажности в камере 100, 90, 70, 50, 30, 50, 70 и 100%. На точке 100% датчик выдерживают 20 мин, а на остальных — не менее 10 мин, после чего делают отсчеты по шкале и образцовому психрометру. Смачивание и включение аспирации психрометра производится за 3—4 мин до начала отсчетов. Относительная влажность на поверяемых точках вычисляется с помощью психрометрических таблиц по показаниям «сухого» и «смоченного» термометров образцового психрометра и барометра. Шкаловые поправки находят как разность значений влажности, полученных по психрометру и по шкале гигрометра. Запись и обработка результатов поверки приведены в табл. 40.

Таблица 40

Запись результатов при определении
шкаловых поправок пленочного гигрометра

Образцовый психрометр, °C							Преобразователь	
t° сух	по- правка	t° сух испр.	t' смоч	по- правка	t' смоч испр.	r %	отсчет	шкаловая поправка
19.9	—0.1	19.8	19.8	—0.1	19.7	99	98	+1
19.8	—0.1	19.7	18.7	—0.1	18.6	91	89	+2
20.9	—0.1	20.8	17.4	—0.1	17.3	71	70	+1
21.7	—0.1	21.6	15.4	—0.1	15.3	51	50	+1
21.6	—0.1	21.5	12.3	0.0	12.3	32	33	—1
21.4	—0.1	21.3	15.2	—0.1	15.1	51	52	—1
21.0	—0.1	20.9	17.4	—0.1	17.3	70	71	—1
21.9	—0.1	21.8	21.8	—0.1	21.7	99	98	+1

Пример оформления поверочного свидетельства дан в табл. 41.

Таблица 41

Запись результатов в поверочное свидетельство

Дистанционная метеорологическая станция М-49 №

- Начальное значение шкалы анемометра 0,8 м/с
- Поправки к шкале указателя скорости:

Деление шкалы .	2	5	15	20
Поправка, м/с . . .	+0.2	+0.2	+0.6	+0.6

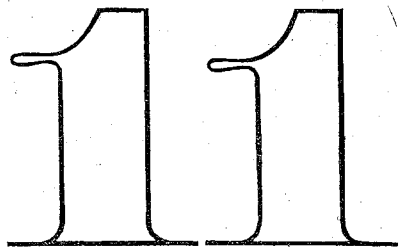
- Погрешность дистанционной передачи направления ветра —5°
- Порог чувствительности по направлению 1,2 м/с
- Соппротивление термометра при 0°С $R_0=460,1$ Ом
- Температурный коэффициент термометра $\alpha=4,24 \times 10^{-3}$ град⁻¹
- Поправки к шкале указателя температуры

Деления шкалы .	—50	—40	—30	—20	—10	0	+10	+20	+30	+40
Поправки, °С . . .	—0.3	—0.3	—0.1	+0.2	+0.5	0.0	0.0	+0.2	+0.6	+0.4

- Поправки к указателю влажности — в пределах допуска.

Начальник Бюро поверки

Ответственный поверитель



ПОВЕРКА АВТОМАТИЧЕСКИХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ТИПА УАТГМС

11.1. Общие сведения

По плану технической реконструкции Гидрометслужбы СССР предусматривается широкое внедрение автоматических измерительных устройств и переход к автоматизированным системам сбора, обработки и передачи гидрометеорологической информации. В настоящее время используются три типа таких систем. Для автоматизации сетевых наблюдений служит унифицированная телеизмерительная гидрометеорологическая станция УАТГМС [30]. Собираемые ею данные наблюдений могут передаваться по каналу связи в зональные ГМО, а оттуда — в территориальные и региональные гидрометеорологические центры, осуществляющие централизованную обработку и использование метеорологической информации. В тех случаях, когда требуется передавать информацию небольшому числу потребителей или использовать ее непосредственно на месте получения (например, в аэропортах), применяется комплексная радиотехническая автоматическая метеорологическая станция КРАМС [1], снабженная специальным электронно-вычислительным устройством для обработки результатов измерений. Наконец, в трудно доступных, необжитых и полярных районах применяются автоматические радиометеорологические станции — АРМС и дрейфующие станции ДАРМС [30]. Аналогичные измерительные системы намечается ввести и в других областях измерений: гидрологических, океанологических и др. Для успешного применения автоматических измерительных систем необходимо их соответствующее метрологическое обслуживание лабораториями поверки гидрометеорологических приборов, расположенных в территориальных управлениях гидрометслужбы.

В процессе эксплуатации должна производиться проверка исправности и периодическая поверка станций. Обычно эти работы выполняются в сроки, установленные инструкцией по поверке, а также в связи с ремонтом, регулировкой или заменой преобразователей и отдельных блоков. В качестве технических средств могут применяться специальные подвижные поверочные

лаборатории, оборудованные поверочными стендами, приспособлениями и инспекторскими образцовыми средствами измерения [36].

Поверка измерительных систем и приборов непосредственно на месте их эксплуатации с помощью поверочных лабораторий является наиболее прогрессивным способом обеспечения единства и правильности измерений. Для сложных измерительных систем, которые нецелесообразно демонтировать и подвергать транспортировке в поверочный орган, этот способ может оказаться единственно приемлемым. Преимущества такого способа поверки дают большой экономический эффект и повышают надежность измерений, так как при этом исключается возможность изменения технических характеристик поверяемых приборов из-за различия условий эксплуатации и поверки и во время транспортировки. Однако для его осуществления необходимо предусматривать портативные поверочные устройства и специальные средства их транспортировки (вертолет, автомашина и др.).

Имеющийся опыт разработки и применения подвижных поверочных лабораторий [36], [38] подтверждает возможность организации поверки автоматических станций непосредственно на месте эксплуатации.

Поверка автоматических станций проводится по единой методике и инструкциям, разработанным Гидрометслужбой СССР. Проведению поверочных работ должно предшествовать ознакомление с эксплуатационной технической документацией, тщательное изучение особенностей конструкции станций, принципа работы и взаимодействия всех ее элементов, а также анализ основных технических характеристик и погрешностей измерения гидрометеорологических параметров.

При выполнении поверки необходимо использовать следующую эксплуатационно-техническую документацию:

1) технические описания и инструкции по эксплуатации УАТГМС (устройства автоматики и регистрации, преобразователи), КРАМС (центральное устройство, преобразователи) и АРМС (блок автоматики, преобразователи);

2) технические условия на УАТГМС, КРАМС и АРМС;

3) инструкции по поверке устройства автоматики и регистрации УАТГМС, преобразователей УАТГМС, центрального устройства КРАМС, преобразователей КРАМС и АРМС.

11.2. Принцип действия, основные характеристики, функциональная схема

Автоматическая метеорологическая станция УАТГМС предназначена для оснащения сети станций Гидрометслужбы СССР, выдающих оперативную информацию. В состав УАТГМС

входит стойка автоматики 3 (рис. 83), измерительные преобразователи с соединительными кабелями, первичные электрические часы и телеграфный аппарат 5 для выдачи информации. Автоматическое устройство ведет счет времени (минуты, часы и дату — номер дня в году), обеспечивает питание и управление преобразователями в соответствии с заложенной в нем программой работы, выполняет предварительную



Рис. 83. Стойка автоматики УАТГМС-4.

обработку результатов измерений, кодирует выдаваемую информацию и формирует телеграммы, посылаемые в канал связи, а также обеспечивает регистрацию измеряемых параметров на лентах самописцев 1, 2. Преобразователи обеспечивают сбор и преобразование гидрометеорологической информации в электрические величины, которые вводятся в устройство автоматики и регистрации (УАР) в виде последовательностей импульсов, электрического напряжения или сопротивления. Необходимая коммутация, измерение и преобразование входных параметров в целях получения значений измеряемых величин осуществляется посредством специальных электронных устройств, измери-

тельных мостов и логических схем. Метеорологическая информация УАР выдается на рулонную ленту и перфоленту телетайпа, на табло пульта оператора и в каналы связи. УАР обеспечивает работу станции в следующих режимах: автоматическая выдача данных через 30 мин, 1, 2 или 3 часа (синоптическая информация); режим слежения с выдачей штормовой информации; контрольный режим, при котором проверяется нормальное функционирование УАР; получение информации по вызовам.

Перечень измеряемых метеорологических величин и метрологические характеристики измерительных каналов УАР приведены в табл. 42.

Таблица 42

Метрологические характеристики измерительных каналов УАР

Метеорологическая величина	Масштаб	Диапазон измерения	Погрешность измерения
Метеорологическая дальность видимости	10 м	200—800 м 820—1600 „ 1640—2240 „ 2320—3520 „ 3680—6800 „	± 10 м ± 20 „ ± 40 „ ± 80 „ ± 160 „
Высота нижней границы облаков	10 м	30—1000 „	± 5 „
Скорость ветра текущая	1 м/с	1—60 м/с	$\pm (1+0,03v)$ м/с
Скорость ветра средняя за 10 мин	1 м/с	1—40 „	$\pm (0,5+0,15v)$ „
Скорость ветра максимальная	1 м/с	3—60 „	$\pm (1+0,03v)$ „
Направление ветра	10°	$0-360^\circ$	$\pm 10^\circ$
Гололедные отложения	1 г	$0-1200$ г	± 5 г
Атмосферное давление	0,1 мбар	680—1070 мбар	$\pm 0,2$ мбар
Температура точки росы	$0,1^\circ \text{C}$	в пределах 100 мбар от -43 до $+35^\circ \text{C}$ от -60 до $+50^\circ \text{C}$	$\pm 0,4^\circ \text{C}$
Температура воздуха срочная	$0,1^\circ \text{C}$	от -60 до $+50^\circ \text{C}$	$\pm 0,2^\circ \text{C}$
Температура почвы на глубинах 5, 10, 15, 20, 40, 80, 120, 160 и 320 см	$0,1^\circ \text{C}$	от -50 до $+50^\circ \text{C}$	$\pm 0,2^\circ \text{C}$
Наличие солнечного сияния	—	—	—
Продолжительность солнечного сияния	1 мин	0—180 мин	± 2 мин
Жидкие осадки	0,1 мм	0,5—50 мм	$\pm 0,5$ мм

Конструкция станции типа УАТГМС в настоящее время совершенствуется. На рис. 83 представлена модификация, которая теперь используется для учебных целей, модернизированная станция (УАТГМС-4М) приведена на рис. 86—89.

Функциональное взаимодействие основных систем учебной станции представлено на рис. 84. Электрические сигналы

с преобразователей параметров ветра (ППВ), солнечного сияния (ПСС), жидких осадков (ПЖО), дальности видимости (ПДВ), высоты облаков (ПВО), атмосферного давления (ПАД), температуры воздуха (ПТВ) и почвы (ПТП), влажности воздуха (ПВВ), обледенения (ПОБ), уровня воды (ПУВ) и температуры воды (ПТВ) через соединительную коробку КС попадают на плату стойки автоматики (САП), с которой они поступают в систему измерительных мостов (СИМШ и СИМО). Здесь происходит дальнейшая переработка гидрометеорологической

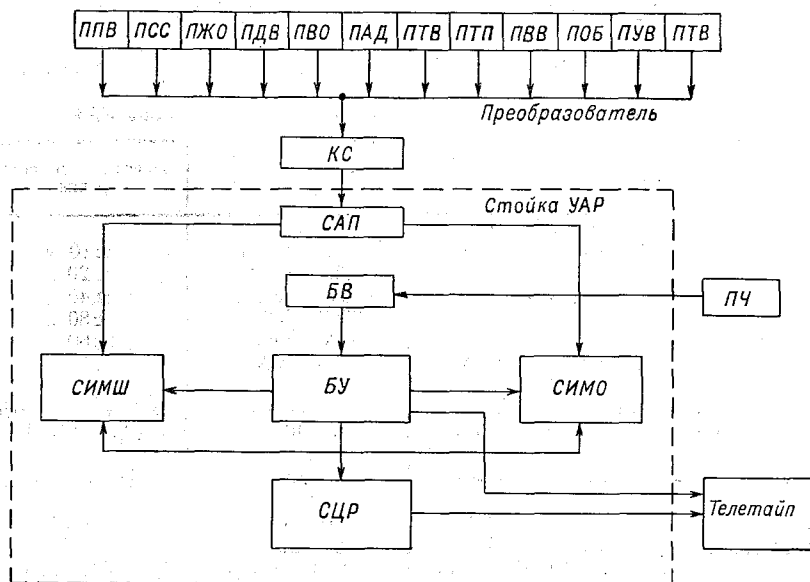


Рис. 84. Схема станции УАТМС-4.

информации — измерение, преобразование в импульсы и запоминание. Затем информация в виде электрических импульсов с СИМШ и СИМО поступает в систему цифровой регистрации (СЦР) с последующей выдачей значений метеорологических величин на телетайп. Выработка команд на управление всеми элементами и узлами станции осуществляется блоком управления (БУ). Выдача информации на печать в заданное время производится по сигналу с блока времени (БВ), связанного с первичными часами (ПЧ).

Органы управления станцией размещаются на пульте управления (рис. 85) или непосредственно на отдельных блоках. В левой части пульта управления расположено световое табло («время») 1 текущего времени, выраженного днями года и часами суток. Под световым индикатором времени размещены слева направо тумблер 20 переключения на високосный год,

переключатель («программа») 19 сроков выдачи информации (через 1, 2 или 3 часа), кнопка «коррекция» 18, переключатель «коррекция времени» 17, кнопка 16, позволяющая осуществить первичную установку цифр на световом табло с помощью переключателя 17, и тумблер «время» 15, предназначенный для включения светового табло.

На средней части пульта управления сверху размещены сигнальные лампочки 2, 3, 4 и 5, указывающие на характер работы станции. Под ними слева направо установлены тумблер «режим» (метео или шторм) 14, тумблер «ручной ввод» 13, кнопки 12 и 11 для вызова режима «шторм» или «метео», кнопки 10 и 9 настройки блока управления БУ.

В правой части пульта управления установлены измерительный прибор 6 и переключатель «питание» 7. Переключателем поочередно подключаются к вольтметру контролируемые питающие стабилизированные напряжения 6, 12, 20, 27 и 36 В. Справа на пульте управления установлен тумблер «сеть» 8, служащий для включения и выключения станции.

Станция выдает информацию в виде телеграмм двух видов «метео» и «шторм». Телеграммы «метео» поступают в сроки наблюдений и по вызову, телеграммы «шторм» — в случае превышения параметров текущей скорости ветра, дальности видимости, высоты облаков или количества гололедных отложений от их критических значений, а также по вызову.

Конструктивное размещение и функциональное взаимодействие основных систем модернизированной станции представлено на рис. 86 и 88. Как видно из рис. 86, сигналы

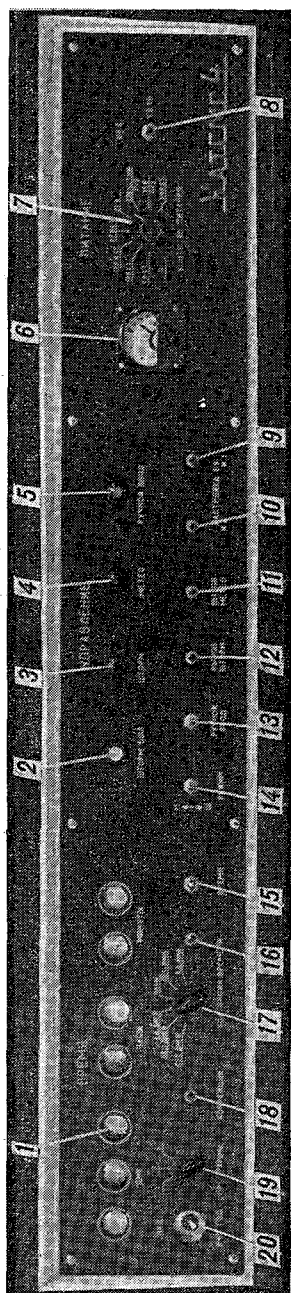


Рис. 85. Пульт управления станцией.

с преобразователей, подключаемых к устройству автоматики и регистрации УАР через соединительную коробку КС-4, поступают на измерительные устройства, размещенные в стойках С4 и С5. Работа этих устройств и подключение преобразователей определяется системой управления станцией, расположенной в стойке С5 и связанной с пультом оператора. Стойка автоматики С4 содержит измерительные и осредняющие устройства (1—7) по каналам параметров ветра, высоты облаков, дальности видимости, гололедных отложений, жидких осадков и солнечного сияния, вспомогательное устройство, обеспечивающее

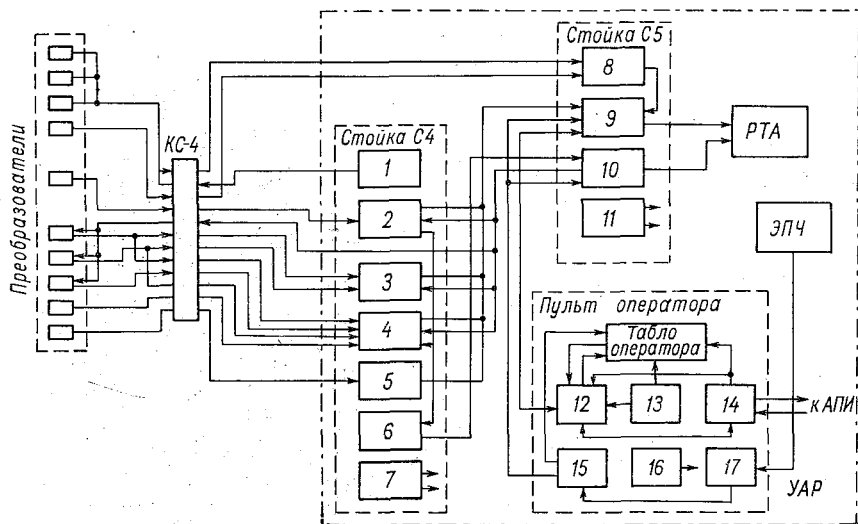


Рис. 86. Блок-схема модернизированной станции УАТГМС-4М.

работу преобразователей температуры, влажности и атмосферного давления, а также устройство формирования сигналов штормового оповещения.

Стойка автоматики С5 конструктивно не отличается от стойки С4. Она содержит измерительные устройства (8—11) аналоговых величин: температура воздуха, почвы, точка росы и атмосферное давление, устройство управления станцией и блоки питания. Кроме того, в стойке С5 размещено устройство регистрации и печати, на которое поступают результаты измерения, а также команды с системы управления и пульта управления оператора. Информация с устройства регистрации и печати и команды системы управления станцией поступают на рулонный телеграфный аппарат РТА.

В пульте оператора ПО размещается блок времени, связанный с панелью управления, а через нее с системой управления станцией в стойке С5. Сигналы на блок времени поступают

с электронных первичных часов ЭПЧ. Табло оператора посредством блока преобразования кодов и устройства записи и считывания позволяет регистрировать текущую информацию для ее передачи в линию связи и для служебного использования. Пульт ручного ввода предназначен для ввода в память (в устройство записи и считывания) информации о метеорологических явлениях, не измеряемых станцией, а также для ввода поправок в информацию, выдаваемую станцией в линию связи. С устройства записи и считывания информация поступает на цифровое табло оператора и в линию связи через аппаратуру передачи информации (АПИ).

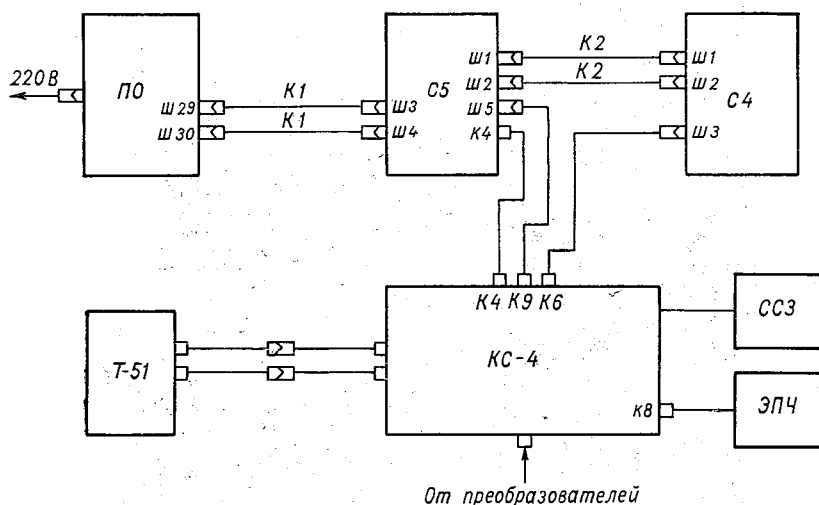


Рис. 87. Схема электрических соединений конструктивных элементов УАТГМС-4М.

Пульт оператора обеспечивает включение УАР и ручное управление станцией, регистрацию и оперативное хранение значений метеорологических величин, их индикацию на табло, а также формирование и выдачу телеграмм в линию связи (блоки 12—17).

Пульт оператора осуществляет также отсчет и индикацию на табло текущего времени, его преобразование в двоично-десятичный код. Конструктивно он имеет вид стойки, в основании которой размещены источники питания —27 и —36 В. Верхняя часть стойки представляет собой откидное табло, за которым расположены блоки записи, считывания и времени. На средней и выступающей частях стойки размещены органы управления станцией и клавиатура ручного ввода.

Схема соединения между собой всех элементов УАР представлена на рис. 87. Обозначение кабелей соответствует

эксплуатационной документации. Общий вид станции представлен на рис. 88, на котором не показаны первичные часы, телетайп, соединительная коробка КС-4 и стойка автоматики С4.

Основные органы управления станцией расположены на пульте оператора. Панель управления этого пульта изображена на рис. 89.

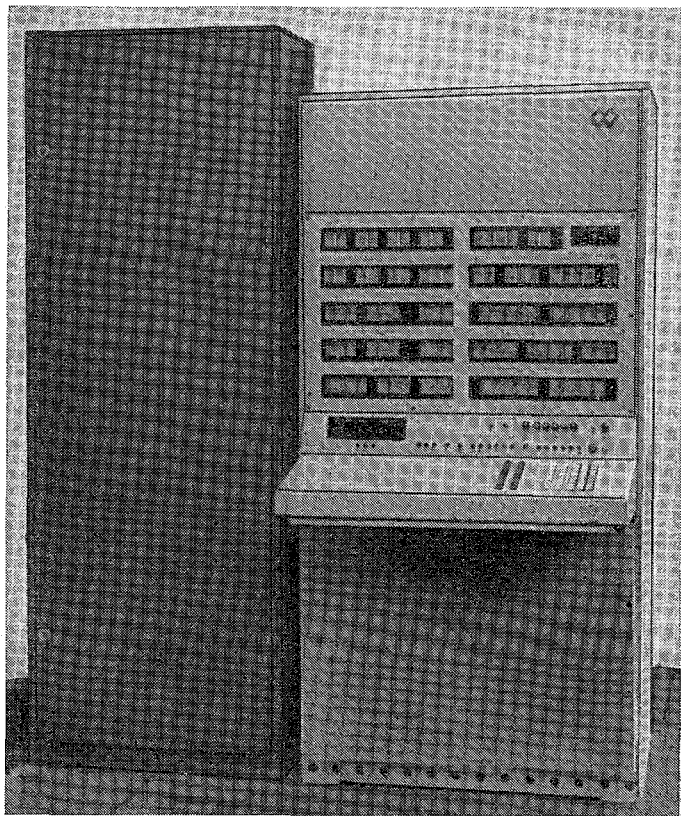


Рис. 88. Внешний вид УАР станции УАТГМС-4М.

В левой стороне панели расположены цифровые индикаторные лампы «время» 1, включаемые и выключаемые находящимися под ними кнопками «индикация» 2. Кнопки «коррекция текущего времени» служат для установки времени перед пуском станции и для его корректировки в процессе работы УАР. Тумблер «съем информации» 3 предназначен для установки режима съема, расположенная рядом кнопка 4 — для вызова информации при ручном режиме. Кнопки «ручная установка режимов» и находящиеся над ними сигнальные лампочки позволяют осу-

ществлять вызов синоптической и штормовой информации, а также текущий и общий контроль работы УАР. Тумблер 8 предназначен для включения табло оператора, тумблер 10 «станция» — для включения пульта оператора, индикатором которого является сигнальная лампочка 9.

На панели управления расположены также клавиши «разрешение» 5, нажатие на любую из которых (кроме последней) формирует разрешение ручного ввода соответствующих групп параметров, используя для этого наборное поле 7. Сброс вводимых величин осуществляется посредством клавиш «сброс» 6.

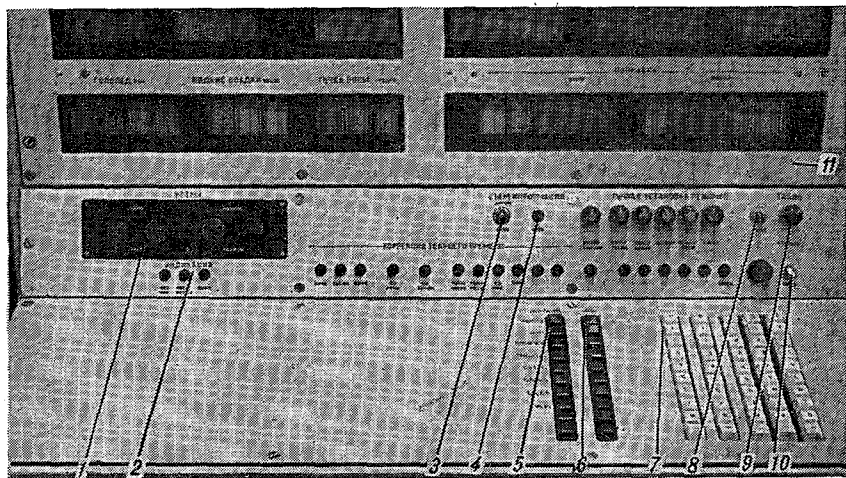


Рис. 89. Внешний вид панели управления и табло пульта оператора.

Вспомогательные органы управления станцией, большинство из которых используется лишь в процессе наладки и проверки работы узлов УАР, размещены в пульте оператора и в стойках (см. рис. 88, 89).

Формы выдачи информации. Станция выдает информацию на табло оператора, регистрирует ее на рулонную ленту и перфоленту телетайпа, а также передает на линию связи с помощью аппаратуры передачи информации (АПИ), или по вызову с панели управления на телетайп. В зависимости от значений измеряемых величин опасных явлений объем и сроки выдачи информации могут быть трех категорий: синоптическая, штормовая, контрольная.

При значениях метеорологических величин, не превышающих критические, информация регистрируется на телетайпе в соответствии с заданной частотой (через 1, 2 или 3 часа), причем ее объем и форма выдачи на телетайп должны соответствовать образцу, приведенному на рис. 90, 1 (синоптическая

1

№ ст	Кат.	д м	ч м	Видим.	Выс. обл.	Скор. тек.	Напр.	Голод.	Ур. воды	Скор. ср.	Напр. ср.	Выс. обл. ср.	Выс. обл. мин.	Видим. ср.	Видим. мин.
00005	01008		1243	384	000	06ЮЮ	0000	ЮЮЮЮ	0504	000	000	000	000	384	384
5	син.	10 авг.	12 ч 43 мин	3840 м	отс.	6 м/с	—	нет	—	5 м/с	40°	отс.	отс.	3840 м	3840 м

Темп. шуги	Давл.	Точка росы	Темп. ср.	Температура почвы											
+ЮЮЮ	9860	779	150	+149	+149	+042	+078	+589	+150	+095	+098	+098	+098	+098	+098
—	986,0 мб	-27,9° С	15,0° С	14,9	14,9	4,2	7,8	56,9	15,0	9,5	9,8	9,8	9,8	9,8	-17,2° С

Темп. мин.	Темп. макс.	Солн. сиян.	Прод.	Осадки	Ср. скор. макс.
—ЮЮЮ +ЮЮЮ 1014 025 08					
—	—	есть	14 мин	25 мм	6 м/с

2

№ ст.	Кат.	д м	ч м	Видим.	Выс. обл.	Скор. тек.	Напр.	Голод.	Ур.
00005	21008		1254	384	000	42ЮЮ	0000	ЮЮЮЮ	ЮЮЮЮ
5	шторм	10 авг.	12 ч 54 мин	3840 мин	отс.	42 м/с	—	отс.	—

Рис. 90

Нач. телегр.	Кат.	№ ст.	д м	ч м	Скор. тек.	Напр.	Видим.	Выс. обл.	Служ.	Голод.	Видим. ср.	Выс. обл. ср.
(((	0	00005	1008	1243	06//		380	000	80000		380	000
	син.	5	10 авг.	12 ч 43 мин	6 м/с	—	3800 м	отс.	8	нет	3800 м	отс

Видим. мин.	Выс. обл. мин.	Скор. макс.	Осадки	Солн. сиян.	Давл.
380	000	05025	19860		
3800 м	отс.	6 м/с	25 мм	есть	986,0 мб

Темп. ср.	Напр. ср.	Скор. ср.	Точка росы	Ручной ввод				Кон. телегр.
15004		05779	88888	88888	88888	78888	28888	88)))
150° С	40°	5 м/с	-27,9	Ручной ввод не сделан				

Нач. телегр.	Кат.	№ ст.	д м	ч м	Скор. тек.	Напр.	Видим.	Выс. обл.	Служ.	Голод.	Кон. телегр.
(((	2	00005	1008	1254	42//	380	000	80000	)))		
	шторм	5	10 авг.	12 ч 54 мин	42 м/с	—	3800 м	отс	8	нет	

Рис. 90. Форма выдачи синоптической и штормовой информации.

информация). При выдаче значений температуры воздуха в сроки и температуры точки росы ниже 0°C к числу градусов прибавляется «50». Температура минус 50°C и ниже передается как положительная без прибавлений.

При значениях опасных явлений, соответствующих критическим, информация на телетайпе регистрируется сразу по достижении каждым из опасных явлений любого штормового порога.

Телеграммы, выдаваемые в линию связи (штормовая 4 и синоптическая 3, рис. 90), по содержанию соответствуют информации, поступающей на табло оператора в сроки наблюдений и при наличии штормовой ситуации, а также при вызове синоптической 1 или штормовой 2 информации.

В УАР предусмотрена возможность контроля его работы посредством регистрации на телетайпе контрольных данных. Объем, форма и содержание получаемой на рулонной ленте телетайпа информации для нормально работающего УАР представлена на рис. 91.

Отсутствие параметра в информации, выдаваемой на РТА, обозначается буквами «Ю», а в телеграммах знаками «//».

Одновременно с регистрацией на рулонной ленте информация может быть зарегистрирована и на перфоленте телетайпа.

Вызов информации осуществляется двумя способами:

1) автоматически: а) по сигналам блока времени заранее заданной периодичности с интервалами 1, 2 или 3 часа (синоптическая — категория 0); б) при превышениях любым из штормовых метеорологических параметров критических величин (шторм — категория 2);

2) оператором непосредственно с ПО УАР: а) текущей (синоптическая) или штормовой (шторм) информации (категории 0 или 2); б) информации, используемой для текущего или общего контроля работы станции (контрольная — категория 3).

Вызов оператором текущей информации, в том числе синоптической, можно осуществлять с 10-минутным подготовительным периодом или без него.

При вызове с 10-минутным подготовительным периодом спустя не менее трех минут после выдачи предшествующей информации и по прошествии очередного одноминутного импульса нажимают кнопку «синоп», а затем кнопку «вызов станции» ручной установки режимов на панели управления пульта оператора. Спустя не более 11 мин должен включиться телетайп, на котором регистрируется запрашиваемая информация. Синоптическая информация при этом поступает на табло оператора.

При вызове без 10-минутного подготовительного периода необходимо нажать кнопку «шторм» на панели управления ПО. После того как включится телетайп, надо немедленно нажать кнопку «выкл.» ручной установки режимов на панели управления ПО. В этом случае будет выдана текущая информация без средних значений и с категорией сообщения 1.

№ ст.	Кат.	д м	ч м	Видим.	Выс. обл.	Скор. тек.	Напр.	Голод.	Ур. воды	Скор. ср.	Напр. ср.	Выс. обл. ср.	Выс. обл. ср.	Видим. ср.	Видим. мин
00005	31008		1218	020	000	00ЮЮЮ	00	000	ЮЮЮЮЮ	00	00	000	000	024	024
5	Контр. 10 авг.	12 ч 18 мин	200 м	отс.	отс.	—	нет	—	—	нет	нет	отс.	отс.	240 м	240 м

Темп. шуги	Давл.	Точка росы	Темп. ср.	Температура почвы					
+ЮЮЮ	9400	523	523	-023	-023	-023	-023	-023	-023
—	940,0 мб	-2,3° C	-2,3° C	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3° C

Темп. мин.	Темп. макс.	Соя. снят.	Продолж.	Осадки	Ср. скор. макс.
—	—	нет	00 мин	нет	отс.
— ЮЮЮ + ЮЮЮЮ 0000 000 00					00
Контроль текущий					Контроль общий

Рис. 91. Форма выдачи контрольной информации.

При вызове штормовой информации нажимают кнопку «шторм», после чего включается телетайп.

Вызов контрольной информации (текущей или общей) может быть осуществлен при отсутствии режимов 10-минутной подготовки, шторма или непрерывного слежения после окончания шторма. Для ее вызова необходимо тумблер «контроль» на блоке стойки С5 установить в положение «включ.» (верхнее), после чего, дождавшись минутного импульса, нажать на пульте оператора кнопку «контроль текущий» или «контроль общий», а затем кнопку «вызов станции». Спустя не более одной минуты на ленте телетайпа должна быть отпечатана соответствующая контрольная информация (см. рис. 91).

11.3. Проверка блока автоматики

Поверочное оборудование и контрольно-измерительные приборы. Для проверки УАР УАТГМС применяются специальные имитаторы преобразователей и стандартные контрольно-измерительные приборы.

Имитаторы представляют собой устройства, позволяющие воспроизводить выходные параметры метеорологических преобразователей и подавать их в необходимой последовательности на вход центрального устройства станции. Одна из возможных схем имитатора для УАТГМС приведена на рис. 92 и 93.

В состав имитатора УАТГМС входят имитаторы преобразователей метеорологической дальности видимости, гололеда, жидких осадков, солнечного сияния, атмосферного давления, температур и ветра. Имитаторы комплектуются необходимой технической документацией и паспортом, в котором указываются требуемые номинальные значения, диапазон и точность задаваемых параметров.

Имитатор преобразователя метеорологической дальности видимости (ИМДВ, рис. 92) состоит из мультивибратора, собранного на транзисторах ПП1, ПП2, с помощью которого можно задавать электроимпульсы определенной частоты, длительности и амплитуды. Количество электрических импульсов запоминается счетчиком импульсов, собранным на восьми триггерных модулях от МЗ-3 до МЗ-10. Задание количества импульсов осуществляется тумблерами В5—В12, с помощью которых можно перебрасывать триггеры, изменяя тем самым количество импульсов, запоминаемых в счетчике. Тумблеры позволяют набирать любое число импульсов от 0 до 255, что обеспечивает воспроизведение метеорологической дальности видимости в пределах от 200 м до верхней ее границы.

Имитатор преобразователя гололедно-изморозевых отложений ИГ представляет собой 7 проволочных резисторов R19—R25, включаемых по схеме потенциометра, и галетный переключатель.

тель *B16*. Переключением резисторов можно имитировать значения гололедно-изморозевых отложений 0, 40, 200, 300, 600, 1200 г/м. Для контроля подачи напряжения с контакта преобразователя в пульте имитатора установлена лампочка «опрос гололеда» *Л8*. Для имитации работы преобразователя жидких осадков (*ИЖО*) служит кнопка *Кн-1*, с помощью которой можно задать от 0 до 50 импульсов, что соответствует количеству жидких осадков в пределах 0—25 мм.

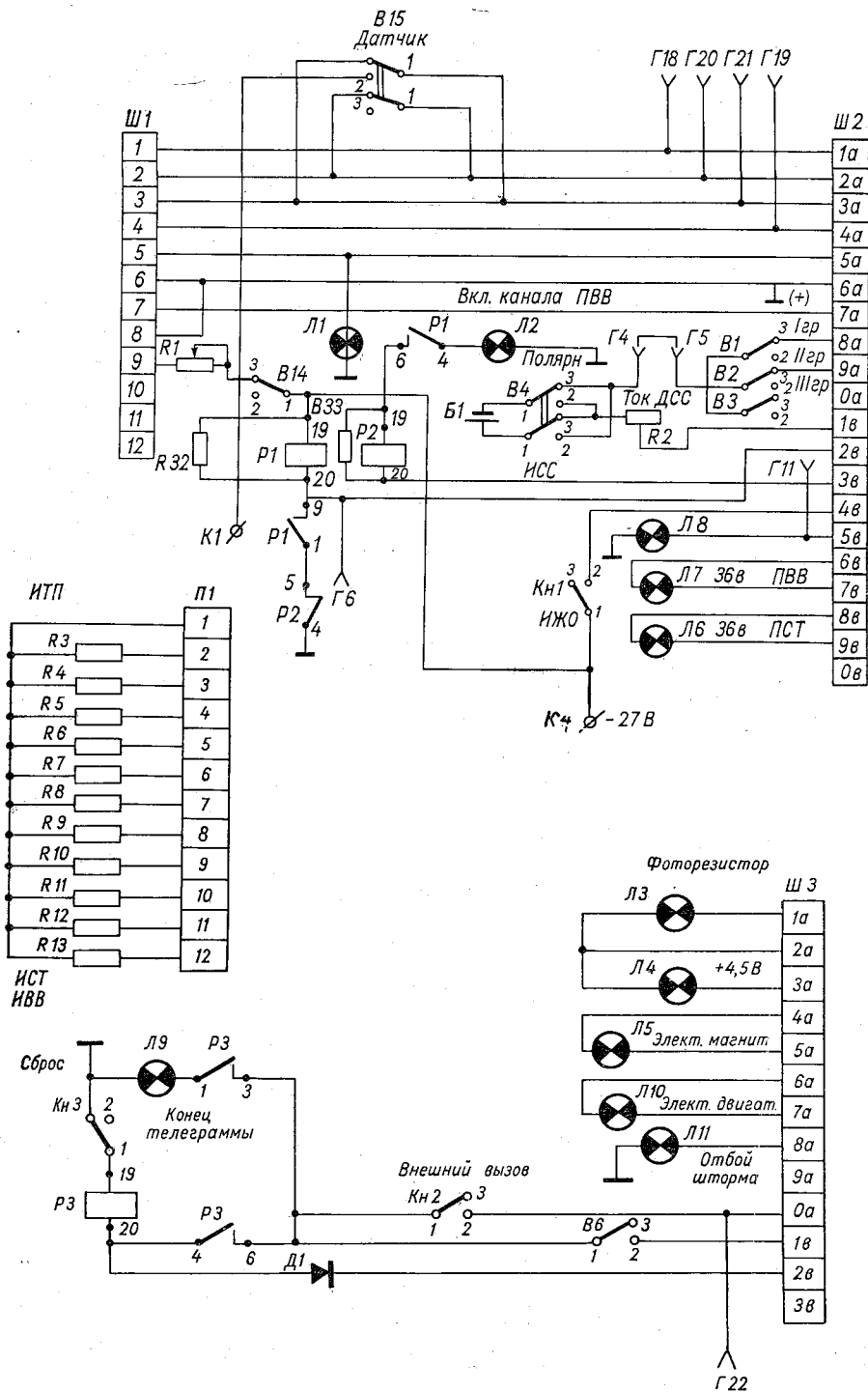
Работа преобразователя *солнечного сияния* имитируется устройством, состоящим из батареи *B1*, тумблеров *B1—B4* и потенциометра *R2* (*ИСС*). Тумблерами *B1* и *B4* включается цепь подачи электрического сигнала на вход станции: контакт 8А разъема *Ш2*, контакты 3—1 тумблера *B1*, гнезда *Г5—Г4* с перемычкой, контакты 3—1 тумблера *B4*; минус батареи — плюс батареи, контакты 1—3 второй половины тумблера *B4*, потенциометр *R2*, контакт 1в разъема *Ш2*. Аналогичные цепи образуются при включении тумблеров *B2* и *B3*. При переключении тумблера *B4* полярность сигнала меняется.

Имитация *атмосферного давления* осуществляется электрической схемой (*ИАД*), состоящей из набора проволочных резисторов *R14—R18* и переключателя *B17*, представляющих собой делитель напряжения. Меняя переключателем *B17* отношения его плеч, можно имитировать значения атмосферного давления в пределах $P_0 \pm \Delta P$, где $\Delta P = \pm 50$ мб. Для контроля питающих напряжений служат сигнальные лампочки «контроль питания фоторезисторов» *Л3*, «контроль напряжения +4,5 В» *Л4*, «контроль питания электромагнита» *Л5* и «контроль питания электродвигателя» *Л10*. Все лампочки установлены на лицевой панели имитатора преобразователей.

Имитация выходного параметра преобразователя *срочной температуры воздуха* (*ИСТ*) осуществляется проволочным резистором *R12*. Для контроля включения напряжения 36 В 400 Гц в цепи преобразователя срочной температуры воздуха в пульте имитатора установлена лампочка *Л6*.

Имитатор преобразователей *температуры почвы* (*ИТП*) на всех глубинах представляет собой набор прецезионных проволочных резисторов *R3—R11*.

Для имитации выходного параметра преобразователя *влажности* (*ИВВ*) служит проволочный резистор *R13* сопротивлением $536,82 \text{ Ом} \pm 0,05\%$. Контроль режима работы клапанов преобразователя влажности воздуха имитирует реле *P1*. При срабатывании реле *P1* запитывается лампочка *Л2* через контакты 6 и 4 этого реле. Через контакты 7 и 9 реле *P1* и нормально замкнутые контакты 4 и 5 реле *P2* реле *P1* становится на самоблокировку. В момент прихода команды о выключении канала преобразователя влажности срабатывает реле *P2*, снимая самоблокировку с реле *P1*, в этот момент лампочка *Л2*



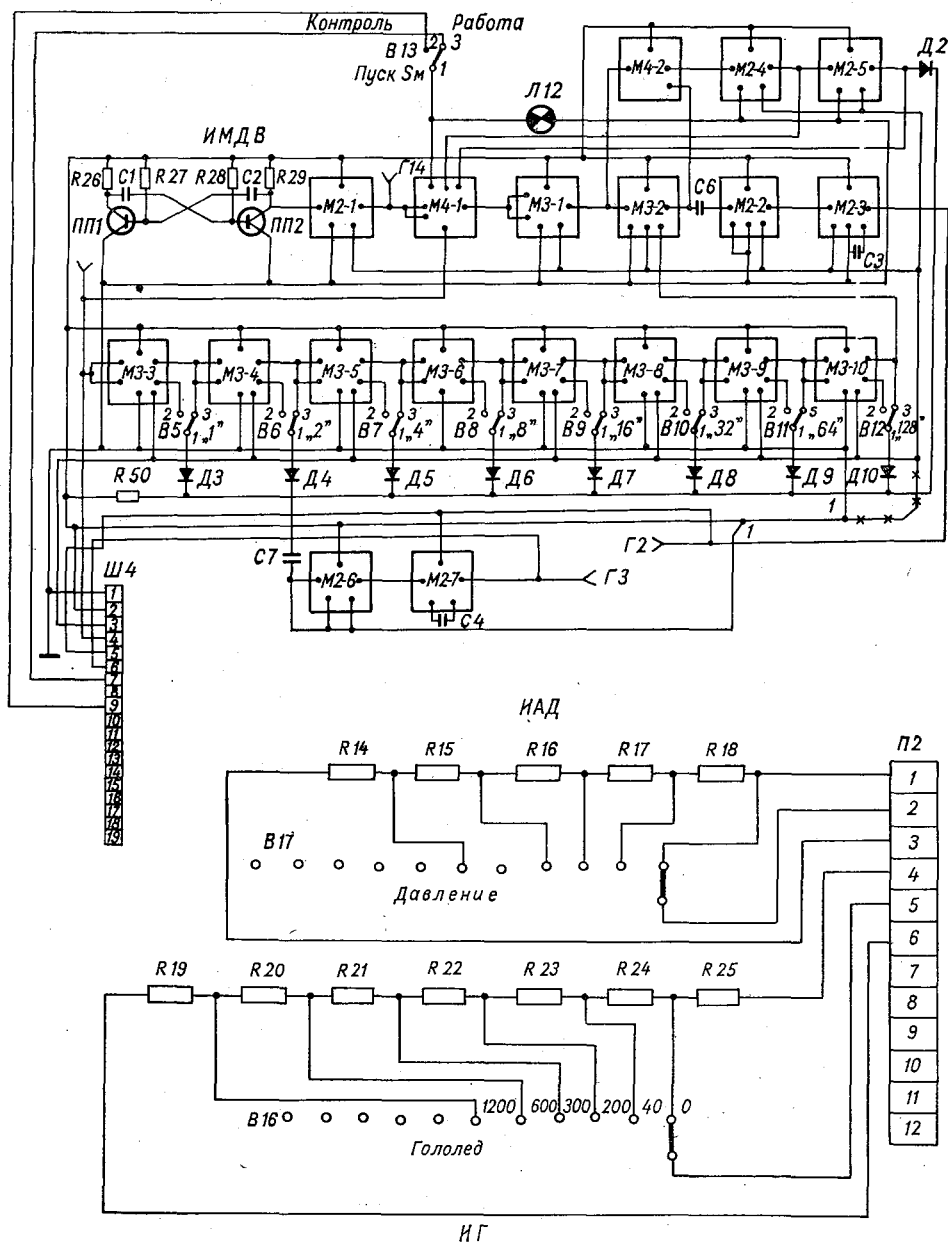


Рис. 92. Схема имитатора преобразователей УАТГМС.

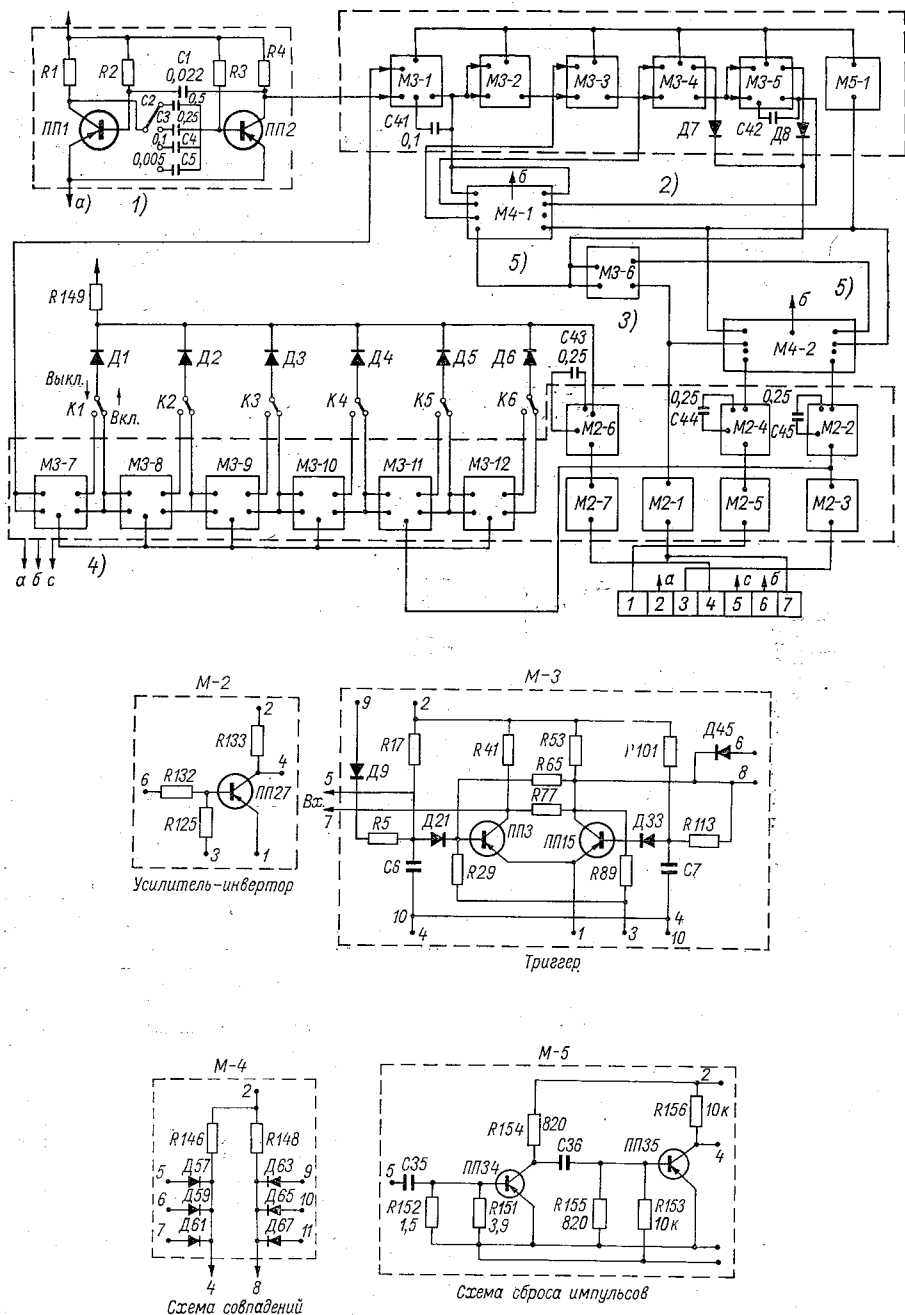


Рис. 93. Схема имитатора преобразователя параметров ветра.

гаснет. Контроль наличия напряжения питания 36 В 400 Гц осуществляется по загоранию лампочки Л7.

Имитатор *величин ветра* (см. рис. 93) позволяет воспроизводить выходные сигналы преобразователя ветра станции. Он состоит из задающего генератора 1, делителя частоты импульсов 2, фазодвигающего триггера 3, счетчика импульсов 4 и программного устройства, в которое входят схемы совпадений 5 и переключатели $K_1—K_6$.

Имитатор работает следующим образом. Импульсы с выхода задающего генератора, собранного по схеме симметричного мультивибратора, поступают на вход делителя частоты и одновременно на счетчик импульсов, состоящий из триггеров МЗ-7—МЗ-12. Частота следования импульсов может изменяться с помощью переключателей K , что позволяет задавать различные имитируемые значения скорости ветра. С делителя частоты импульсы поступают на фазосдвигающий триггер МЗ-6, на выходе которого формируются две последовательности импульсов одинаковой частоты, но сдвинутые между собой по фазе на 180° (основная и сдвинутая серии), а также импульсы безыкорного реле, служащие начальными при измерении направления ветра. Импульсы «основной» и «сдвинутой» серии с выхода схемы М4-2 усиливаются инверторами М2-2, М2-3 и М2-4, М2-5 и поступают на выходной разъем имитатора. В качестве «начального» импульса направления ветра используется импульс с выхода триггера МЗ-6, усиленный инвертором М2-1. «Опорный» импульс формируется с помощью счетчика импульсов и программного устройства. Программное устройство состоит из схемы совпадения 5 и переключателей $K_2—K_7$. С помощью переключателей можно выделять любой из серии импульсов, поступающих на данный счетчик, и тем самым задавать последовательности импульсов направления ветра, сдвинутые относительно опорных на величину, кратную 10° в пределах $0—360^\circ$. Сброс показаний счетчика осуществляется импульсом с выхода инвертора М2-2, т. е. первым основным импульсом.

Для проверки блока автоматики УАТГМС, кроме имитатора преобразователей, применяется следующая *контрольно-измерительная аппаратура*:

мегометры с испытательным напряжением 100 и 500 В для определения величины сопротивления изоляции электрически разобщенных цепей между собой и относительно корпуса;

магазины сопротивлений (2 штуки) класса 0,02 (например, Р-326 или МСР-60М) для проверки каналов температуры воздуха и почвы, точки росы и атмосферного давления;

генератор парных импульсов типа Г5-26 с погрешностью установки частоты следования импульсов не более $\pm 5\%$ для проверки канала скорости ветра;

электронный осциллограф типа С1-19 для контроля выходных параметров имитатора;

миллиамперметр постоянного тока класса 0,5 с пределом измерения до 10 мА для проверки канала солнечного сияния; ампервольтметр типа АВО-5М для контроля режима питания УАР и имитатора;

замыкатели, а также кнопка малогабаритная типа КМ1-1 для проведения прочих работ, связанных с поверкой и определением работоспособности (замыкатели предназначены для обеспечения функционирования каналов дальности видимости и высоты облаков без подключения соответствующих преобразователей или имитатора и представляют собой кабельные части разъемов типа РП14-30, гнезда которых соединены между собой в соответствии со схемой измерения);

секундомер для проверки времени работы устройства;

накальная батарея напряжением 3 В для проверки канала солнечного сияния.

Внешний осмотр и проверка работоспособности. При внешнем осмотре устройство автоматики станции должно удовлетворять требованиям, указанным в инструкции по эксплуатации — комплектность, маркировка узлов и блоков, надежность соединений и отсутствие повреждений.

Проверка работоспособности центрального устройства осуществляется совместно с первичными часами и с телетайпом. Она включает в себя определение величины сопротивления изоляции, пробное включение станции, проверку наличия необходимых для работы напряжений, проверку работы органов управления станцией и правильность выдачи метеорологической информации на телетайп.

Кроме того, проверяется работа измерительных каналов станции, а также возможность осуществления ручного ввода информации.

В станциях с цифровым табло проверяется работа индикатора кодовых параметров. Проверка работоспособности станции может быть выполнена в ходе поверки станции с применением имитаторов. Имитаторы подключаются к центральному устройству ЦУ в соответствии со схемой, приведенной в описании станции.

До установления работоспособности ЦУ необходимо определить величину сопротивления изоляции его отдельных блоков. Определение величины сопротивления изоляции электрически разобренных цепей производится мегомметрами с испытательными напряжениями 100 и 500 В при отключенных кабелях питания.

Перед проверкой работоспособности станции проводятся необходимые подготовительные операции по приведению ее в рабочее положение, подключению вспомогательных элементов в схему соединений блоков (заглушек и т. п.) и начальной установке ручек на пульте управления в соответствии с указаниями инструкции по эксплуатации.

Проверку начинают с пробного включения станции, контроля питающих напряжений и правильности функционирования индикаторов и цифрового табло на пульте управления. Затем проверяют первичные часы станции ПЧ и рукояткой «коррекция времени» устанавливают день года и время суток на табло. После этого проверяют правильность выдачи метеорологических телеграмм в режиме «шторм» и «метео». Эта проверка может выполняться выборочно по одному какому-либо каналу или по всем каналам сразу. В первом случае на входе ЦУ для задания значений метеорологического параметра удобно использовать простейшую потенциометрическую схему (для преобразователей с резисторным выходом), во втором — подключают имитаторы. Работоспособность учебной станции, например, в режиме «метео» проверяется в следующем порядке.

Нажимают кнопку «вызов метео». При этом должна загореться сигнальная лампочка «метео». В этот момент необходимо включить секундомер. Спустя 10 мин телетайп должен отпечатать обозначение начала телеграммы, категорию сообщения, номер станции, день года и час суток. Последние должны совпадать с показаниями светового табло. Вслед за этим с интервалами 20 с телетайп должен отпечатать на рулонной бумаге группы знаков штормовых параметров, а затем группы знаков основных параметров и обозначение конца телеграммы, после чего телетайп выключается.

В этот момент секундомер останавливают. Продолжительность подготовки, измерения и регистрации одной телеграммы «метео» должна быть не более 17 мин.

Содержание принятой телеграммы «метео» должно соответствовать номинальным данным по имитатору преобразователей.

Допустимые отклонения метеорологических параметров, выдаваемых при проверке работоспособности, не должны превышать установленных допусков.

Для проверки возможности осуществления ручного ввода информации делают вызов телеграммы «метео» и включают тумблер «ручной ввод».

Пользуясь клавиатурой телетайпа, проверяют возможность регистрации любой информации, после чего тумблером «ручной ввод» выключают телетайп.

Определение работоспособности УАР УАТГМС-4М осуществляется проверкой функционирования органов управления и посредством вызова контрольной информации.

Перед проверкой работоспособности УАР необходимо убедиться в правильности соединения между собой его конструктивных узлов (рис. 87), а также в том, что тумблеры 8 и 10 (рис. 89) и все кнопки панели управления находятся в положении «выкл.», тумблер 3 — в положении «ручн.», тумблеры на блоках питания — в положении «включ.». Дверцы стоек С4 и С5 (рис. 87) должны быть закрыты, маятник часов запущен,

а телетайп подготовлен к работе (заправлены рулонная лента и перфолента). Преобразователи (имитаторы) могут быть не подключены.

Правильность функционирования органов управления станцией проверяется в следующем порядке.

Включают станцию в сеть тумблером 10 (рис. 89) — одновременно загораются сигнальные лампочки над тумблером и на блоках питания в стойках С4 и С5, включаются электрический двигатель телетайпа (на 1 мин) и первичные часы (определяется по движению их секундной стрелки).

Включают табло оператора тумблером 8 — на табло засветятся все цифры (восьмерки), а сигнальные лампочки погаснут.

Включают кнопки «часы» (индикация) — засветятся четыре цифровые индикаторные лампы и время, причем через каждые 60 с правая цифра должна увеличиваться на единицу. При включении кнопки «выкл.» — индикаторные лампы погаснут. При включении кнопки «число и месяц» — засветятся четыре цифровые индикаторные лампы.

Пользуясь кнопками «индикация», а также кнопками «коррекции текущего времени», устанавливают текущие дату и время, после чего индикатор выключают.

Включают кнопку «шторм». При этом должны одновременно загореться сигнальные лампочки «ручной установки режимов» и левого нижнего блока питания стойки С5, а также засветиться надпись «шторм» на табло. Затем включается телетайп и выдает штормовую информацию (рис. 90, 2). Кроме номера станции, категории (2), даты и времени, остальные цифры на табло будут нули. Выключают кнопку «шторм». При этом гаснут сигнальная лампочка «шторм» и надпись «шторм» на табло оператора. По окончании работы двигателя телетайпа гаснут и лампочки на блоке питания в стойке С5. Время от момента включения кнопки «шторм» до включения выдачи штормовой информации на телетайпе не должно превышать одной минуты. Включают тумблер «табло» — на табло оператора при этом должны быть высвечены цифры, отвечающие содержанию выданной на РТА штормовой информации.

Нажимают кнопку «пуск» («съем информации») — включается телетайп и выдает штормовую телеграмму, предназначенную для линии связи (рис. 90, 4).

Содержание этой телеграммы должно совпадать с данными, полученными ранее на РТА и на табло оператора.

Включают кнопку «синоп.», затем «вызов станции» — загораются сигнальные лампочки «ручная установка режима» и на левом нижнем блоке питания в стойке С4; спустя 10 мин после первого минутного импульса вслед за включением кнопок «синоп.» и «вызов станции» загорается сигнальная лампочка на левом нижнем блоке питания в стойке С5, включается телетайп и выдает информацию. Время полного цикла измерения

при выдаче на телетайп синоптической информации не должно превышать 13 мин. Включают тумблер «табло». При этом на табло оператора должны быть высвечены цифры, соответствующие выданной на РТА информации. Нажимают кнопку «пуск» («съем информации») — включается телетайп и выдается синоптическая телеграмма, предназначенная для линии связи (рис. 90, 4).

Содержание этой телеграммы должно совпадать с ранее полученными данными на РТА и на табло оператора.

Для проверки правильности функционирования ручного ввода выполняют следующие операции:

нажимают на клавишу «90909» разрешения, посредством наборного поля 7 ручного ввода набирают число 90909. Набранное число должно высветиться на соответствующем месте включенного табло оператора;

нажав на клавишу «ППППП разрешения», на наборном поле из чисел 1 2 3 4 5 набирают то число, которое должно появиться на табло оператора;

далее, нажимая последовательно на остальные шесть клавиш разрешения, набирают числа, соответствующие разрядам наборного поля: 2 3 4 5 6; 3 4 5 6 7; 4 5 6 7; 5 6 7 9; 6 7 9 «—» и 1 9,— убеждаясь по табло в правильности набора. Руководствуясь полученными данными, вызывают синоптическую телеграмму на РТА и проверяют ее последние восемь групп на соответствие данным рис. 90, 3 и набранным значениям ручного ввода.

Для проверки ручного включения телетайпа и выдачи данных на перфоленту при включенной станции нажимают на клавишу «лат» телетайпа, двигатель которого должен включиться, продвинув рулонную ленту на несколько перекатов вверх. После этого, нажав кнопку «⊙» на лицевой стороне телетайпа и пользуясь его клавиатурой, последовательно нажимают на клавиши «<<», «цифр.», «1», «2», ..., «0», «руч.», а также на все клавиши с буквами на верхней их части. Спустя около одной минуты после этого телетайп должен выключиться. На рулонной ленте телетайпа указанные цифры и буквы должны быть отпечатаны в одну строчку. На перфоленте эти цифры и буквы должны быть выбиты по коду.

Проверка работоспособности всех измерительных и регистрирующих устройств УАР осуществляется посредством вызова контрольной информации, как было показано выше.

Проверка с применением имитаторов и образцовых магазинов сопротивлений. Проверка УАТГМС с применением имитаторов имеет цель определить соответствие ее показаний станции установленным допускам, а также ее пригодность к дальнейшей эксплуатации.

Имитаторы подключаются к центральному устройству в соответствии со схемой, приведенной в описании станции.

С помощью ручек управления и тумблеров на имитаторах устанавливают значения метеорологических величин для заданных точек в диапазоне измерения и делают вызов метеорологической телеграммы. Отклонения значений метеорологических величин, полученных на ленте телетайпа, от соответствующих им значений по имитатору должны не превышать допусков, установленных инструкцией по поверке.

Значения метеорологических величин, задаваемых имитаторами, вычисляют по градуировочным данным преобразователей УАТГМС.

Поверка с применением образцовых магазинов сопротивления проводится с целью определения погрешности измерения центрального устройства станции по отдельным каналам, в которых входной параметр может имитироваться активным сопротивлением. Для УАТГМС-4 к таким каналам относятся каналы температуры воздуха, температуры почвы, атмосферного давления и влажности воздуха (точки росы). Поверку эту целесообразно производить после проверки работоспособности центрального устройства станции и одновременно с поверкой посредством имитаторов.

Для осуществления такой поверки необходимы магазины сопротивлений класса точности не ниже 0,02. Магазин подключают на вход соответствующего канала и устанавливают на нем необходимые значения сопротивлений. Сопротивления рассчитывают по градуировочным таблицам преобразователей. Они должны соответствовать значениям: для срочной температуры —50, 0 и +60° С; для атмосферного давления 990, 1040 и 940 мбар, для температуры точки росы —40, 0 и +35° С. Затем делают по три вызова метеорологической телеграммы на каждой поверяемой точке и данные записывают в журнал. Погрешность измерений по каждому поверяемому каналу определяют как разность между средним значением величины, полученной по телетайпу, и номинальным значением, установленным по образцовому магазину сопротивлений.

Результаты поверки УАР записывают в поверочное свидетельство, в котором указывают дату поверки и делают запись: «УАР годно» или «УАР негодно». В последнем случае указывают причину. При необходимости отмечают дефекты, установленные в ходе поверки. В конце записи поверитель ставит свою подпись, указывая должность и фамилию.

Поверенное к эксплуатации устройство автоматики и регистрации УАТГМС-4М может быть признано годным, если все поверяемые показатели будут соответствовать следующим допускам:

1. Время, затраченное на полный цикл подготовки, измерения и регистрации не должно превышать 13 мин для выдачи синоптической телеграммы и одной минуты для выдачи штормовой телеграммы.

2. Контрольная текущая информация при ее вызове на телетайп должна иметь вид

00000 3ДДММ tttt 020 000 0036 0000 $\pm$ ЮЮЮЮ 00 00 000 000
004 024 $\pm$ ЮЮЮЮ 8775 125 —375 375 —375 —375 —375 —375
—375 —375 —375 —375 —625 —625 0000 000 00 +000.

3. Значения текущей и средней скорости ветра при неизменной имитированной частоте импульсов должны быть равны между собой, а значения максимальной скорости могут превышать значения каждого из них не более чем на 1 м/с.

4. Любое из полученных значений текущей или максимальной скорости ветра должно отличаться от задаваемых скоростей не более чем на $\pm(1,0+0,03 v)$ м/с, а средней скорости — не более чем на $\pm(0,5+0,015 v)$ м/с.

5. Выдаваемое на телетайпе направление ветра должно отличаться от заданного не более чем на $\pm 10^\circ$.

6. Значения текущей, средней и минимальной дальности видимости при неизменной имитируемой величине должны быть равны между собой, или отличаться от нее не более чем на величину дискретности измерений.

7. Значения текущей и средней высоты нижней границы облаков должны быть равны между собой при неизменном имитируемом числе импульсов (высоте). Минимальная высота может быть меньше каждого из них не более чем на 5 м. Любое из полученных значений высоты нижней границы облаков должно отличаться от других полученных значений при постоянной имитируемой величине не более чем на 5 м.

8. Полученное на телетайпе значение длительности солнечного сияния может отличаться от заданного не более чем на 2 мин, а наличие солнечного сияния должно отмечаться при силе тока, превышающей 5 мА.

9. Сведения о количестве жидких осадков, отпечатанные на телетайпе, должны соответствовать их имитируемому количеству.

10. Полученные на рулонной ленте телетайпа значения по каналам параметров температуры точки росы, температуры воздуха и температуры почвы на любой глубине могут отличаться от температуры, имитированной магазинами сопротивлений с учетом градуировочных характеристик, не более чем на $0,2^\circ \text{C}$, причем расхождение между выдаваемыми температурами при неизменной заданной величине не должно превышать $0,1^\circ \text{C}$.

11. Полученные на рулонной ленте телетайпа значения по каналу атмосферного давления могут отличаться от атмосферного давления, имитированного магазинами сопротивления не более чем на 0,2 мбар, причем расхождение между выдаваемыми значениями атмосферного давления при неизменном заданном давлении не должно превышать 0,1 мбар.

11.4. Комплектная поверка автоматических метеорологических станций.

Правила по технике безопасности

При *комплектной поверке* определяется работоспособность и сохранность градуировочных характеристик станции в целом. Операции по проверке работоспособности выполняются по такой же методике, как и для отдельных преобразователей и приборов. Поверка сохранности градуировочных характеристик станции проводится путем сличения их показаний по отдельным измерительным каналам с показаниями образцовых приборов в выбранных точках диапазона измерений. В условиях поверки измерения выполняются многократно. На каждой контрольной точке должно быть получено не менее 10—15 отсчетов. Обработка результатов измерений производится по методике, изложенной в п. 2.5. По полученным данным вычисляются предельные погрешности измерения каждой метеорологической величины по формуле

$$\Delta_{\text{пр}} = \pm(2\sigma + \Delta_{\text{с}}),$$

где σ — средняя квадратическая погрешность измерения, $\Delta_{\text{с}}$ — систематическая погрешность измерений. Найденные величины $\Delta_{\text{пр}}$ не должны превышать соответствующих значений погрешностей измерения, указанных в паспорте станции.

Комплектная поверка автоматических станций должна проводиться в условиях, обеспечивающих необходимую точность поверки. Лучше всего это достигается применением подвижных поверочных лабораторий, снабженных специальным поверочным оборудованием. Следует отметить, что методика и средства поверки автоматических метеорологических станций непосредственно в условиях эксплуатации пока еще не отработаны. Для учебных целей могут быть рекомендованы средства поверки, указанные в табл. 43.

При выполнении поверочных работ автоматических метеорологических станций обязательно соблюдаются следующие *правила по технике безопасности*.

К работе по поверке станции допускаются поверители, тщательно изучившие «Правила по технике безопасности при поверке и ремонте гидрометеорологических приборов и установок», 1971 г. Поверка выполняется двумя поверителями одновременно.

При этом категорически запрещается включение УАР, проведение поверочных работ при выдвинутых блоках или при открытых дверцах стоек автоматики и пульта оператора.

Предохранители, устанавливаемые в блоках питания УАР, должны отвечать указанным размерам. Замена их может осуществляться только при выключенном питании УАР.

Стойки автоматики и пульт оператора должны быть надежно заземлены с помощью шины заземления. При ее отсутствии

Средства поверки УАТГМС

Измеряемая величина	Образцовые приборы и поверочное оборудование	Примечания
Температура воздуха, почвы и воды	Нуль-термостат или термованна с таящим льдом. Психрометрический термометр ТМ-4	Поверка ведется при $T \geq 5^\circ \text{C}$. В термостат погружается чувствительный элемент, вынутый из оправы термометра
Влажность воздуха	Аспирационный психрометр МВ-4	Поверка проводится при $T \geq 5^\circ \text{C}$. Психрометр располагается на уровне преобразователя
Атмосферное давление	Контрольный барометр КР или манометр ИМАД	Поверка проводится при атмосферном давлении
Скорость ветра	Поверочное приспособление к прибору М-63М, обеспечивающее задание определенного числа оборотов оси анемометра. Счетчик числа оборотов МЭС-54	Задание оборотов производится при снятой вертушке
Направление ветра	Лимб с круговой шкалой $0-360^\circ$ для задания угла направления ветра	Лимб закрепляется под флюгаркой
Жидкие осадки	Мерная бюретка с делениями емкостью 500 cm^3	—
Гололедные отложения	Гири — разновесы $10-300 \text{ г}$	Проверяется работоспособность на солнце или при искусственном освещении
Наличие солнечного сияния	Теневого экран для затенения от источника света. Образцовый актинометр	Определяется работоспособность и погрешность канала станции в контрольной точке методом отражения от стенки
Высота нижней границы облаков	Контрольные электронизмерительные приборы	
Метеорологическая дальность видимости	Контрольные электронизмерительные приборы. Набор нейтральных светофильтров, поверочные приспособления	

допускается использование нулевого провода силового щита. Для подключения стоек и пульта к шине или нулевому проводу необходимо применять изолированный медный или алюминиевый провод, сечение которого должно быть не меньше 1,5 или 2,5 мм² соответственно.

После включения в розетку вилки кабеля питанием 220 В и включения тумблера «сеть», соблюдая меры предосторожности, необходимо убедиться в отсутствии напряжения между арматурой стойки и шиной заземления (или нулевым проводом).

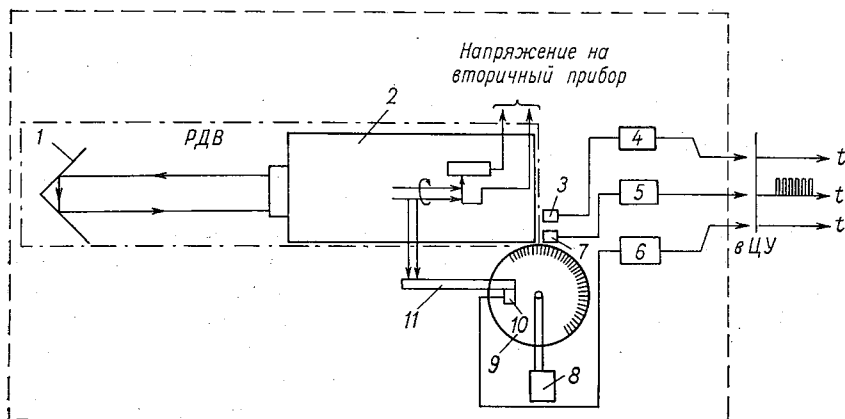
При появлении аварийных признаков (наличие запаха горелых проводов, дыма и пр.), а также при вторичном перегорании предохранителя после его замены необходимо выключить питание и вызвать специалиста, обслуживающего станцию. До выявления и устранения причин этих неполадок включать станцию воспрещается.

Лица, осуществляющие поверочные работы, должны быть знакомы с правилами оказания первой помощи при поражении электрическим током.

11.5. Поверка преобразователя метеорологической дальности видимости

В станциях УАТГМС и КРАМС в качестве преобразователя метеорологической дальности видимости (МДВ) используется прибор РДВ [30]. Управление работой и преобразование выходного сигнала РДВ производится в блоках автоматики станций. В УАТГМС для этой цели служит специальная кодирующая приставка, осуществляющая преобразование угла поворота выходной оси двигателя следящей системы РДВ в число электрических импульсов, которое по кабелю передается в центральное устройство (ЦУ) и с помощью счетно-логической схемы преобразуется в цифровой двоичный код. Кодирующая приставка, расположенная в заднем отсеке корпуса фотометрического блока РДВ, представляет собой фотоэлектрический преобразователь импульсов (рис. 94) и состоит из следующих элементов: прозрачного кодового диска 9, приводимого во вращение через редуктор двигателем 8, фотодиодов 3, 7, 10 и расположенных против них с другой стороны диска лампочек накаливания, поворотного кронштейна 11 с фотодиодом 10 на конце, приводимого в движение электродвигателем следящей системы РДВ, и усилителей импульсов 4, 5, 6. По краю окружности диска в виде непрозрачных рисок нанесена шкала метеорологической дальности видимости и несколько ниже — опорная риска. Поворотный кронштейн РДВ с фотодиодом 10 при увеличении МДВ поворачивается в ту же сторону, что и диск и занимает на нем положение, соответствующее значению МДВ в момент измерения. При вращении диска на выходе фотодиода 7 возникают

электрические импульсы, которые через усилитель 5 поступают в схему счета. Начало счета импульсов дает разрешающий импульс, полученный с фотодиода 10 поворотного кронштейна РДВ, а конец — запрещающий импульс, полученный с фотодиода 3 при прохождении им опорной риски. Таким образом, в центральном устройстве станции подсчитывается количество импульсов, соответствующее полученному на РДВ значению метеорологической дальности видимости. Проверка преобразователя МДВ состоит из проверки фотометрического блока РДВ, проверки кодирующей приставки и проверки преобразователя в целом.



Оптический замыкатель 1, вместе с контрольными светофильтрами входящий в комплект прибора, служит для отражения на вход прибора измерительного светового пучка. При проверке замыкатель 1 крепится на входе фотометрического блока 2. Выходящий из объектива измерительный световой пучок отражается от призм, смонтированных в замыкателе, и через матовое стекло и диафрагму направляется на зеркало фотометрического блока. При выпуске прибора ширина диафрагмы регулируется так, чтобы при установке замыкателя на прибор его показания соответствовали 100 делениям шкалы. В замыкателе имеется прорезь для установки светофильтров.

установке светофильтра в замыкателе при условии, что показание прибора с установленным на нем замыкателе без светофильтра равно 100 делениям шкалы. Для проверки шкалы РДВ необходимо применять комплект образцовых светофильтров размером 80×80 мм и с коэффициентом прозрачности около 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10 и 3,5%. Светофильтры должны быть отградуированы с погрешностью не более 0,5%.

Экран в виде диска с отверстием в центре, который устанавливается на призму отражателя РДВ и служит для проверки правильности установки оптического прицела фотометрического блока и равномерности светового поля измерительного пучка. Поверхность экрана окрашивается в белый цвет и на ней черной краской наносятся две концентрические окружности радиусами 150 и 400 мм.

Рейка длиной 2,5 м с черной маркой на конце, которая служит для проверки правильности установки прицельного приспособления призмного отражателя.

Ламповый вольтметр класса 2,5 с пределами измерения не менее 50 В (например, типа ВК7-7).

Микроамперметр класса 0,5 с пределами измерения 50 мкА.

Секундомер.

Внешний осмотр и опробование. Фотометрический блок РДВ проверяется в собранном виде. Сборка производится в соответствии с инструкцией по эксплуатации. При сборке производят внешний осмотр и опробование прибора согласно инструкции. Особое внимание обращается на чистоту поверхности защитного стекла и выходного объектива фотометрического блока, а также поверхности призм отражателя. После проверки правильности функционирования всех узлов прибора и органов управления проверяют работу РДВ с замыкателем. При установленном замыкателе показание фотометрического блока должно быть в пределах $100 \pm 0,5$ деления шкалы. В случае необходимости показание корректируют с помощью диафрагмы замыкателя. При установке в замыкатель светофильтров показания РДВ должны быть устойчивы в пределах 0,5 деления. Светофильтры ставятся в определенном положении: номер его всегда должен находиться в правом верхнем углу. При установке в замыкатель непрозрачного экрана показания по шкале должны быть в пределах $0 \pm 0,5$ деления. Опробование работы прибора и всю дальнейшую поверку следует проводить не раньше чем через один час после включения его в сеть.

Проверка электрической части прибора. Проверяются следующие показатели прибора: время отработки двигателя при изменении прозрачности атмосферы, соответствующем 100 делениям шкалы, напряжение (возбуждение $U_{\text{возб}}$ и напряжение $U_{\text{вых}}$) на сигнальной обмотке исполнительного двигателя; напряжение несущей частоты $U_{\text{нес}}$ при прозрачности атмосферы, соответствующей 95—100 делениям шкалы; ток

в измерительной линии при положении указателя фотометрического блока на делении шкалы 100. Форма записи приведена в табл. 44.

Таблица 44

Запись результатов при проверке электрической части прибора РДВ № 274

Время отработки двигателя при изменении прозрачности на делении шкалы 100	$U_{\text{нес}}$	$U_{\text{возб}}$	$U_{\text{вых}}$	i
При увеличении прозрачности: 20 с	33 В	19,8 В	0,6 В	303 мкА
При уменьшении прозрачности: 20 с				

Для проверки электрической части с фотометрического блока снимают бленду, а на ее место устанавливают замыкатель, входящий в комплект данного прибора. Переключатель «местное вкл.—дист. вкл.» на блоке питания устанавливают в положение «местное вкл.» и включают тумблер «сеть». При этом на замыкателе стрелка указателя шкалы фотометрического блока должна быть установлена на делении шкалы 100.

Для определения времени отработки исполнительного двигателя в рамку для фильтров вставляют непрозрачный экран размером 80×80 мм и в тот же момент включают секундомер и определяют время, за которое указатель дойдет до нулевого деления шкалы. После этого вынимают экран из рамки и измеряют время, за которое стрелка переместится от нуля до деления шкалы 100.

Время отработки исполнительного двигателя при изменении прозрачности должно быть не более 25 с как при увеличении, так и при уменьшении прозрачности.

Измерение напряжений $U_{\text{нес}}$, $U_{\text{возб}}$ и $U_{\text{вых}}$ производят ламповым вольтметром класса не ниже 2,5.

Для измерения напряжения несущей частоты вольтметр подключают к гнездам $U_{\text{нес}}$, расположенным в заднем отсеке фотометрического блока. Измерение производят при показаниях по шкале фотометрического блока 95—100 делений. Напряжение несущей частоты должно быть в пределах 30—40 В.

Для измерения напряжения возбуждения исполнительного двигателя вольтметр подключают к клеммам «изм. прибор» на панели блока питания. При этом переключатель «контроль напряжения» должен находиться в положении $U_{\text{возб}}$. Измеряемое напряжение должно быть 20 ± 2 В.

Для измерения напряжения на сигнальной обмотке исполнительного двигателя в точке баланса (напряжение помехи)

переключатель «контроль напряжения» ставят в положение U_c ($U_{\text{вых}}$).

В рамку для фильтров устанавливают непрозрачный экран. После установки указателя шкалы фотометрического блока делают отсчет по вольтметру. Значение напряжения помехи не должно превышать 1 В.

Определение силы тока i в измерительной линии производят посредством микроамперметра класса 0,5 с пределом шкалы 500 мкА.

Микроамперметр включают между клеммой «измерение» на блоке питания и концом провода, ведущего от этой клеммы к блоку наблюдения и управления, при этом к клемме «измерение» подключают «+» микроамперметра.

Измерение тока производят при положении стрелок указателя фотометрического блока на делении шкалы 100 ± 1 . Величина тока на измерительной линии должна быть 300 ± 3 мкА.

Проверка оптической части прибора. Проверяется правильность установки прицельного приспособления призменного отражателя, правильность установки оптического прицела фотометрического блока и равномерность светового поля измерительного пучка, а также положение установочных клиньев.

Для поверки оптической части прибора отражатель должен быть установлен на расстоянии $100 \pm 0,5$ м от фотометрического блока.

Проверку правильности установки прицельного приспособления призменного отражателя производят сравнением показаний прибора при прицеливании отражателя в объектив фотометрического блока и в точки, лежащие в плоскости объектива и отстоящие от него на 2,5 м.

Для проверки используют рейку длиной 2,5 м с маркой на одном ее конце. Один конец рейки держат на уровне объектива фотометрического блока, а второй (с маркой) последовательно устанавливают в положение: вверх по вертикали, вправо и влево по горизонтали и вправо и влево на уровне опоры штатива. Прицеливают призменный отражатель сначала на объектив, затем на марку на рейке в каждом из пяти ее положений и снова на объектив. Показания фотометрического блока в каждом случае записывают в рабочий журнал. Форма записи приведена в табл. 45.

При изменении прицеливания призменного отражателя показания РДВ не должны меняться больше чем на 0,5 деления шкалы прозрачности.

Измерения следует производить только при устойчивой прозрачности атмосферы.

Проверка правильности установки оптического прицела фотометрического блока и равномерности светового поля измерительного пучка производится следующим образом. На бленду

**Запись результатов при проверке правильности
установки прицельного приспособления призмленного отражателя РДВ № 274**

Положение точки прицеливания	На объек- тиве	Вверх	Вправо		Влево		На объективе
			по го- ризон- тали	внизу	по го- ризон- тали	внизу	
Показания фото- метрического блока	97	97	97.5	97.5	97	97	97.5

отражателя устанавливают экран (с отверстием по размеру бленды) с нанесенными на нем концентрическими окружностями.

Оптический прицел фотометрического блока наводят на среднюю призму, отсчитывают показание по шкале фотометрического блока и записывают его в рабочий журнал. После этого медленно поворачивают прибор на штативе в вертикальной плоскости так, чтобы точка прицеливания перемещалась вверх по радиусу экрана. Затем отсчитывают и записывают показания по шкале фотометрического блока при прицеливании:

- 1) в точку окружности меньшего диаметра;
- 2) в точку, находящуюся примерно посередине между концентрическими окружностями;
- 3) в точку окружности большего диаметра.

Такие же измерения производят при перемещении точки прицеливания вниз по вертикали, а затем вправо и влево по горизонтали. Измерения каждый раз начинают с отсчетов при прицеливании в среднюю призму. Форма записи приведена в табл. 46.

При изменении точки прицеливания от центра средней призмы в пределах радиуса 150 мм показания прибора не должны изменяться более чем на $\pm 0,5$ деления. В пределах радиуса 400 мм показания прибора могут отличаться от первоначальных не более чем на $\pm 2,5$ деления шкалы.

Измерения следует проводить только при устойчивой прозрачности атмосферы.

Проверка положения установочных клиньев. Положение установочных клиньев должно обеспечить возможность изменения интенсивности потока сравнения в пределах $\pm 10\%$ прозрачности путем перемещения клина посредством регулировочного винта (через отверстие в кожухе с правой стороны).

Для проверки положения клиньев на прибор устанавливают замыкатель и в рамку для фильтров вставляют самый прозрачный из трех фильтров, прилагаемых к прибору. Когда показания прибора установятся, отсчитывают и записывают показания по шкале фотометрического блока.

Запись результатов при проверке правильности установки оптического прицела фотометрического блока и равномерности светового поля измерительного пучка РДВ № 274

Положение точки прицеливания при отсчетах 1, 2, 3:	На средней призме	Выше			На средней призме	Ниже		
		1	2	3		1	2	3
Показания фотометрического блока	97	97	97.5	99	97.5	97	97.5	95
Положение точки прицеливания при отсчетах 1, 2, 3:	На средней призме	Вправо			На средней призме	Влево		
		1	2	3		1	2	3
Показания фотометрического блока	97	97	96.5	98	96.5	96	96.5	94.5

Вращая ключом винт, убеждаются, что показания по шкале фотометрического блока могут быть изменены на ± 10 делений шкалы от первоначального отсчета. После этого вращением винта первоначальное показание прибора должно быть точно восстановлено.

Проверка правильности градуировки шкалы и постоянства показаний. Проверка правильности градуировки шкалы производится посредством образцовых светофильтров при установленном замыкателе.

Вращением винта замыкателя добиваются, чтобы указатель фотометрического блока установился точно на делении шкалы 100.

Светофильтры устанавливают поочередно в замыкатель и измеряют их прозрачность. Отсчеты показаний производят по шкалам фотометрического блока и регистратора, а также дублирующих указателей и записывают в рабочий журнал. Форма записи приведена в табл. 47. Отсчеты по шкале фотометрического блока производят с точностью до десятых долей деления шкалы, а по регистратору и дублирующим указателям — с точностью до 0,5 деления.

Прозрачность каждого из светофильтров измеряют по четыре раза, при этом перед каждым отсчетом светофильтр поворачивают в вертикальной плоскости на 90° . Из четырех показаний вычисляют среднее.

Измеренная с помощью РДВ прозрачность светофильтров не должна отличаться от значений, указанных в поверочных свидетельствах светофильтров, больше чем на одно деление шкалы прозрачности при измерении по шкале фотометрического блока и больше чем на два деления по шкале регистратора и по стрелочным указателям.

Для проверки постоянства показаний и качества регистрации в замыкатель вставляют фильтр прозрачностью около 70%. Включают выключатель «запись» на пульте блока наблюдения и управления и оставляют прибор включенным в течение четырех часов для измерения и регистрации данной величины прозрачности.

Приблизительно один раз в течение часа производят перекрытие измерительного луча посредством непрозрачного экрана, для того чтобы убедиться, что показания прибора восстанавливаются. Показания прибора по шкале фотометрического блока и дублирующих указателей до перекрытия измерительного луча и после записываются в рабочий журнал. Кроме того, записывают показания при перекрытом луче.

После перекрытия измерительного луча, а также с течением времени показания прибора должны изменяться не более чем на $\pm 0,5$ деления шкалы прозрачности.

Запись на ленте регистратора должна быть непрерывной, а протяжка ленты — плавной без перекосов и надрывов перфорации.

Запись результатов при проверке правильности градуировки шкалы РДВ № 274

Показания по шкале	№ отсчета	Прозрачность светового фильтра							
		73,2	63,3	50,5	38,7	28,1	15,7	10,6	2,7
Фотометрического блока	1	74.0	63.8	51.1	38.1	28.2	15.4	9.9	1.8
	2	74.1	64.0	51.1	38.1	28.3	15.4	10.1	1.7
	3	74.2	64.1	51.2	38.1	28.3	15.2	10.0	1.7
	4	74.2	63.9	51.2	38.1	28.2	15.3	10.0	1.7
	Среднее	74.1	64.0	51.2	38.1	28.2	15.3	10.0	1.7
	Погрешность	+0.9	+0.7	+0.7	-0.6	+0.1	-0.4	-0.6	-1.0
Регистратора	1	74.5	64.5	51.5	39.5	28.0	15.5	10.0	2.0
	2	74.0	64.5	51.5	39.5	28.0	15.5	10.5	2.0
	3	74.5	64.5	51.0	39.5	28.0	15.0	10.5	2.0
	4	74.5	64.5	51.5	39.5	28.0	15.5	10.5	2.0
	Среднее	74.4	64.5	51.4	39.5	28.0	15.4	10.4	2.0
	Погрешность	+1.2	+1.2	+0.9	+0.8	-0.1	-0.3	-0.2	-0.7
Указателя I	1	74.5	64.0	52.0	38.5	28.5	16.0	10.5	2.0
	2	74.5	64.5	52.0	38.5	28.5	16.0	10.5	1.5
	3	74.5	64.5	52.0	28.5	28.5	15.5	10.0	2.0
	4	74.5	64.0	52.0	38.5	28.5	15.5	10.0	1.5
	Среднее	74.5	64.2	52.0	38.5	28.5	15.8	10.2	1.8
	Погрешность	+1.3	+0.9	+1.5	-0.2	+0.4	+0.1	-0.4	-0.9
Указателя II	1	74.5	64.0	52.0	38.5	29.0	16.0	10.5	2.0
	2	74.5	64.5	52.0	38.5	29.0	16.0	10.5	2.0
	3	74.5	64.5	52.0	38.5	29.0	15.5	10.5	2.0
	4	74.5	64.0	52.0	38.5	29.0	16.0	10.5	2.0
	Среднее	74.5	64.2	52.0	38.5	29.0	15.9	10.5	2.0
	Погрешность	+1.3	+0.9	+1.5	-0.2	+0.9	+0.2	-0.1	-0.7

Градуировка светофильтров, прилагаемых к прибору. Для приборов, удовлетворяющих всем требованиям, предъявляемым при поверке, производят градуировку светофильтров, входящих в комплект данного прибора. Для этого на прибор устанавливают замыкатель и добиваются, чтобы указатель шкалы фотометрического блока установился точно на делении шкалы 100. После этого в рамку замыкателя поочередно устанавливают контрольные светофильтры, отсчитывают и записывают показания прибора с каждым из светофильтров. Установку светофильтров и отсчет показаний повторяют три раза и из полученных значений вычисляют среднее. При установке светофильтров в замыкатель, номера их должны находиться в правом верхнем углу, если смотреть со стороны замыкателя. Форма записи при градуировке светофильтров приведена в табл. 48.

Таблица 48

Запись результатов при градуировке светофильтров, входящих в комплект прибора РДВ № 274

№ отсчета	№ светофильтра		
	1	2	3
1	72.2	37.1	5.8
2	72.2	37.1	5.9
3	72.3	37.1	5.8
Среднее	72.2	37.1	5.8

Составление поверочного свидетельства. На приборы, признанные годными, выдается поверочное свидетельство, в котором указывают: результаты поверки правильности градуировки шкалы прозрачности, данные градуировки светофильтров, прилагаемых к прибору (показания по шкале фотометрического блока при установке светофильтров в замыкатель), напряжение несущей частоты при прозрачности, при которой производилась поверка.

В поверочном свидетельстве должно быть указано, что до начала эксплуатации прибора указатель фотометрического блока должен быть установлен на деление шкалы 100 перемещением установочного клина при дальности видимости 30 км или более (табл. 49).

Проверка работоспособности кодирующей приставки. Кодирующая приставка размещается в заднем отсеке корпуса фотометрического блока. Она должна обеспечивать преобразование угла поворота оси измерительного потенциометра РДВ в число электрических импульсов, которое считывается центральным устройством. При правильной работе

**Запись результатов в поверочное свидетельство
регистратора дальности видимости**

Регистратор дальности видимости (РДВ) № 274

Результаты поверки правильности градуировки шкалы прозрачности:

Прозрачность образцовых светофильтров . .	73.2	63.3	50.5	38.7	28.1	15.7	10.6	2.7
Показания по шкале фотометрического блока	74.1	64.0	51.2	38.1	28.2	15.3	10.0	1.7

Показания по шкале фотометрического блока при установке в замыкатель фильтров, прилагаемых к прибору:

№ фильтров	1	2	3
Показания прибора	72.2	37.1	5.8

Напряжение несущей частоты $U_{\text{нес}}=33$ В при показании по шкале фотометрического блока 100 делений.

До начала эксплуатации прибора указатель фотометрического блока должен быть установлен на деление шкалы 100 путем перемещения установочного клина при дальности видимости 30 км или более.

Время поверки

Начальник БП	(подпись)
Ответственный поверитель	(подпись)

приставки положение измерительного кронштейна на кодирующем диске должно точно соответствовать положению указателя МДВ фотометрического блока в пределах всей шкалы. Проверка положения кронштейна производится в нескольких делениях шкалы, например, при метеорологической дальности видимости S_m , равной 250, 2000 и 6000 м. Сначала проверяют совмещение установочных рисок на корпусе блока и кронштейна при нулевом положении указателя шкалы РДВ. Затем, отключив двигатель фотометрического блока, устанавливают измерительный кронштейн поочередно в указанных делениях шкалы, поворачивая вручную ось двигателя потенциометра, и сравнивают значения по шкале МДВ в этих точках с показаниями центрального устройства станции (или на телетайпе). Перед включением блока путем внешнего осмотра необходимо проверить отсутствие осевого люфта вала, на котором закреплен измерительный кронштейн, а также наличие постоянного зазора между кодовым диском и фотоэлементами при вращении диска. В зоне шкалы диска не должно быть каких-либо повреждений, видимых царапин или неровностей.

Поверка преобразователя МДВ в целом. При поверке преобразователя МДВ в комплекте с центральным устройством станции определяется градуировочная зависимость между значениями прозрачности, задаваемыми с помощью образцовых светофильтров, и показаниями станции. Пересчет ко-

эффициентов прозрачности светофильтров в значения метеорологической дальности видимости S_m производится, исходя из уравнения ослабления светового потока в атмосфере

$$F = F_0 e^{-\alpha l}, \quad (75)$$

где F_0 — начальное значение светового потока; F — значение светового потока, прошедшего через слой атмосферы толщиной l ; α — показатель ослабления.

Прозрачность атмосферы оценивается отношением потоков

$$\frac{F}{F_0} = e^{-\alpha l} = \tau^l, \quad (76)$$

где τ — коэффициент прозрачности атмосферы. Имитируя прозрачность атмосферы с помощью нейтрального светофильтра с коэффициентом k_Φ , можно написать

$$k_\Phi = \frac{F}{F_0} = e^{-\alpha l}.$$

С другой стороны, метеорологическая дальность видимости S_m зависит от коэффициента ослабления α и порога контрастной чувствительности глаза ϵ_0 и определяется выражением

$$S_m = -\frac{\ln \epsilon_0}{\alpha}.$$

Подставляя сюда значение α , найденное из выражения для k_Φ , получим

$$S_m = \frac{\ln \epsilon_0 l}{\ln k_\Phi}. \quad (77)$$

Для оптической длины базы l_0 фотометрического блока $l = 2l_0 = 200$ м и порога контрастной чувствительности глаза $\epsilon_0 = 0,02$

$$S_m = \frac{780}{\ln k_\Phi}. \quad (78)$$

Приводим рассчитанную по этой формуле градуировочную зависимость для станции:

k_Φ	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85
S_m	340	480	630	850	1130	1530	1810	2190	2710	3490	4800

Проверка сохранности градуировочной характеристики преобразователя МДВ в полевых условиях осуществляется с помощью трех светофильтров, входящих в комплект станции. Прибор считается годным, если расхождение между показаниями станции и табличными значениями S_m не превышает значений погрешности измерений, указанных в описании и технических условиях станции.

11.6. Поверка преобразователя высоты нижней границы облаков

Устройство и основные характеристики. Преобразователь позволяет определять высоту нижней границы облаков в любое время суток в диапазоне от 50 до 1000 м с погрешностью соответственно 20 и 6,5%. Принцип действия его основан на измерении времени прохождения световых импульсов t до облака и обратно к светоприемнику после их отражения от нижней границы облаков. Высота h нижней границы облаков в метрах определяется по формуле

$$h = \frac{ct}{2}, \quad (79)$$

где c — скорость света (3×10^8 м/с), t — интервал времени между двумя электрическими импульсами, который для удобства измерения и передачи информации преобразуется в двоичный код центральным устройством станции.

Блок-схема устройства преобразователя показана на рис. 95. Преобразователь ВНГО состоит из прибора ИВО, содержащего излучатель световых импульсов, светоприемник и пульт управления, блока согласования, смонтированного на отдельной плате в корпусе пульта управления, и блока измерения БИВО, расположенного в центральном устройстве.

В качестве излучателя импульсов служит импульсная лампа ИЛ, помещенная в фокусе зеркального отражателя и включенная в блок питания БПИЛ.

Светоприемник состоит из фотоэлектронного умножителя ФЭУ, расположенного в фокусе другого зеркального отражателя, и предварительного усилителя ПУ.

Излучатель и приемник световых импульсов помещены в металлических корпусах с крышками, снабженными механизмами открывания МОК.

В пульте управления ИВО находится блок питания импульсной лампы БПИЛ, общий блок питания БП, усилитель УС и система автоматического регулирования усиления АРУ. Генератор ждущей развертки ГЖР, электронно-лучевая трубка ЭЛТ, блок питания трубки БПТ и генератор калибровочных меток ГKM в работе преобразователя не участвуют и используются только для проверки его работоспособности. Устройство согласования (приставка) содержит электронное реле включения питания импульсной лампы ЭР ПИЛ, электронное реле АРУ (ЭР АРУ), линию задержки ЛЗ, схему выделения отраженного измерительного импульса СВИО, два инвертора ИНВ и два эмиттерных повторителя ЭП, служащих для связи блока согласования с центральным устройством станции.

Из центрального устройства станции на электромагнитные реле ЭР ПИЛ и ЭР АРУ поступают отрицательные импульсы —

команды «Вкл. ИВО». При этом реле *ЭР ПИЛ* включает освещение шкалы дальности пульта управления и питание импульсной лампы, которая начинает излучать световые и запускающие импульсы.

Импульсы запуска излучателя через пульт управления поступают на схему формирования, состоящую из линии задержки

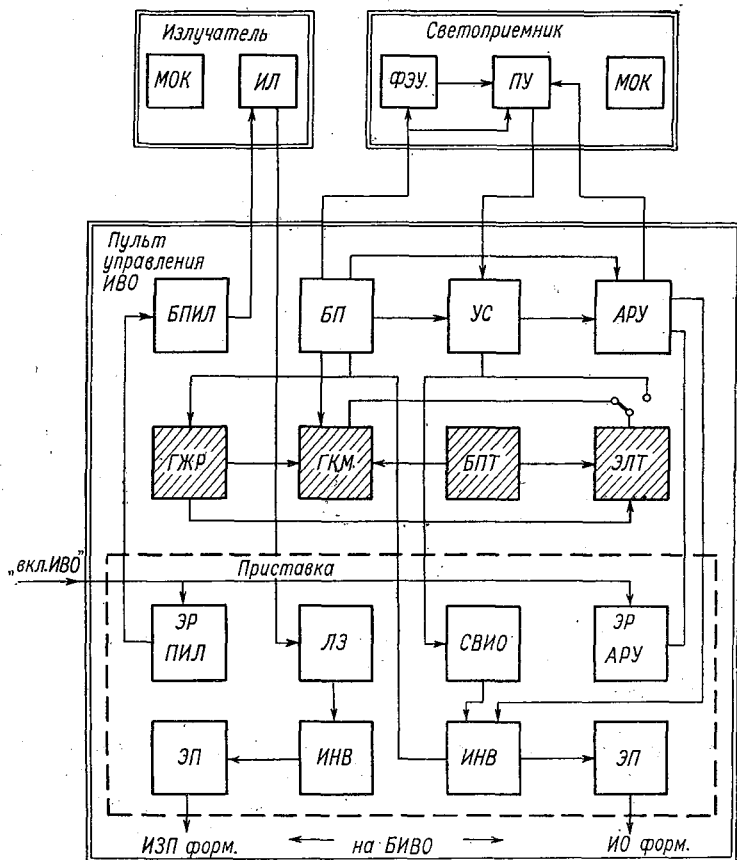


Рис. 95. Блок-схема преобразователя высоты нижней границы облаков УАТГМС.

ЛЗ, инвертера *ИНВ* и эмиттерного повторителя *ЭП*. Эта схема согласует выходные цепи пульта управления *ИВО* с входными цепями *БИВО*, формируя отрицательные импульсы амплитудой 5 В с длительностью 0,5 мкс и с длительностью переднего фронта 0,2 мкс, которые поступают на *БИВО* в устройстве автоматизации станции.

По команде же «Вкл. ИВО» посредством реле *ЭР АРУ* на сетки ламп усилителя *ПУ* приемника подается напряжение

АРУ пульта управления *ИВО*, уменьшающее начальное напряжение смещения и время переходных процессов схемы *АРУ* при включении *ИВО* на время измерения высоты облаков.

Часть энергии световых импульсов, отраженная от нижней границы облаков, попадает на *ФЭУ*, откуда в виде импульсов фототока через усилители *ПУ* и *УС* поступает на схему выделения середины переднего фронта отраженных импульсов *СВИО* устройства согласования. Эта схема предназначена для формирования отраженного импульса *ИО*, по времени совпадающего с серединой переднего фронта отраженного импульса на экране *ЭЛТ* и представляет собой схему сравнения двух напряжений — постоянного напряжения *АРУ* в сумме с опорным напряжением 10 В, снимаемым с *БП* пульта, и напряжения сигнала *ИО*. При превышении сигналом указанной суммы напряжений на выходе схемы появляется импульс, время формирования которого соответствует середине переднего фронта *ИО*.

Далее полученный сигнал поступает от *СВИО* на формирователь, состоящий из инвертора *ИНВ* и эмиттерного повторителя *ЭИ*. На выходе последнего получается отрицательный импульс «*ИО форм.*», соответствующий по времени середине переднего фронта *ИО* амплитудой 5 В и длительностью 0,2 мкс.

Таким образом, на выходе преобразователя формируются импульсы от передатчика и приемника, временное расстояние между которыми пропорционально высоте нижней границы облаков.

Эти импульсы поступают на *БИВО* в устройство автоматики, где временной интервал между ними преобразуется в двоичный код.

Внешний вид лицевой панели пульта управления преобразователя (см. рис. 97) отличается от пульта *ИВО* только наличием разъема на задней стенке для подключения к станции.

Проверка преобразователя высоты нижней границы облаков состоит из внешнего осмотра, проверки работоспособности, определения сопротивления изоляции, проверки частоты вспышек импульсной лампы и калибровки выходных параметров преобразователя.

Для выполнения указанных поверочных работ необходимы: мегомметр *МОМ-3*, генератор сигналов *ГЗ-7А*, осциллограф *С1-19*, генератор импульсов *Г5-15*, измеритель временных интервалов *И2-14*, тестер и источник питания к пульту управления преобразователя, обеспечивающий стабилизированные напряжения: —16, —12, —27 и —5 В.

При проверке в связи с наличием высоких напряжений и импульсной лампы необходимо строго соблюдать следующие правила по технике безопасности, предусмотренные при работе с электрическим током, и меры предосторожности при работе с газонаполненными лампами:

обязательно заземлять корпуса пульта управления, приемника и передатчика;

не проводить монтажных работ с включенными блоками прибора, в том числе не подключать к ним и не отсоединять от них проводники или кабели;

при необходимости подключения или отсоединения разъема или проводника прибор должен быть выключен, а при снятом с пульта управления кожухе конденсаторы значительной емкости должны быть разряжены;

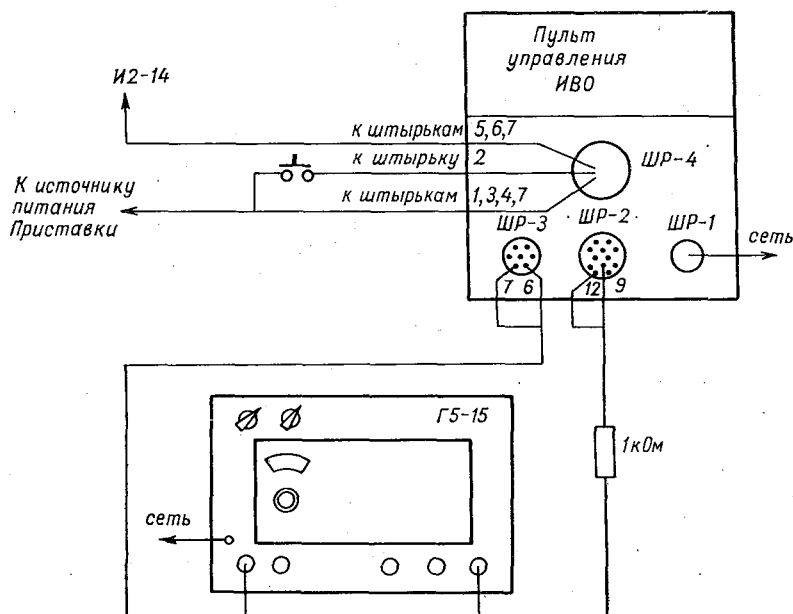


Рис. 96. Схема калибровки выходных параметров преобразователя ИВО.

при перерыве в работе пульт управления со снятым кожухом должен быть обязательно отключен от источника питания;

работая с импульсной лампой, необходимо надевать защитную маску (например, из плексигласа), которая надежно закрывала бы лицо.

Внешний осмотр и проверка работоспособности. При внешнем осмотре преобразователь должен удовлетворять следующим требованиям технических условий или инструкции по поверке: комплектности, маркировке, качеству покрытия и обработки деталей, а также их регулировке. Преобразователь не должен иметь дефектов и повреждений, которые могут повлиять на его метрологические свойства.

Для проверки работоспособности соединяют кабелями пульт управления прибора ИВО с передатчиком и приемником. К разъему ШР-4 пульта управления (рис. 96) подключают

источник питания приставки (общая шина питания — к штырьку 6, к штырькам 1, 3 и 4 — напряжение — 27, —12 и +6 В соответственно, к штырьку 2 через кнопочный выключатель — напряжение — 5 В). К пульту управления ИВО присоединяют кабель питания. Тумблеры на лицевой панели пульта управления устанавливают в положение «выключено». Тумблер на левой стенке

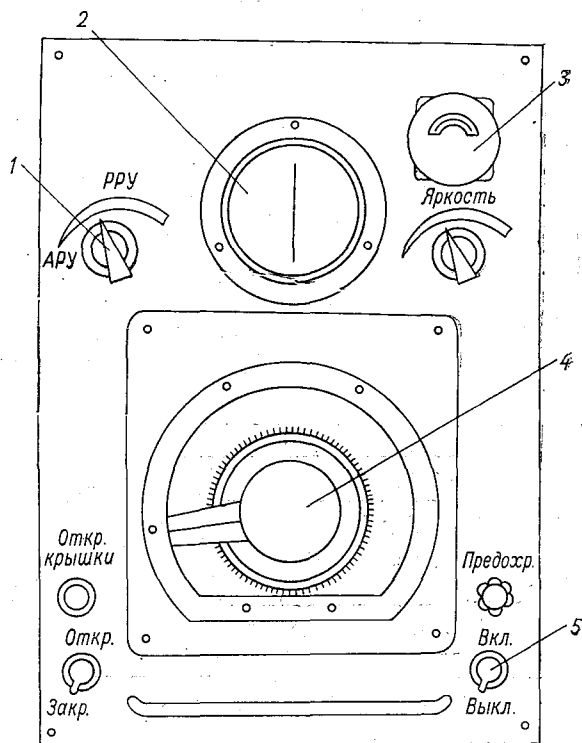


Рис. 97. Внешний вид лицевой панели пульта управления ИВО.

пульта управления ИВО устанавливают в положение «сигнал». Рукоятки регулировки должны находиться в крайнем левом положении. Ручки, расположенные сбоку кожухов передатчика и приемника, устанавливают в положение «ручн.».

Приступая к проверке работоспособности преобразователя, подключают штепсельную вилку кабеля питания пульта управления к сети напряжением 220 В. Затем включают сетевой тумблер 5 (рис. 97) пульта управления преобразователя, после чего должно включаться освещение шкалы высот, а стрелка контрольного прибора 3 при номинальном напряжении в сети установится в середине соответствующего сектора на его шкале.

Ручки, расположенные на боковых стенках кожухов передатчика и приемника, ставят в положение «ручн.», тогда их крышки должны открываться и закрываться вручную.

При вращении рукоятки «яркость» слева направо на экране ЭЛТ появляется световое пятно.

При кратковременной подаче на приставку пульта управления ИВО через штырек 2 разъема ШР-4 (см. рис. 96) посредством кнопки напряжения —5 В должно включиться освещение шкалы. Одновременно загорится импульсная лампа передатчика, а на экране ЭЛТ появится линия развертки.

С помощью тестера, подключаемого сначала к штырькам 6 и 7, а затем к штырькам 6 и 5 разъема ШР-4, при подаче на приставку посредством кнопки напряжения —5 В проверяется наличие импульсов запуска и отраженных импульсов.

Сопrotивление электрической изоляции между токонесущими цепями и корпусом пульта управления определяют посредством мегомметра при выключенном напряжении питания.

Подключив один из щупов мегомметра к корпусу пульта управления, последовательно проверяют сопротивление изоляции цепей питания, управления двигателем, накала ламп фотоусилителя и анодного напряжения фотоусилителя, для чего второй щуп от мегомметра последовательно подключают к разъему ШР-1 (штырьки 1 и 2), к ШР-3 (штырьки 3, 4 и 5), ШР-2 (штырек 4).

Сопrotивление электрической изоляции перечисленных цепей при нормальном условии должно быть не менее 100 МОм.

Проверка частоты повторения вспышек импульсной лампы. Проверка осуществляется по схеме, приведенной на рис. 98. Штырьки 1 и 7 выходного разъема ШР-3 пульта управления с помощью двух проводов через делитель напряжения R' и R'' соединяют непосредственно с отклоняющими пластинами X осциллографа С1-19. К клеммам $У$ осциллографа подключают генератор ГЗ-7А. К пульта управления светолокатора подключают передатчик. Затем, убедившись в надежности соединений и соблюдая меры предосторожности при работе с высоким напряжением, включают пульт управления, осциллограф и генератор в сеть питания. Спустя 2—3 мин после прогрева ламп на вход $У$ осциллографа с генератора ГЗ-7А

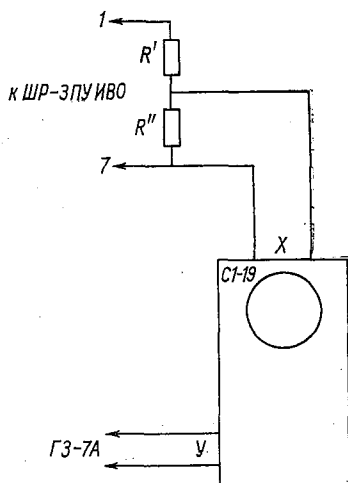


Рис. 98. Схема проверки частоты повторения вспышек импульсной лампы.

подают напряжение порядка 20 В частотой 20 ± 2 Гц. При включении импульсной лампы ручкой 4 (рис. 97) измерительного потенциометра на экране осциллографа должна появиться фигура Лиссажу в виде устойчивого изображения эллипса, которая свидетельствует о соответствии частоты повторения световых импульсов частоте 20 Гц.

Калибровка выходных параметров преобразователя. Калибровка выходных параметров заключается в установлении зависимости между измеряемой высотой и длительностью временных интервалов, формируемых устройством согласования.

Для калибровки применяются генератор импульсов Г5-15, цифровой измеритель временных интервалов типа И2-14 и источники питания приставки. При этом необходимо обеспечить возможность получения отраженного сигнала от предмета (стены или щита) на расстоянии 100—200 м.

Калибровка выходных параметров преобразователя состоит из периодической градуировки генератора Г5-15, определения градуировочной характеристики преобразователя и получения временного интервала, соответствующего контрольному расстоянию до щита.

Градуировка генератора Г5-15 осуществляется с применением измерителя временных интервалов типа И2-14.

С генератора Г5-15 на измеритель временных интервалов И2-14 подают синхронизирующие и задержанные импульсы в такой последовательности. Задают величины задержек в сторону увеличения, а затем — уменьшения. Установив левый переключатель задержки генератора Г5-15 в положение «0», правый переводят последовательно в положение 0,3 и 0,6 «мкс» и измеряют посредством И2-14 соответствующие значения временных интервалов. Результаты измерения записывают в графу 3 рабочего журнала по форме, приведенной в табл. 50. Затем левый переключатель вновь устанавливают в положение «0» и записывают полученную величину задержки в журнал (в графу 3). После этого, установив левый переключатель в положение «2—1—0» посредством потенциометра «мкс», плавно регулирующего длительность задержки, по измерителю И2-14 последовательно определяют длительности задержек, равные 2, 3, 4, 5, 6 и 7 мкс, записывая в графу 2 таблицы каждый раз соответствующие отсчеты по шкале потенциометра, а в графу 3 — задаваемые прибором И2-14 временные интервалы.

При этом необходимо по возможности избегать ошибок из-за параллакса. Закончив градуировку в сторону увеличения задержек, повторяют ее на тех же точках при уменьшении задержек. Средние значения задержек записывают в графы 6 и 7 таблицы.

При определении *градуировочной характеристики* преобразователя устанавливают зависимости между входными и вы-

Запись результатов при градуировке генератора Г5-15

Генератор Г5-115 №
Прибор И2-14 №

Дата

№ п/п	Увеличение		Уменьшение		Среднее		Примечания
	Г5-15	И2-14	Г5-15	И2-14	Г5-15	И2-14	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.3	0.29	0.3	0.27	0.3	0.28	
2	0.6	0.62	0.6	0.66	0.6	0.64	
3	1.0	1.04	1.0	1.0	1.0	1.02	
4	1.92	2.0	2.06	2.0	1.99	2.0	
5	3.15	3.0	2.95	3.0	3.05	3.0	
6	4.32	4.0	3.98	4.0	4.17	4.0	
7	4.96	5.0	5.40	5.0	5.28	5.0	
8	5.68	6.0	6.28	6.0	5.98	6.0	
9	7.05	7.0	7.65	7.0	7.35	7.0	

ходными сигналами преобразователя. В процессе градуировки измеряется длительность временных интервалов между импульсами запуска и импульсами, возникающими на выходе устройства согласования при точно известных (задаваемых) длительностях временных интервалов на входе преобразователя. Измерения проводятся по схеме, указанной на рис. 96. От пульта управления преобразователя отключают кабели, соединяющие его с передатчиком и приемником. Вместо них к разъемам ШР-2 и ШР-3 подключают генератор импульсов типа Г5-15. Центральную жилу кабеля генератора от выхода «импульс синхронизации» соединяют со штырьком 6, а экран кабеля — со штырьком 7 разъема ШР-3. Центральную жилу кабеля генератора от его выхода соединяют через резистор сопротивления 1 кОм со штырьком 9, а экран этого кабеля — со штырьком 12 разъема ШР-2. К штырькам 1, 2, 3 и 4 разъема ШР-4 подключают источник питания, а к штырькам 5, 6 и 7 — прибор И2-14.

После включения приборов в сеть с генератора Г5-15 на пульт управления последовательно подают импульсы, соответствующие временным интервалам градуировки, приведенным в графе 6 табл. 50, и по прибору И2-14 измеряют временные интервалы на выходе устройства. Результаты измерений записывают в рабочий журнал по форме, приведенной в табл. 51.

Определение временного интервала, соответствующего контрольному расстоянию, производится в условиях, когда передатчик и приемник направлены на отражающую поверхность, расположенную на точно известном расстоянии.

К разъемам ШР-2 и ШР-3 пульта управления преобразователя (см. рис. 96) вместо генератора Г5-15 подключают с помощью кабелей передатчик и приемник, установленные на

**Запись результатов при калибровке
выходных параметров преобразователя**

Преобразователь НГО №

Дата

№ п/п	Задержка, мкс		Временной интервал	Примечание
	Г5-15	задаваемая		
1	2	3	4	5
1	0.3	0.28	0.31	Контрольный предмет на удалении 160 м. Выходной временной интервал при этом 1.73 мкс
2	0.6	0.64	0.68	
3	1.0	1.02	1.12	
4	1.99	2.0	2.1	
5	3.05	3.0	3.2	
6	4.17	4.0	4.3	
7	5.28	5.0	5.3	
8	5.98	6.0	6.4	
9	7.35	7.0	7.5	

открытом воздухе на расстоянии 8—10 м друг от друга. Положив приемник и передатчик на бок, направляют зеркала в сторону контрольного предмета.

Карданные подвесы следует предварительно арретировать стопорными винтами. Расстояние от передатчика и приемника до предмета должно быть тщательно измерено и записано в градуировочную таблицу (табл. 51). Это расстояние должно быть в пределах 100—200 м. В связи с трудностями, возникающими при нацеливании передатчика и зеркала приемника на контрольный предмет, эту работу рекомендуется проводить в темное время суток. Включив преобразователь, регулируют положение передатчика и приемника по максимальной амплитуде отраженного сигнала, наблюдаемой на ЭЛТ (2, рис. 97). Для уменьшения величины сигналов крышки могут быть частично прикрыты, а переключатель 1 автоматической регулировки усилителя и ручной регулировки усиления АРУ-РРУ устанавливается в положение РРУ.

Добившись максимальной амплитуды отраженного сигнала, к штырькам 5, 6 и 7 разъема ШР-4 пульты управления (рис. 96) подключают измеритель временных интервалов И2-14, а к штырькам 1, 3 и 4 соответственно напряжение —27, —12 и +6 В от источника питания приставки. К штырьку 2 через кнопку подают напряжение —5 В. Штырек 6 является общим для питания.

Временные интервалы между импульсами запуска и отраженными импульсами измеряют по прибору И2-14 три раза. Полученный результат измерения осредняют и записывают в журнал (табл. 51).

Обработка результатов измерений. По результатам измерений строится график и составляется таблица зависимости временных интервалов между импульсами запуска и отраженными импульсами от высоты облаков. График строят по данным табл. 51. По оси абсцисс откладывают время задаваемой задержки (графа 3), а по оси ординат — соответствующие временные интервалы (графа 4). Нанесенные точки соеди-

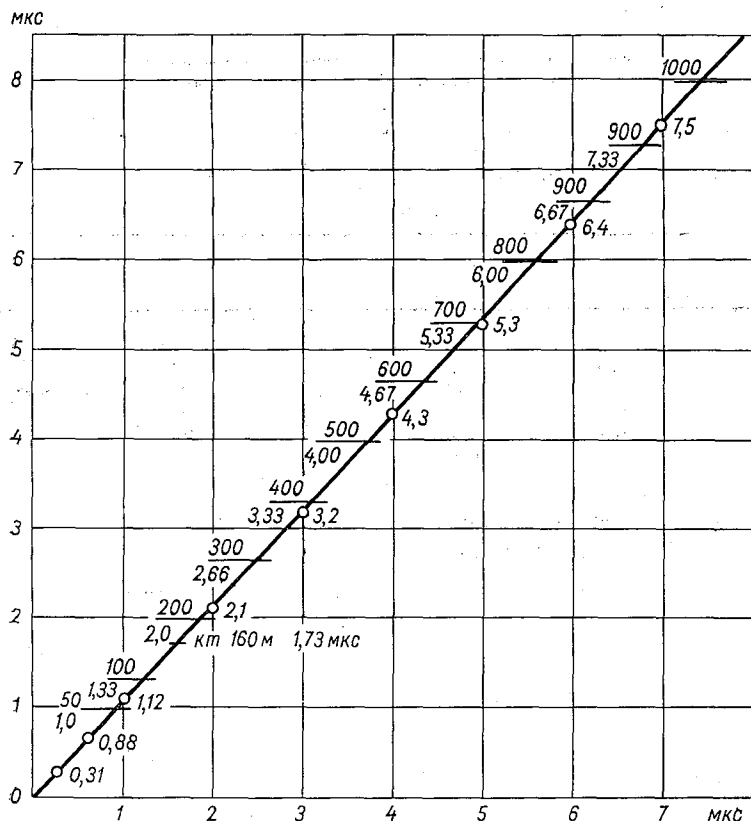


Рис. 99. График калибровки выходных параметров преобразователя ИВО.

няют плавной кривой, проведенной по лекалу. Полученный по контрольному предмету временной интервал также наносят на график (рис. 99), надписывая над полученной точкой измеренное время. Пользуясь формулой (79) переводят время задержки в расстояние. Например, если выбрать масштаб $2 \text{ с} = 1 \text{ мкс}$, то одна микросекунда будет равна 150 м. Учитывая масштаб, на кривой определяют точки, кратные 100 м. Около этих точек надписывают расстояния и длительность временных интервалов. Найдя точку пересечения кривой с осью ординат (расстояние 0),

соединяют эту точку с началом кривой. На полученном участке также определяют точки, кратные 100 м.

Используя построенный график, составляют таблицу измеряемых преобразователем высот нижней границы облаков, которую включают в поверочное свидетельство. Форма составления поверочного свидетельства приведена в табл. 52.

Таблица 52

**Запись результатов в поверочное свидетельство
преобразователя нижней границы облаков**

Комплект преобразователя нижней границы облаков
пульт управления (с доработкой) №
передатчик № , приемник №

Таблица высот

№ п/п	Высота, м	Задержка, мкс	№ п/п	Высота, м	Задержка, мкс
1	50	1.00	7	600	4.67
2	100	1.33	8	700	5.33
3	200	2.00	9	800	6.00
4	300	2.66	10	900	6.67
5	400	3.33	11	1000	7.33
6	500	4.00			

Контрольный предмет на удаление 160 м, задержка 1.73 мкс

Начальник БП УГМС (подпись)

Ответственный поверитель (подпись)

12

ПОВЕРКА АВТОМАТИЧЕСКИХ РАДИО- МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ТИПА АРМС¹

12.1. Технические характеристики, принцип действия и устройство

АРМС применяется для измерения и передачи по радио метеорологических величин из труднодоступных и необжитых районов. Перечень измеряемых величин, пределы измерений и погрешности измерений приведены в табл. 53.

Таблица 53

Характеристики АРМС

Метеорологические величины	Пределы измерений		Погрешность измерения	Принцип измерения (тип преобразователя)
	от	до		
Температура воздуха, $t^{\circ}\text{C}$	-50°	+50°	$\pm 0,8^{\circ}\text{C}$	Медный термометр сопротивления
Атмосферное давление, P мб	680 (в пределах 100 мб)	1100	$\pm 1,0$	Блок aneroidных коробок
Средняя скорость ветра за 10 мин, $\bar{v}$ м/с	1	40	$\pm (1,0 + 0,05v)$	Трехшассетный контактный анемометр
Направление ветра, N град.	0	360	± 10	Контактный румбومتر
Количество жидких осадков, H мм	1,0 с интенсивностью до 3 мм/мин	50	$\pm (0,5 + 0,005H)$	Дождемер с качающимся челноком
Наличие солнечного сияния	—	—	—	Компенсационная схема на фоторезисторах

Принцип действия АРМС основан на преобразовании измеряемых метеорологических величин с помощью первичных преобразователей в электрические импульсы, поступающие

¹ Общие сведения по организации поверки автоматических измерительных систем приведены в п. 11.1.

в закодированном виде на вход радиопередатчика. Радиограмма с метеорологическими данными принимается потребителем в сигналах телеграфного кода Морзе.

Измерение и передача информации осуществляется по заранее установленной программе через один, четыре или восемь часов. Передача ведется на двух длинах волн: дневной 60—90 м и ночной 90—120 м. Номинальная мощность каждого радиопередатчика составляет 25 Вт, она обеспечивает дальность приема от 200 до 600 км. Скорость передачи информации — от 70 до 90 знаков в одну минуту.

Станция работает автоматически и без надзора не менее одного года. Конструктивно станция выполнена в виде отдельных блоков, которые соединяются на месте установки кабелями.

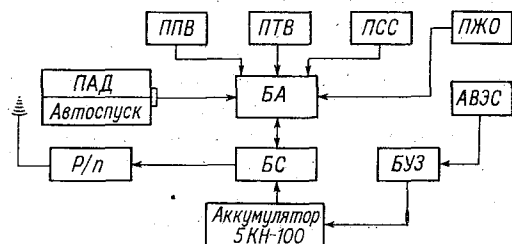


Рис. 100. Блок-схема АРМС.

Блок-схема АРМС представлена на рис. 100. Станция включает в себя преобразователи параметров ветра ППВ, солнечного сияния ПСС, температуры воздуха ПТВ, жидких осадков ПЖО, давления ПАД, блок автоматики БА, блок автопуска, обеспечивающий запуск станции по заданной программе, и радиопередатчик Р/п. Питание станции осуществляется от аккумуляторов, которые подзаряжаются от автоматической ветроэлектрической станции АВЭС. Для защиты аккумуляторов от перезарядки и управления ветровым агрегатом служит блок управления и защиты БУЗ. Блок стабилизаторов БС служит для автоматического поддержания питающего напряжения в допустимых пределах (26—31 В). Все первичные преобразователи станции, за исключением преобразователя давления, размещаются на метеорологической площадке. Блоки автоматики и автопуска, барометр и источники питания устанавливаются в специальном бункере, который закапывается на определенной глубине в почву.

Основное устройство станции — блок автоматики (рис. 101) обеспечивает опрос преобразователей и измерение метеорологических величин по заданной программе, кодирование измеренных значений в цифровой телеграфный код и передачу его на вход радиопередатчика, приведение в исходное положение всех

измерительных цепей и подготовку станции к следующему сроку ее работы.

В блоке автоматики размещены узлы измерения температуры (рис. 102), осадков (рис. 101, 1), давления (2) и скорости ветра (3), к которым через кабельные разъемы подключены соответствующие преобразователи.

Узел измерения температуры представляет собой самоуравновешивающийся мост 2 (рис. 102), который обеспечивает преобразование показаний термометра сопротивления в электрические импульсы, необходимые для запоминания показаний и их дальнейшего преобразования в код. Уравновешивание моста при измерении достигается с помощью нуль-микроамперметра 1, снабженного контактным устройством, и двух многосекционных реохордов. Секции реохордов распаяны между ламелями контактных полей двух шаговых искателей 3, 4. От каждой секции идут отводы к матрицам 7 кодирующего устройства. Обмотки электромагнитов шаговых искателей подключены к выходу мультивибратора 5, управляемого нуль-микроамперметром. Измерение температуры происходит следующим образом.

При включении преобразователя температуры шаговым искателем управления 6 ток разбаланса в измерительной диагонали моста вызовет отклонение стрелки микроамперметра и через его нуль-контакты откроет мультивибратор. Под действием импульсов мультивибратора ротор шагового искателя будет перемещаться и изменять сопротивление реохорда до тех пор, пока не наступит равновесие моста. Стрелка микроамперметра вновь возвратится в нулевое положение и выключит мультивибратор. Положение ротора на секциях реохорда в этот момент будет соответствовать измеряемому значению температуры. При движении ротор одновременно включит соответствующие входы матриц кодирующего устройства (см. рис. 103), которые подведены к контактным ламелям искателей. Схема преобразования рассчитана так, что до начала измерения роторы шаговых искателей всегда находятся в нулевом положении, соответствующем началу диапазона измерения температуры (-50°C). Вследствие инерционности системы балансировка моста производится с различной скоростью.

Если разбаланс велик и стрелка нуль-органа выходит за красную черту, то включается второй контакт микроамперметра, переключающий частоту мультивибратора с 1 на 12 Гц. При измерениях работают два шаговых искателя — первый перекрывает диапазон 10° через $0,5^{\circ}$, второй перекрывает весь диапазон через каждые 10° .

Блоки измерения осадков, атмосферного давления и скорости ветра выполнены в виде трех одинаковых счетчиков (см. рис. 101), которые служат для считывания и передачи на вход кодирующего устройства электрических импульсов, поступающих от преобразователей. Подключение преобразователя

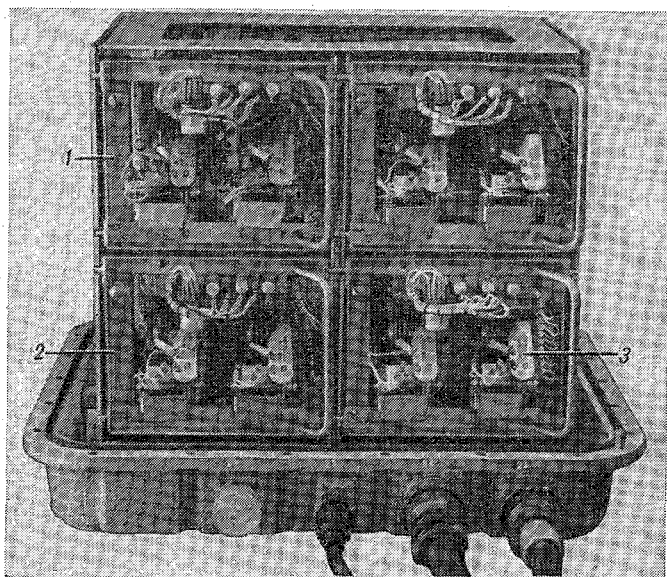


Рис. 101. Блок автоматики со снятым кожухом.

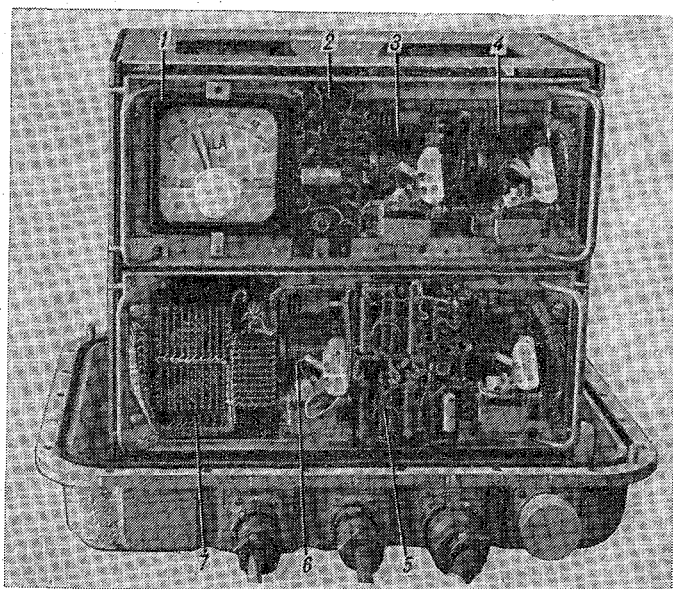


Рис. 102. Узлы измерения температуры и кодирования.

к своему счетчику осуществляется через промежуточное реле, как и при измерении температуры. Каждый счетчик состоит из двух шаговых искателей. Первый шаговый искатель является счетчиком единиц, второй — десятков. При подсчете импульсов первый счетчик фиксирует 20 значений измеряемой величины с дискретностью 0,5 единицы, после чего он посылает импульс на счетчик десятков и принимает исходное положение. Для преобразования импульсов в код ламели контактных полей счетчиков соединены с матрицами кодирующего устройства. При «опросе» счетчиков за время измерения на матрицах включаются те кодовые сочетания, которые отображают показания счетчиков.

Функции управления работой станции в период измерения, кодирования и передачи информации выполняет шаговый искатель 6, к ламелям контактного поля которого подключены выходы измерительных устройств преобразователей, а на обмотки электромагнита подаются управляющие сигналы. После поступления пускового импульса от блока автопуска (см. рис. 104) шаговый искатель управления включает станцию на автоматическую работу, при которой происходит «опрос» преобразователей и последовательное подключение их выходных устройств (где запоминаются результаты измерения) к блоку кодирования с последующей передачей данных в эфир. После передачи одной метеорологической величины импульс, поступающий от кодирующего устройства, переключает шаговый искатель в положение, при котором будет передаваться следующая величина и т. д. В конце цикла передачи шаговый искатель управления подключает выходные устройства преобразователей к мультивибратору, вырабатывающему электрические импульсы, что приводит их в исходное положение и подготавливает станцию к следующему циклу работы. После окончания программы измерений шаговый искатель управления дает сигнал на выключение станции. Кодирование информации осуществляется с помощью трех диодных матриц и считывающего устройства, состоящего из шагового искателя и мультивибратора. Принципиальная *схема кодирования* показана на рис. 103.

На одной матрице кодируются буквы для опознавания (окраски) передаваемой величины. На двух других образуются цифры от 0 до 9 в телеграфном коде Морзе. Каждая матрица имеет 9 вводов, соответствующих цифрам от 1 до 9 и 5 выводов, соответствующих любой цифре кода Морзе, которая имеет пять элементов: точек и тире в различных сочетаниях. Вводы матриц соединены с выходами измерительных устройств преобразователей (на схеме показано соединение с одним из счетчиков), а их выходы подключены к контактному полю шагового искателя. При включении мультивибратора на обмотку электромагнита шагового искателя (и одновременно на реле манипуляции радиопередатчика) подаются импульсы и ротор

производит «считывание» или «опрос» выходящих шин матриц. При считывании с матриц снимается сигнал, управляющий длительностью рабочего импульса мультивибратора. Наличие этого сигнала и его место на матрице определяется величиной измеряемой метеорологической величины. Если ни на одном из входов матрицы не подано напряжение (например, когда счетчик показывает нуль), то выходы матриц окажутся обесточенными и при опросе пяти безтоковых выходов матриц в цепь реле манипуля-

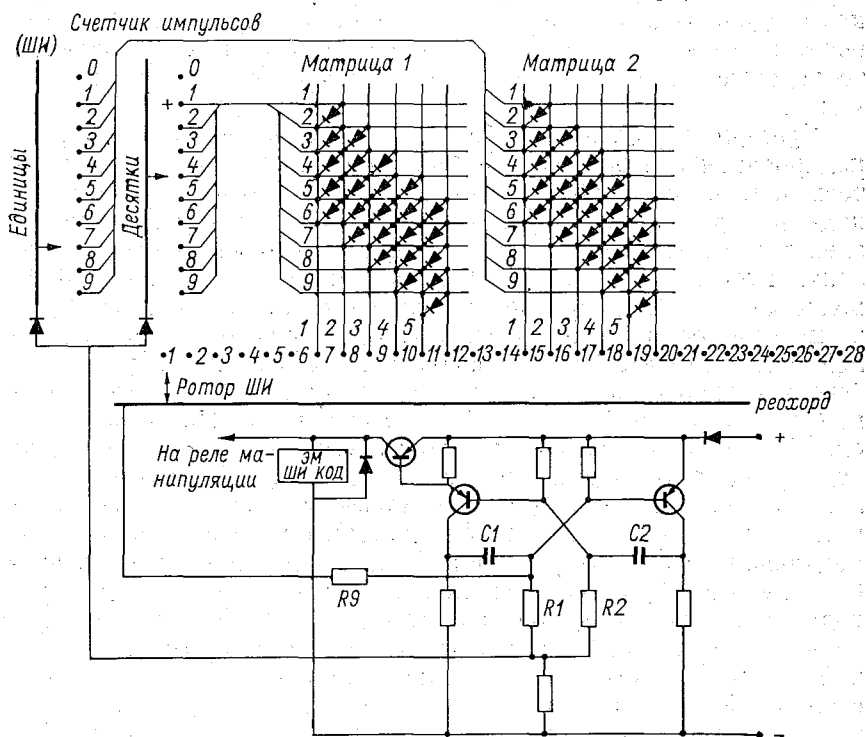


Рис. 103. Схема кодирующего устройства.

ции радиопередатчика будут поданы одинаковые по длительности импульсы — пять тире, что по телеграфному коду означает нуль.

При включении токовых входов матриц в схему мультивибратора включается добавочное сопротивление R_d и за счет изменения его режима работы длительность рабочего импульса укорачивается до «точки». Например, при подаче напряжения на вход 7 матрицы обесточенными будут выходы 1 и 2, а под током будут входы 3, 4 и 5. При считывании показаний радиопередатчик выдаст два «тире» и три «точки», что соответствует цифре 7. В целом схема кодирования позволяет передать 200 неповторяющихся значений величин, состоящих из трех цифр.

Запуск станции и передача информации в установленные сроки производится блоком автопуска, который конструктивно объединен с преобразователем давления. Основная часть блока автопуска (рис. 104) — часовой механизм с кулачковым программным устройством, с помощью которого включаются различные узлы станции. Ось заводной пружины часов через редуктор связана с осью электродвигателя подзавода, который ежедневно включается контактным кулачком и обеспечивает непрерывную работу часового механизма в течение всего срока эксплуатации станции.

Рабочий цикл станции начинается за 12 мин до начала радиопередачи метеорологической информации и проходит в такой последовательности. Через контакты программного устройства автопуска на 10 мин включается питание анемометра. За 30 с до начала радиопередачи включается подзавод часов и в блок автоматики на первое главное реле подается один пусковой импульс. Главное реле через свои контакты включает стабилизатор питания станции, блок измерения температуры, барометр, накал ламп радиопередатчика и отключает счетчик преобразователя жидких осадков. Через 30 с после первого пускового импульса

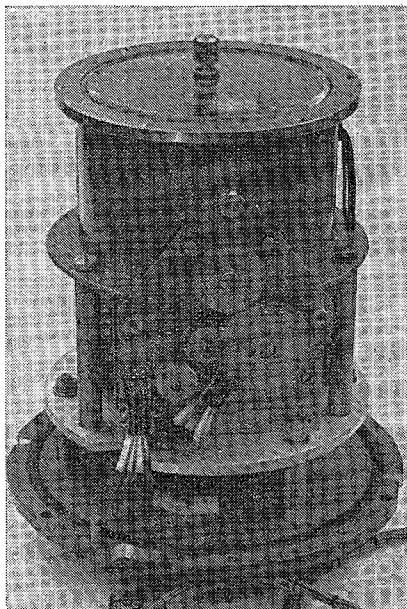


Рис. 104. Блок автопуска.

в блок автоматики на шаговый искатель управления подается второй пусковой импульс. Шаговый искатель управления включает второе главное реле и через контакты последнего подается питание на блок управления и кодирования и на радиопередатчик. С этого момента начинается цикл передачи метеорологической информации. Шаговый искатель управления производит последовательное подключение выходных измерительных устройств преобразователей к блоку кодирования. Шаговый искатель кодирования осуществляет считывание закодированной метеорологической информации с диодных матриц. Одновременно через цепь обратной связи в виде электрических импульсов, образующих телеграфный код Морзе, метеорологическая информация подается на реле манипуляции радиопередатчика и поступает в эфир через антенну. В эфире сначала передаются позывные сигналы, присвоенные данной

станции, которые повторяются шесть раз. Затем два раза передаются метеорологические данные. Порядок выдачи, содержание и расшифровка радиogramм АРМС даны в табл. 54.

Таблица 54

Расшифровка радиogramм АРМС

Последовательность	Передаваемый метеорологический сигнал	Опознавательный знак	Содержание радиogramмы после расшифровки (пример)
1	Позывные	—	РАЕМ
2	Дополнительный		Б000
3	"	Ш	Ш000
4	Солнечное сияние	Ы	
	отсутствие		Ы000
	наличие		Ы005
5	Количество осадков	Л	
	отсутствие		Л000
	5,5 мм		Л.05.5
6	Направление ветра	П	
	90°		П090
7	Скорость ветра	Ф	
	2,5 м/с		Ф02,5
	38,5 "		Ф38,5
8	Температура воздуха		
	от -50 до 0°С	Б	
	от 0 до +50°С	Ю	
	-49,5°С		Б49,5
	+5°С		Ю05,0
9	Атмосферное давление	Ж	
	975,5 мб		Ж07,5
	990,0 "		Ж40,0
	1049,5 "		Ж99,5
10	Температура блока автоматики (используется для введения поправок) при:	Щ	
	от +50 до 0°С		Щ000
	от 0 до -10°С		Щ100
	от -10 до -20°С		Щ200
	от -20 до -25°С		Щ300

При обработке радиogramмы следует учитывать необходимость введения поправок в полученные данные. К значению давления прибавляется значение начала измеряемого диапазона P_0 , указываемое в паспорте для каждой станции. К показаниям температуры воздуха и атмосферного давления вводятся шкаловые поправки Δt и ΔP_0 , определяемые из таблиц поправок по данным температуры блока автоматики. Кроме того, в значение давления вводится добавочная поправка барометра ΔP_0 , которая определяется при установке станции путем сличения с инспекторским барометром. Добавочная поправка ΔP_d приводится также в паспорте станции.

12.2. Контрольно-поверочное оборудование

Для наладки и поверки АРМС применяется специальное контрольно-поверочное оборудование, состоящее из контрольно-пускового устройства (КПУ) и ондулятора (рис. 105 и 106). КПУ позволяет осуществить запуск станции без блока автопуска, сформировать ее коммутационные и измерительные цепи и произвести необходимую проверку работы. Ондулятор обеспечивает регистрацию телеграфного кода метеорологических величин без радиопередатчика и радиоприемника.



Рис. 105. Контрольно-пусковое устройство.

КПУ выполнено в виде переносного пульта управления, на лицевой панели которого находятся кнопки и ручки запуска станции, а также гнезда для подключения телеграфного ключа, ондулятора и вольтметра для контроля напряжений источника питания.

Включение КПУ в схему станции при проверке производится с помощью разъемных соединений Ш1 и Ш2 (рис. 107). К разьему Ш1 подключается кабель, идущий от блока стабилизатора, а разъем Ш2 через дополнительный кабель, имеющийся в комплекте КПУ, соединяется с разъемом Ш21 блока автоматики.

С помощью КПУ обеспечивается проверка напряжений питания на стабилизаторе и на аккумуляторах, запуск станции и проверка программы ее работы, подключение ондулятора и запись программы работы станции непосредственно на выходе измерительно-кодирующего устройства блока автоматики, а также подключение телеграфного ключа, проверка и настройка радиопередатчиков.

Проверка программы работы АРМС с помощью КПУ производится в следующем порядке. При включении кнопки ПИ-1 на лицевой панели КПУ (см. рис. 105) в блок автоматики подается первый пусковой импульс, с приходом которого блок автоматики включает соответствующие измерительные цепи и начинается измерение и запоминание метеорологических величин. В этот период работают шаговые искатели измерительных преобразователей и счетчиков. Через 30 с включают кнопку «вкл. станции» и в блок автоматики подается второй пусковой импульс, который переводит станцию на автоматический режим работы. С этого момента включается шаговый искатель кодирования, который подает команды на шаговый искатель управления, опрашивающий выходы преобразователей, и на ленты ондулятора выдается вся закодированная метеорологическая информация. Через 80—85 с работы станция должна автоматически выключиться. Если проверка работы станции производится без радиопередатчиков (с ондулятором) и без блока стабилизаторов (устанавливается перемычка на входе КПУ, см. рис. 105), то положение ручек тумблеров на лицевой панели

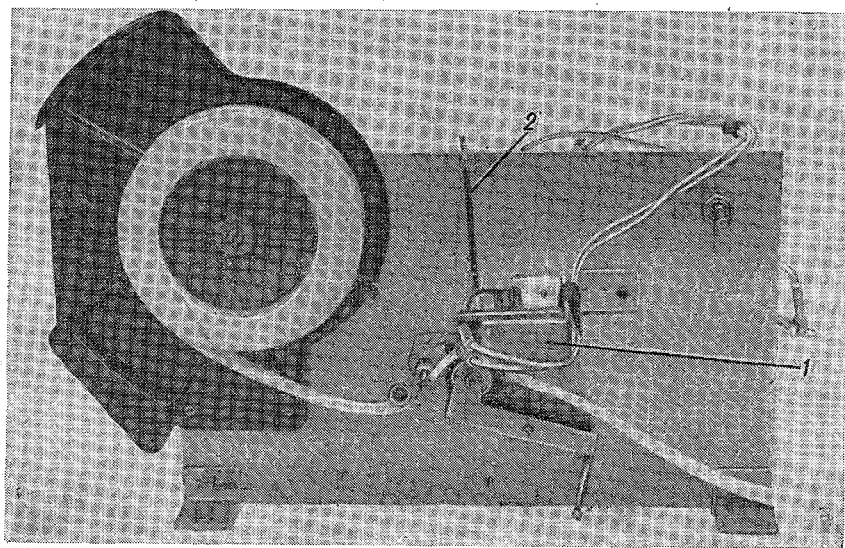


Рис. 106. Ондулятор.

КПУ будет таким: «Вкл. преобр.» — вверх, «вкл. стабил.» — вниз, «1РП $\leftarrow \rightarrow$ 2РП» — в нейтральном положении.

Ондулятор (см. рис. 106) состоит из пишущей головки и лентопротяжного механизма. Электрические импульсы с выхода кодирующего устройства блока автоматики поступают на обмотку реле 1, якорь которого механически связан с пером 2,

находящимся в соприкосновении с бумажной лентой. На период длительности импульса якорь притягивается и перо делает на ленте прочерки, соответствующие точкам и тире кода. Протяжка ленты производится с помощью электродвигателя, ось которого через редукторы связана с осью барабана, на который наматывается лента. Скорость протяжки можно регулировать с помощью потенциометра, включенного в обмотку двигателя.

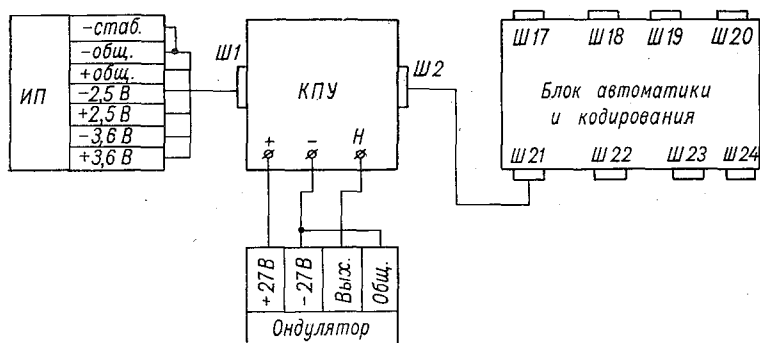


Рис. 107. Схема подключения вспомогательных устройств к блоку автоматики и кодирования при поверке.

12.3. Поверка измерительных преобразователей и блока автоматики

Перед выпуском станции в эксплуатацию, а также после ремонта или истечения сроков периодической поверки производится поэлементная проверка первичных преобразователей и блока автоматики, в результате которой определяются погрешности измерения по каждому измерительному каналу. Для поверки преобразователей АРМС применяется стандартное поверочное оборудование. Поверка блока автоматики осуществляется с помощью различных имитирующих устройств. При этом в схему станции, как было показано выше, включается контрольно-пусковое устройство и ондулятор (см. рис. 107).

Канал регистрации солнечного сияния. Поверка преобразователя солнечного сияния производится в соответствии с методикой, изложенной в п. 7.3. Для поверки блока автоматики по этому каналу собирается схема имитатора, показанная на рис. 108. С помощью имитатора от источника тока *Б* на вход блока автоматики (разъем *ШР-20*) подаются пороговые значения выходного сигнала преобразователя, соответствующие «наличию», или «отсутствию» солнечного сияния. Эти значения берутся из паспорта и устанавливаются по миллиамперметру потенциометром *R2*. При каждом значении сигнала

с помощью КПУ делают запуск станции и снимают радиограмму с ленты ондулятора. Сигналу «наличие» солнечного сияния должна соответствовать запись «М.005», а сигналу «отсутствие» — «Ы.000». Проверка указанным способом делается на всех трех входах канала (при положениях переключателя 1, 2, 3).

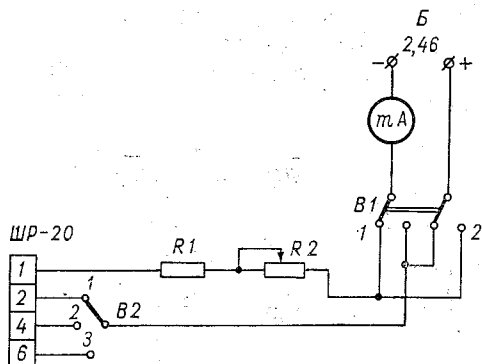


Рис. 108. Схема проверки канала солнечного сияния.

Канал измерения количества жидких осадков. Приемником жидких осадков (рис. 109) является цилиндрический сосуд площадью 500 см². Через сливную воронку на дне сосуда осадки попадают в челнок, который разделен на две симметричные половины. Когда одна половина заполнится осадками (в количестве 0,5 мм), челнок опрокинется и для приема будет подставлена вторая половина. На оси челнока укреплен постоянный магнит, который в момент опрокидывания проходит над специальным герметизированным контактом, включающим цепь питания электромагнита счетчика в блоке автоматики. Таким образом, количество выпавших осадков определяется по числу качаний челнока, а значит — по числу электрических импульсов, поступивших на счетчик. Одно качание челнока соответствует 0,5 мм осадков и одному импульсу на счетчике. При проверке преобразователя осадков шаблоном измеряется площадь приемного сосуда и проверяется ее соответствие допускам. Далее, в измерительную бюретку наливают количество

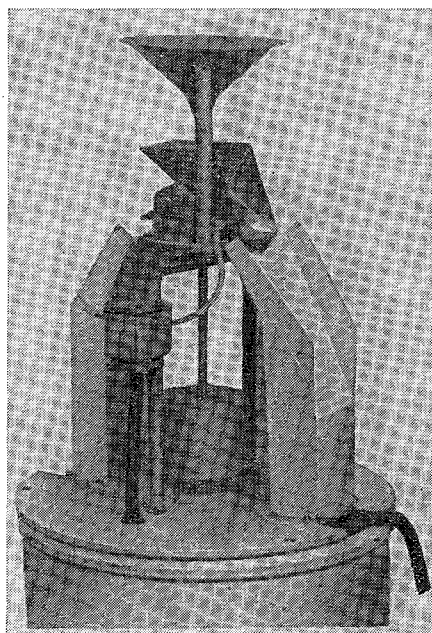


Рис. 109. Преобразователь жидких осадков.

воды, соответствующее 1, 10 и 25 мм осадков, и поочередно выливают ее в приемный сосуд, каждый раз отмечая по счетчику число качаний челнока. Расхождения в показаниях бюретки и счетчика не должны быть больше 0,1 мм.

Блок автоматики проверяют, кратковременно замыкая штырьки 1, 2 разъема Ш23 с помощью ключа или кнопки и, подавая тем самым на вход счетчика осадков электрические импульсы. Проверку производят в трех точках диапазона: 1, 10 и

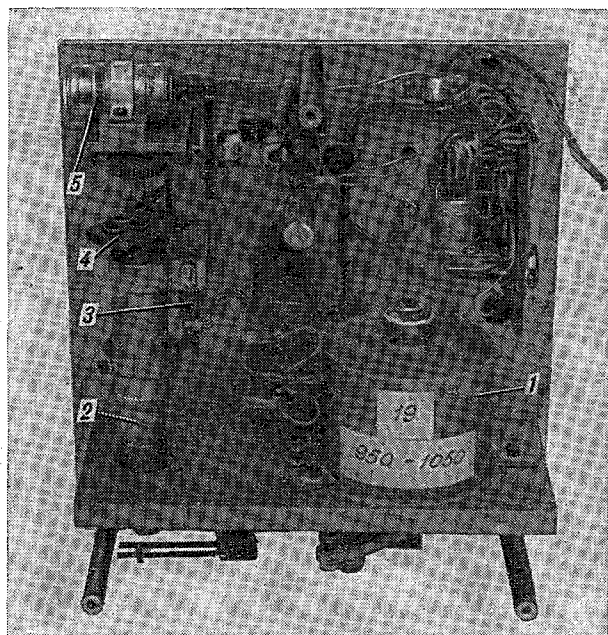


Рис. 110. Преобразователь давления.

25 мм. Полученная на ленте ондулятора запись в этих точках должна быть в виде: «Л010, Л10,0 и Л25,0». Отклонения данных записи от имитируемых значений не должны превышать 0,5 мм.

Канал измерения атмосферного давления. Атмосферное давление измеряется с помощью блока aneroidных коробок 1 (рис. 110). Нижний свободный конец блока коробок опирается на короткое плечо поворотного коромысла. На конце длинного плеча коромысла укреплена биметаллическая пластинка — термокомпенсатор. Перемещение конца этой пластинки, пропорциональное изменению давления, измеряется микрометрическим винтом 2, который приводится во вращение через механический редуктор от реверсивного электродвигателя 5. На выходной оси редуктора закреплен постоянный магнит 4, который при вращении замыкает герметизированный

контакт 3 в цепи управления счетчика атмосферного давления. При включении электродвигателя микрометрический винт перемещается от своего первоначального положения до соприкосновения с позолоченным контактом на биметаллической пластинке коромысла. Одновременно при каждом обороте магнита на счетчик подаются электрические импульсы. В момент касания контакта включается реле, переключающее полярность напряжения питания реверсивного двигателя, и микрометрический винт возвращается в исходное положение. Редуктор преобразователя давления рассчитан так, что при изменении давления на 100 мб

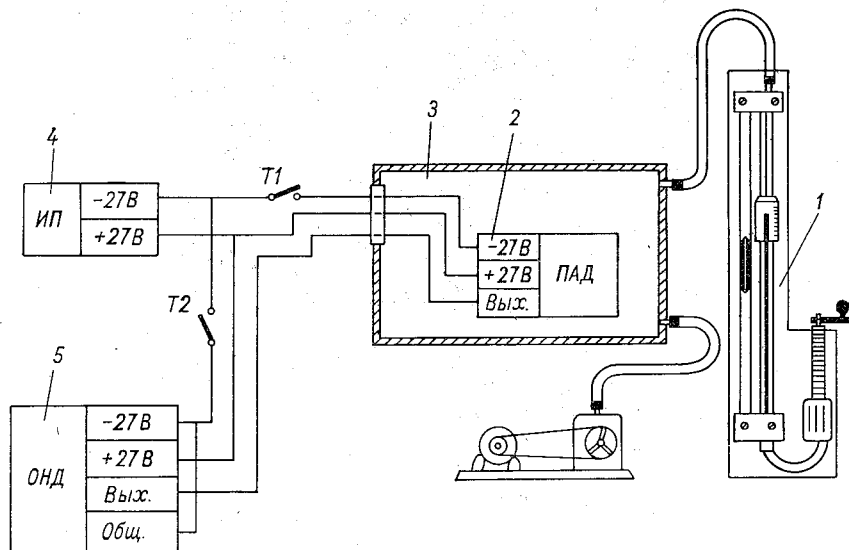


Рис. 111. Схема проверки преобразователя атмосферного давления.

магнит сделает 200 оборотов и на счетчик будет подано 200 импульсов. Следовательно, один импульс на счетчике соответствует давлению 0,5 мб. При каждом измерении счет импульсов ведется от нижнего предела измерения давления P_0 , на которое преобразователь был отрегулирован при установке на месте.

Проверка преобразователя давления производится по методике, изложенной для барометра-анероида в п. 5.4. Преобразователь 2 (рис. 111) устанавливается в барокамере 3, к которой подключен манометр 1, и через электрические входы соединяется с источником питания 4 и ондулятором 5. Изменяя давление в барокамере, через каждые 10 мб делают отсчеты по манометру и снимают показания с ленты ондулятора. Отсчеты по манометру делаются в момент касания контактов микрометрического винта и коромысла барокоробок (что можно наблюдать через дверцу барокамеры) и прекращения следования импуль-

сов на ленте ондулятора. Сличения на всех точках выполняют как при понижении, так и при повышении давления. Средние расхождения в показаниях манометра и станции не должны превышать предельно допустимой погрешности измерения $\pm 1,0$ мб. При обработке результатов поверки в показания преобразователя давления вводятся поправки на температуру ΔP_t и добавочная поправка ΔP_d . До поверки должна быть выполнена регулировка термокомпенсатора блока барокоробок, определен температурный коэффициент барометра и составлены таблицы температурных поправок.

Для проверки работы блока автоматики к штырькам 1 и 2 (рис. 112) разъема на защитной крышке преобразователя включается источник постоянного напряжения 25—27 В, а к штырькам 1а и 3а — кнопка, с помощью которой на измерительный канал блока автоматики подаются электрические импульсы, соответствующие сигналам преобразователя давления в двух-трех точках

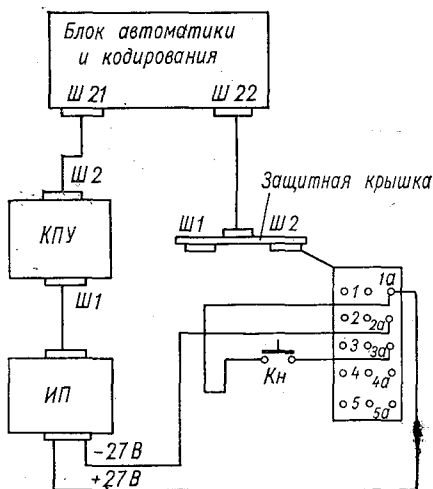


Рис. 112. Схема подключения вспомогательных приспособлений при поверке АРМС по каналу атмосферного давления.

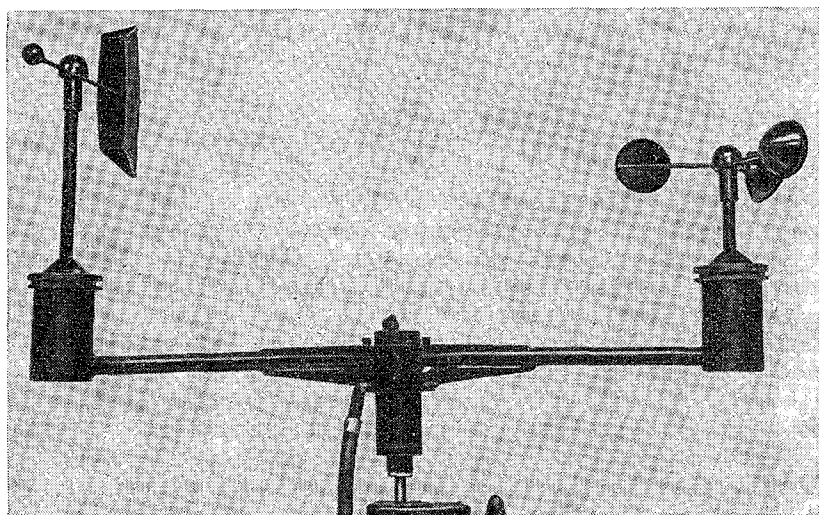


Рис. 113. Датчик направления и скорости ветра.

диапазона измерения. Величина атмосферного давления на выходе блока автоматики вычисляется по формуле

$$P_{\text{вых}} = P_0 + P_{\text{вх}} = P_0 + 0,5n,$$

где P_0 — нижний предел измерения атмосферного давления для данной станции (указывается в паспорте), n — число импульсов, задаваемых на вход блока автоматики кнопкой. Например, при изменении давления на 5 мб подается 10 импульсов, что должно соответствовать показаниям на ленте ондулятора. В исправном блоке автоматики расхождение между задаваемым значением давления и соответствующим ему показанием на ленте ондулятора не должно быть более 0,5 мб.

Канал измерения скорости и направления ветра. Для измерения скорости ветра применен трехчашечный контактный анемометр (рис. 113). Вращение чашек передается через редуктор постоянному магниту, который при каждом своем обороте кратковременно замыкает герметизированный контакт, включающий цепь питания электромагнита шагового искателя-счетчика средней скорости. При каждом замыкании контакта на счетчик подаются электрические импульсы, которые им подсчитываются и запоминаются в течение 10-минутного интервала осреднения, после чего происходит кодирование и передача значения средней скорости ветра. Передаточное число редуктора выбрано таким, что при средней скорости ветра 0,5 м/с на счетчик подается один электроимпульс. При наибольшей величине средней скорости ветра 40 м/с на счетчик подается 80 импульсов. Включение анемометра на 10 мин осуществляется через контакты часового механизма автопуска. В момент замыкания этих контактов включается источник питания в цепи электромагнита шагового искателя и начинается счет импульсов.

Поверка преобразователя скорости ветра производится в аэродинамической трубе по методике, изложенной в п. 9.4. В результате этой поверки определяется градуировочная характеристика анемометра, т. е. зависимость его показаний n от скорости воздушного потока v . Одновременно находится начальное значение шкалы анемометра v_0 . Время осреднения показаний анемометра определяется по секундомеру. Для счета импульсов на выходе анемометра используется электромеханический счетчик. По результатам измерений строится градуировочный график $n=f(v)$. Отклонения показаний анемометра от градуировочной линии в любой точке не должны превышать величины $\Delta v = (v_0 + 0,05 v)$. Начальное значение шкалы v_0 не должно быть больше 1 м/с. Поверка блока автоматики по каналу «скорость ветра» выполняется по схеме рис. 114.

При поверке замыкаются контакты автопуска 1 и 2 (рис. 112) на разъеме Ш1 и кратковременным нажатием кнопки, включенной к гнездам 15 и 16 разъема Ш18, на вход счетчика средней

скорости подаются электрические импульсы, соответствующие трем-четырем значениям скорости. Если взять, например, значе-

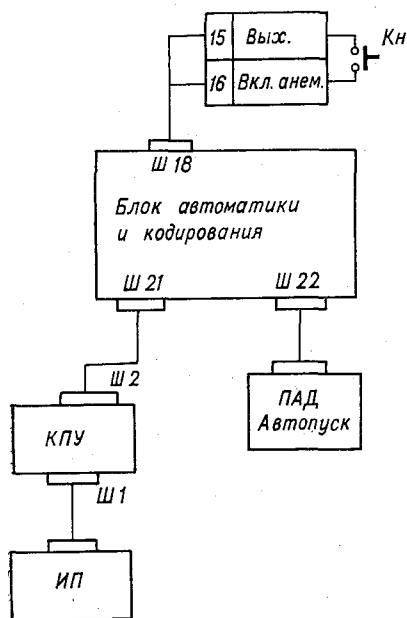


Рис. 114. Схема подключения вспомогательных приспособлений при поверке АРМС по каналу скорости ветра.

ния 1, 12,5 и 25 м/с, то на вход должно быть подано соответственно 2, 25 и 50 импульсов; а на ленте ондулятора получим: $\Phi 01,0$, $\Phi 12,5$ и $\Phi 25,0$. Отклонение полученных значений от заданных не должно превышать 0,5 м/с.

Направление ветра определяется с помощью флюгарки. Ось вращения флюгарки через магнитную муфту связана с контактной стрелкой, которая располагается над круговой шкалой, разделенной на 36 секций. Отводы от каждой секции идут непосредственно на входные матрицы кодирующего устройства.

Под стрелкой находится электромагнит, с помощью которого она может прижиматься к шкале для снятия показаний румбометра.

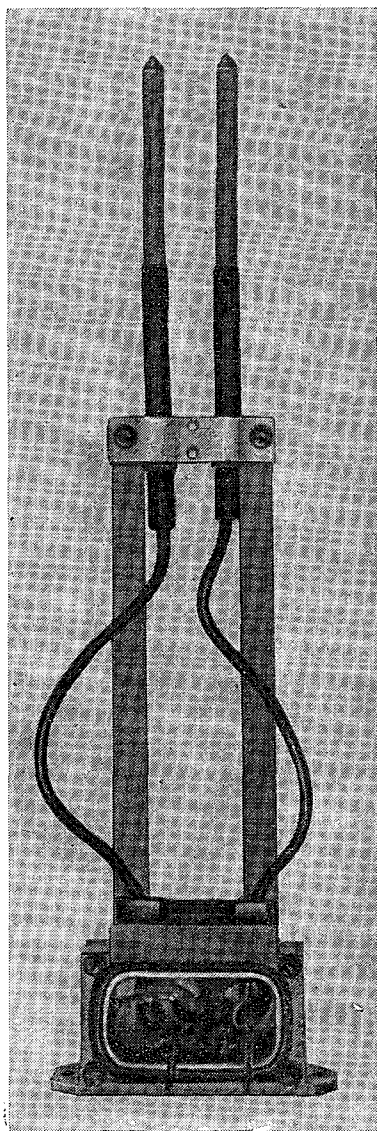


Рис. 115. Преобразователь температуры.

При включении румбометра стрелка прижимается к тем секциям шкалы и замыкает те вводы матриц кодирующего устройства, которые соответствуют измеряемому направлению ветра. Поверка румбометра производится по шаблону, который размещается под флюгаркой. Последовательно устанавливая флюгарку через 45 делений шкалы сначала по часовой стрелке, а потом в обратном направлении, запускают станцию и снимают отсчеты направления ветра на ленте ондулятора. Расхождения между заданным и полученным значениями должны быть в пределах $\pm 10^\circ$.

Канал измерения температуры. Преобразователь температуры состоит из двух медных термометров сопротивления (рис. 115), соединенных последовательно и включенных в описанную выше мостовую измерительную схему блока автоматики по трехпроводной схеме. Перед выпуском в эксплуатацию термометры сопротивления проверяются по методике, изложенной в п. 4.3. При поверке измеряется сопротивление термометров R_0 и R_{100} в двух постоянных точках 0 и 100° и вычисляется отношение R_{100}/R_0 или коэффициент α . По полученным параметрам определяется градуировочная характеристика термометра в интервале температур от -50 до $+50^\circ\text{C}$ и находится отклонение ее от данных стандартной градуировочной таблицы. У годных термометров это отклонение не должно превышать установленного допуска. Для проверки измерительной части блока автоматики применяется магазин сопротивления класса 0,02, который подключается к выходным гнездам преобразователя 1, 3 или 1, 5 на разъеме Ш19 (рис. 102). Устанавливая на магазине сопротивлений значения, соответствующие -50 , 0, $+20$ и $+50^\circ\text{C}$, каждый раз производят запуск станции и снимают показания с ленты ондулятора. Указанным значениям диапазона должна соответствовать радиограмма: «Б50.0 Б0.00 Ю20.0 Ю50.0».

Расхождение между имитируемым значением температуры на входе блока автоматики и показанием на ондуляторе не должно превышать $0,5^\circ$.

Лабораторные работы

12.1. ПОВЕРКА АРМС В КОМПЛЕКТЕ

Содержание работы. Проверка работоспособности всех узлов станции и программы ее работы в целом.

Проверочное оборудование и приборы: Контрольно-пусковое устройство (КПУ), вольтметр постоянного тока (0—50 В) класса 2,5, секундомер, ондулятор, радиоприемник, жидкостная ванна, термометр ртутный психрометрический, барометр ИР, лимб с делениями от 0 до 360° , магазин сопротивлений МСР-60 класса 0,02, измерительный стакан ГОСТ 6800—53 тип А, емкостью 500 см^3 , анемометр МС-13.

Указания по выполнению работы. Установить первичные преобразователи в рабочее положение, подключить к блоку автоматики КПУ (см. рис. 105) ондулятор и соединить все блоки АРМС в соответствии со схемой и указаниями инструкции по монтажу и эксплуатации станции.

Проверить соответствие напряжения источников питания следующим номинальным его значениям;

Аккумуляторная батарея	31 В (гнезда 9, 10 КПУ)
Мостовая схема узла измерения температуры	3,6 В (гнезда 5, 6 КПУ)
Лампочка нуль-органа	2,4 В (гнезда 7, 8 КПУ)
Выход стабилизатора	25—31 В (гнезда 1, 2 КПУ)

Проверка напряжения проводится путем подключения на вход стабилизатора дополнительного источника напряжения 4—6 В. Работа блока защиты АВЗС — путем отключения нескольких секций аккумулятора, до тех пор, пока напряжение на гнездах 9, 10 не уменьшится до 26 В. В этом случае после подачи первого пускового импульса напряжение на гнездах 1 и 2 будет отсутствовать и станция не запустится.

Для проверки правильности программы работы станции с КПУ в блок автоматики подается первый пусковой импульс и через 30 с — второй пусковой импульс. После подачи первого пускового импульса должны автоматически выполняться следующие операции: включение стабилизатора АРЭС, измерение температуры и атмосферного давления, включение накала ламп радиопередатчика.

При включении стабилизатора появляется напряжение на гнездах 1, 2 КПУ и начинают работать шаговые искатели узлов измерения температуры и давления. С приходом второго пускового импульса включается блок управления и кодирования и начинается выдача метеорологической информации. Правильность выдачи программы проверяется по ленте ондулятора или по сигналам радиопередатчика с помощью радиоприемника. По окончании программы станция должна автоматически выключаться.

Для проверки работоспособности автопуска нужно, медленно поворачивая головку часовой оси в направлении, указанном на смотровом стекле, завести часы. В момент включения подзавода должен произойти автоматический запуск станции и радиопередатчик передает текст радиogramмы. Длительность работы одного цикла проверяется по секундомеру, она должна быть в пределах 80—85 с. Затем проверяется правильность «набора» и «сброса» средней скорости ветра. Для этого, поставив при помощи ручки подзавода кулачок включения анемометра в положение, при котором он замкнет контактную группу, вращают ось анемометра от руки так, чтобы он набрал несколько импульсов, и с помощью КПУ запускают станцию. В тексте радиogramмы должно быть передано соответствующее значение средней скорости. После окончания цикла станция запускается вторично (при неподвижных чашках). В этом случае в тексте радиogramмы должно быть передано значение «Ф000», что характеризует правильность сброса скорости.

Для проверки правильности регистрации набора и сброса метеорологических величин осуществляется два последовательных цикла работы станции. В течение первого цикла проверяется правильность набора, или измерения метеорологической величины, под воздействием которой находится тот или иной преобразователь. При этом заданная на входе величина должна соответствовать ее значению по радиogramме. Во время второго цикла преобразователи отключаются или прекращается воздействие на них измеряемой величины. На радиogramму в этом случае должно выдаваться нулевое значение величин, что говорит о сбросе на нуль показаний измерительных счетчиков.

Для проверки работы преобразователей применяются поверочные устройства и приспособления. Румбометр проверяется по лимбу, разделенному на 360°, как показано в п. 9.4. Преобразователь солнечного сияния при проверке

освещается лампой мощностью в 150 Вт. Проверку производят в шести положениях преобразователя, поворачивая его каждый раз на угол в 60° относительно лампы.

Преобразователь осадков можно поверить с помощью измерительного стакана, наливая точно известное количество воды в приемный сосуд.

Термосопротивление преобразователя температуры помещается в сосуд с тающим льдом или в жидкостную термованну, температура которой контролируется по психрометрическому термометру.

Показания барометра станции сличаются с инспекторским барометром ИР.

Включается автопуск и проверяется программа работы станции по данным табл. 54.

12.2. ПОВЕРКА БЛОКА АВТОПУСКА

Содержание работы. Проверка исправности часов и механизмов автопуска и режима автоматического подзавода часов. Определение суточного хода часов.

Поверочное оборудование и приборы. КПУ, источник питания напряжением 27 В, электромеханический счетчик, секундомер, ондулятор, радиоприемник.

Указания по выполнению работы. Исправность часов оценивается по качеству хода и правильности включения контактов на часовой оси. У исправных часов амплитуда колебаний маятника не меньше 220° . Если маятник остановить, а затем плавно повернуть выходное колесо блока автопуска по часовой стрелке, то он должен быстро перейти из состояния покоя в режим колебаний. Правильность включения и выключения контактов проверяется по секундомеру с помощью омметра, подключаемого к контактам, как указано в табл. 55.

Таблица 55

Проверка включения контактов механизма автопуска

Назначение контактов	Контакты для включения омметра	Время	
		замыкания	отключения
1. Включение анемометра	$U_1 - U_2$	600 с	± 3 с
2. Включение подзавода часов и пуск станции	$U_3 - U_2$	30 "	± 5 "
3. Аварийное выключение станции	$U_4 - U_2$	5 мин	± 2 мин

Для проверки механизма автопуска к штырькам 1 и 2 его разъема подключают источник питания напряжением 27 В и замыкают контактную группу на часовой оси. При этом механизм подзавода должен заработать и через 3 секунды автоматически выключиться.

При проверке надежности подзавода пружины часов к контактам разъема автопуска подключаются источник питания напряжением 27 В и электромеханический счетчик. Сняв с редуктора промежуточное колесо, заводят часовой механизм от руки, для чего поворачивают заводное колесо по часовой стрелке на один оборот. Затем устанавливают промежуточное колесо на место и ставят часы на проверку в течение одного часа. В течение этого времени контролируется амплитуда колебаний маятника и количество подзаводов по счетчику.

Суточный ход часов зависит от изменения температуры окружающей среды и находится из графика (рис. 116), прилагаемого к каждому часовому

механизму. На оси абсцисс графика откладывается температура $t^{\circ}\text{C}$, на оси ординат — суточный ход Δ в секундах. Изменение величины суточного хода на месте установки станции удобно определять с помощью палетки — копии координаты графика, которая вычерчивается на прозрачной бумаге. Нуль палетки совмещается с точкой на кривой графика, в которую с оси абсцисс спроектировано значение средней годовой температуры на глубине установки автопуска. При этом ось палетки должна быть параллельна оси ординат. Затем на оси абсцисс откладывается значение температуры на месте установки, измеренное в момент проведения поверки. Это значение проектируется по вертикали на кривую графика и затем — по горизонтали на ось палетки.

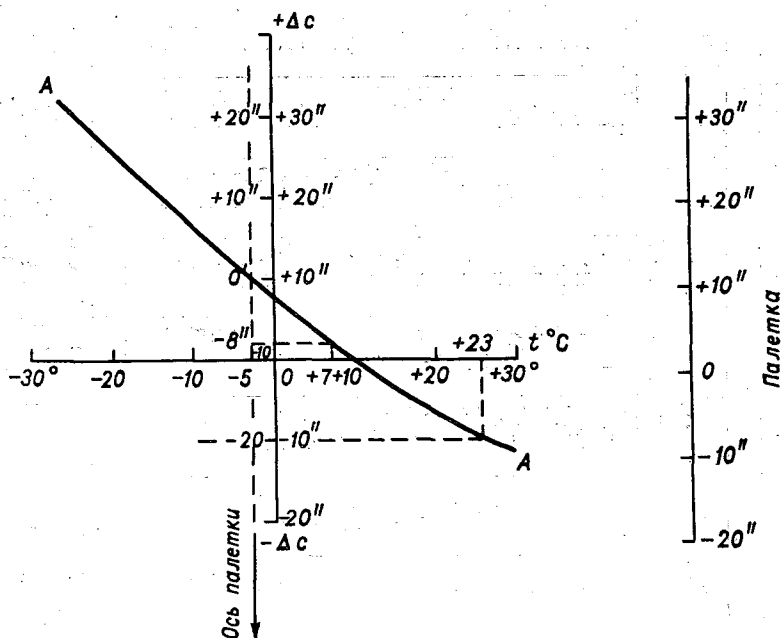


Рис. 116. График для определения поправки суточного хода часового механизма.

« $+\Delta$ » — опережение механизма, « $-\Delta$ » — отставание.

Величина суточного хода часов отсчитывается в точке пересечения линий на палетке. Если она имеет знак « $+$ », то часы будут уходить вперед, а при знаке « $-$ » часы будут отставать. Полученная поправка используется для регулировки хода часов.

Суточный ход можно определить также по радиосигналам точного времени с помощью секундомера. Секундомер включают по сигналу времени и выключают в момент включения автоматического подзавода часов, который определяется на слух. Через 24 часа измерения повторяются. Алгебраическая разность этих двух отсчетов времени по секундомеру будет равна суточному ходу или погрешности часов за сутки. Найденную величину суточного хода уточняют в течение двух-трех суток и сравнивают с расчетной. При наличии разности между рассчитанным по графику значением суточного хода и фактической его величиной, измеренной по радиосигналам точного времени, производится регулировка хода часов, с помощью регулятора согласно инструкции. Изменение температуры часового механизма при определении суточного хода не должно превышать $2-3^{\circ}\text{C}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Коэффициент W в зависимости от отношения R_{100}/R_0 и температуры t для термометров ПТС-500 из платины ПЛ-2 и ПЛ-1

$t^{\circ}\text{C}$

R_{100}/R_0	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90

W для термометров из платины ПЛ-2

1,3900	0,7602	0,8005	0,8407	0,8807	0,9206	0,9604	1,0000	1,0395	1,0789	1,1182	1,1574	1,1965	1,2354	1,2742	1,3129	1,3515
3901	7602	8005	8407	8807	9206	9604	0000	0395	0790	1183	1574	1965	2355	2743	3130	3516
3902	7601	8004	8406	8806	9206	9603	0000	0395	0790	1183	1575	1966	2355	2744	3131	3517
3903	7601	8004	8406	8806	9205	9603	0000	0396	0790	1183	1575	1966	2356	2744	3132	3518
3904	7600	8003	8405	8806	9205	9603	0000	0396	0790	1184	1576	1967	2356	2745	3133	3519
3905	7599	8003	8405	8806	9205	9603	0000	0396	0790	1184	1576	1967	2357	2746	3133	3520
3906	7599	8002	8404	8805	9205	9603	0000	0396	0791	1184	1576	1967	2358	2746	3134	3521
3907	7598	8002	8404	8805	9204	9603	0000	0396	0791	1184	1577	1968	2358	2747	3135	3522
3908	7598	8001	8404	8805	9204	9603	0000	0396	0791	1185	1577	1969	2359	2748	3136	3522
3909	7597	8001	8403	8804	9204	9603	0000	0396	0791	1185	1578	1969	2359	2748	3137	3523
3910	7596	8000	8403	8804	9204	9602	0000	0396	0791	1185	1578	1970	2360	2749	3137	3524
3911	7596	8000	8402	8804	9204	9602	0000	0397	0792	1186	1578	1970	2361	2750	3138	3525
3912	7595	7999	8402	8803	9204	9602	0000	0397	0792	1186	1579	1971	2361	2750	3139	3526
3913	7595	7999	8402	8803	9204	9602	0000	0397	0792	1186	1579	1971	2362	2751	3140	3527
3914	7594	7998	8401	8803	9203	9602	0000	0397	0792	1187	1580	1972	2362	2752	3141	3528
3915	7593	7998	8401	8802	9203	9602	0000	0397	0792	1187	1580	1972	2363	2753	3141	3529
3916	7593	7997	8401	8802	9203	9602	0000	0397	0793	1187	1580	1973	2364	2753	3142	3530
3917	7592	7997	8401	8802	9202	9602	0000	0397	0793	1187	1581	1973	2364	2754	3143	3530
3918	7592	7996	8400	8802	9202	9602	0000	0397	0793	1188	1581	1974	2365	2755	3144	3531
3919	7591	7996	8400	8801	9202	9602	0000	0397	0793	1188	1582	1974	2365	2756	3145	3532
3920	7590	7995	8399	8801	9202	9602	0000	0397	0793	1188	1582	1974	2366	2756	3145	3533

W для термометров из платины ПЛ-1

1,3920	0,7592	0,7996	0,8399	0,8801	0,9202	0,9602	1,0000	1,0397	1,0793	1,1188	1,1582	1,1975	1,2366	1,2756	1,3145	1,3533
3921	7591	7996	8399	8801	9202	9602	0000	0397	0793	1188	1582	1976	2367	2757	3146	3534
3922	7591	7995	8398	8800	9202	9602	0000	0397	0793	1189	1583	1976	2367	2757	3147	3535
3923	7590	7994	8398	8800	9201	9602	0000	0397	0794	1189	1583	1977	2368	2758	3148	3536
3924	7590	7994	8397	8800	9201	9602	0000	0397	0794	1189	1584	1977	2368	2759	3149	3537
3925	7589	7994	8397	8799	9201	9602	0000	0398	0794	1190	1584	1978	2369	2760	3149	3538

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Температура кипения воды в зависимости от барометрического давления P

(Показания барометра отнесены к 0°C и к нормальному ускорению свободного падения в зависимости от широты места наблюдения)

P мм	0	0,2	0,4	0,6	0,8	P мм	0	0,2	0,4	0,6	0,8
675	96,72	96,73	96,74	96,75	96,75	720	98,50	98,51	98,51	98,52	98,53
676	96,76	96,77	96,78	96,79	96,79	721	98,54	98,54	98,55	98,56	98,57
677	96,80	96,81	96,82	96,83	96,84	722	98,57	98,58	98,59	98,60	98,61
678	96,84	96,85	96,86	96,87	96,88	723	98,61	98,62	98,63	98,64	98,64
679	96,88	96,89	96,90	96,91	96,92	724	98,65	98,66	98,67	98,67	98,68
680	96,92	96,93	96,94	96,95	96,96	725	98,69	98,70	98,71	98,71	98,72
681	96,96	96,97	96,98	96,99	97,00	726	98,73	98,74	98,74	98,75	98,76
682	97,00	97,01	97,02	97,03	97,04	727	98,77	98,77	98,78	98,79	98,80
683	97,04	97,05	97,06	97,07	97,08	728	98,80	98,81	98,82	98,83	98,83
684	97,09	97,09	97,10	97,11	97,12	729	98,84	98,85	98,86	98,87	98,87
685	97,13	97,13	97,14	97,15	97,16	730	98,88	98,88	98,88	98,90	98,91
686	97,17	97,17	97,18	97,19	97,20	731	98,92	98,92	98,93	98,94	98,95
687	97,21	97,21	97,22	97,23	97,24	732	98,95	98,96	98,97	98,98	98,98
688	97,25	97,25	97,26	97,27	97,28	733	89,99	99,00	99,00	99,01	99,02
689	97,29	97,29	97,30	97,31	97,32	734	99,03	99,04	99,04	99,05	99,06
690	97,33	97,33	97,34	97,35	97,36	735	99,07	99,07	99,08	99,09	99,10
691	97,36	97,37	97,38	97,39	97,40	736	99,11	99,12	99,12	99,13	99,14
692	97,40	97,41	97,42	97,43	97,44	737	99,14	99,15	99,16	99,17	99,17
693	97,44	97,45	97,46	97,47	97,48	738	99,18	99,19	99,20	99,20	99,21
694	97,48	97,49	97,50	97,51	97,52	739	99,22	99,23	99,23	99,24	99,25
695	97,52	97,53	97,54	97,55	97,56	740	99,26	99,26	99,27	99,28	99,29
696	97,56	97,57	97,58	97,59	97,59	741	99,29	99,30	99,31	99,32	99,32
697	97,60	97,61	97,62	97,63	97,63	742	99,33	99,34	99,35	99,35	99,36
698	97,64	97,65	97,66	97,67	97,67	743	99,37	99,38	99,38	99,39	99,40
699	97,68	97,69	97,70	97,71	97,71	744	99,41	99,41	99,42	99,43	99,44
700	97,72	97,73	97,74	97,74	97,75	745	99,44	99,45	99,46	99,47	99,47
701	97,76	97,77	97,78	97,82	97,79	746	99,48	99,49	99,50	99,50	99,51
702	97,80	97,81	97,81	97,82	97,83	747	99,52	99,53	99,53	99,54	99,55
703	97,84	97,85	97,85	97,86	97,87	748	99,56	99,56	99,57	99,58	99,58
704	97,88	97,89	97,89	97,90	97,91	749	99,59	99,60	99,61	99,62	99,62
705	97,92	97,92	97,93	97,94	97,95	750	99,63	99,64	99,65	99,65	99,66
706	96,96	97,96	97,97	97,98	97,99	751	99,67	99,67	99,68	99,69	99,70
707	98,00	98,00	98,01	98,02	98,03	752	99,70	99,71	99,72	99,73	99,73
708	98,03	98,04	98,05	98,06	98,07	753	99,74	99,75	99,76	99,76	99,77
709	98,07	98,08	98,09	98,10	98,10	754	99,78	99,79	99,79	99,80	99,81
710	98,11	98,12	98,13	98,14	98,14	755	99,82	99,82	99,83	99,84	99,85
711	98,15	98,16	98,17	98,17	98,18	756	99,85	99,86	99,87	99,88	99,88
712	98,19	98,20	98,21	98,21	98,22	757	99,89	99,90	99,90	99,91	99,92
713	98,23	98,24	98,24	98,25	98,26	758	99,93	99,93	99,94	99,95	99,96
714	98,27	98,27	98,28	98,29	98,30	759	99,96	99,97	99,98	99,99	99,99
715	98,31	98,31	98,32	98,33	98,34	760	100,00	100,00	100,02	100,02	100,03
716	98,34	98,35	98,36	98,37	98,38	761	100,04	100,04	100,05	100,06	100,06
717	98,38	98,39	98,40	98,41	98,41	762	100,07	100,08	100,09	100,10	100,10
718	98,42	98,43	98,44	98,44	98,45	763	100,11	100,12	100,13	100,13	100,14
719	98,46	98,47	98,48	98,48	98,49						

P мм	0	0,2	0,4	0,6	0,8	P мм	0	0,2	0,4	0,6	0,8
764	100,15	100,15	100,16	100,17	100,18	775	100,54	100,56	100,56	100,57	100,58
765	100,18	100,19	100,20	100,21	100,21	776	100,58	100,59	100,60	100,60	100,61
766	100,22	100,23	100,24	100,24	100,25	777	100,62	100,63	100,63	100,64	100,65
767	100,26	100,26	100,27	100,28	100,29	778	100,65	100,66	100,67	100,68	100,68
768	100,29	100,30	100,31	100,32	100,32	779	100,69	100,70	100,70	100,71	100,72
769	100,33	100,34	100,34	100,35	100,36	780	100,73	100,73	100,74	100,75	100,75
770	100,37	100,37	100,38	100,39	100,40	781	100,76	100,77	100,78	100,78	100,79
771	100,40	100,41	100,42	100,42	100,43	782	100,80	100,80	100,81	100,82	100,83
772	100,44	100,45	100,45	100,45	100,47	783	100,83	100,84	100,85	100,85	100,85
773	100,48	100,48	100,48	100,50	100,50	784	100,87	100,88	100,88	100,89	100,90
774	100,51	100,52	100,53	100,53	100,54	785	100,90	100,91	100,92	100,93	100,93

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Температура точки росы в зависимости от температуры подогрева чувствительного элемента преобразователя влажности УАТГМС

t° C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
-33	-46,1									
-32	-45,5	-45,6	-45,6	-45,7	-45,7	-45,8	-45,9	-45,9	-46,0	-46,0
-31	-44,8	-44,9	-44,9	-45,0	-45,1	-45,2	-45,2	-45,3	-45,4	-45,4
-30	-44,2	-44,3	-44,3	-44,4	-44,4	-44,5	-44,6	-44,6	-44,7	-44,7
-29	-43,5	-43,6	-43,6	-43,7	-43,8	-43,8	-43,9	-44,0	-44,1	-44,1
-28	-42,8	-42,9	-42,9	-43,0	-43,1	-43,2	-43,2	-43,3	-43,4	-43,4
-27	-42,1	-42,2	-42,2	-42,3	-42,4	-42,4	-42,5	-42,6	-42,7	-42,7
-26	-41,5	-41,6	-41,6	-41,7	-41,7	-41,8	-41,9	-41,9	-42,0	-42,0
-25	-40,8	-40,9	-40,9	-41,0	-41,1	-41,2	-41,2	-41,3	-41,4	-41,4
-24	-40,1	-40,2	-40,2	-40,3	-40,4	-40,4	-40,5	-40,6	-40,7	-40,7
-23	-39,4	-39,5	-39,5	-39,6	-39,7	-39,8	-39,8	-39,9	-40,0	-40,0
-22	-38,8	-38,9	-38,9	-39,0	-39,0	-39,1	-39,2	-39,2	-39,3	-39,3
-21	-38,1	-38,2	-38,2	-38,3	-38,4	-38,4	-38,5	-38,6	-38,7	-38,7
-20	-37,4	-37,5	-37,5	-37,6	-37,7	-37,8	-37,8	-37,9	-38,0	-38,0
-19	-36,8	-36,9	-36,9	-37,0	-37,0	-37,1	-37,2	-37,2	-37,3	-37,3
-18	-36,1	-36,2	-36,2	-36,3	-36,4	-36,4	-36,5	-36,6	-36,7	-36,7
-17	-35,4	-35,5	-35,5	-35,6	-35,7	-35,8	-35,8	-35,9	-36,0	-36,0
-16	-34,8	-34,9	-34,9	-35,0	-35,0	-35,1	-35,2	-35,2	-35,3	-35,3
-15	-34,1	-34,2	-34,2	-34,3	-34,4	-34,4	-34,5	-34,6	-34,7	-34,7
-14	-33,5	-33,6	-33,6	-33,7	-33,7	-33,8	-33,9	-33,9	-34,0	-34,0
-13	-32,8	-32,9	-32,9	-33,0	-33,1	-33,2	-33,2	-33,3	-33,4	-33,4
-12	-32,1	-32,2	-32,2	-32,3	-32,4	-32,4	-32,5	-32,6	-32,7	-32,7
-11	-31,4	-31,5	-31,5	-31,6	-31,7	-31,8	-31,8	-31,9	-32,0	-32,0
-10	-30,8	-30,9	-30,9	-31,0	-31,0	-31,1	-31,2	-31,2	-31,3	-31,3
-9	-30,2	-30,3	-30,3	-30,4	-30,4	-30,5	-30,6	-30,6	-30,7	-30,7
-8	-29,5	-29,6	-29,6	-29,7	-29,8	-29,8	-29,9	-30,0	-30,1	-30,1
-7	-28,8	-28,9	-28,9	-29,0	-29,1	-29,2	-29,2	-29,3	-29,4	-29,4
-6	-28,2	-28,3	-28,3	-28,4	-28,4	-28,5	-28,6	-28,6	-28,7	-28,7
-5	-27,5	-27,6	-27,6	-27,7	-27,8	-27,8	-27,9	-28,0	-28,1	-28,1
-4	-26,9	-27,0	-27,0	-27,1	-27,1	-27,2	-27,3	-27,3	-27,4	-27,4
-3	-26,2	-26,3	-26,3	-26,4	-26,5	-26,6	-26,6	-26,7	-26,8	-26,8
-2	-25,6	-25,7	-25,7	-25,8	-25,8	-25,9	-26,0	-26,0	-26,1	-26,1
-1	-24,9	-25,0	-25,0	-25,1	-25,2	-25,3	-25,3	-25,4	-25,5	-25,5
0	-24,3	-24,4	-24,4	-24,5	-24,5	-24,6	-24,7	-24,7	-24,8	-24,8
+0	-24,3	-24,2	-24,2	-24,1	-24,0	-24,0	-23,9	-23,8	-23,7	-23,7
1	-23,6	-23,5	-23,5	-23,4	-23,4	-23,3	-23,2	-23,2	-23,1	-23,1
2	-23,0	-22,9	-22,9	-22,8	-22,7	-22,6	-22,6	-22,5	-22,4	-22,4
3	-22,3	-22,3	-22,2	-22,1	-22,1	-22,0	-21,9	-21,9	-21,8	-21,8
4	-21,7	-21,6	-21,6	-21,5	-21,4	-21,4	-21,3	-21,2	-21,1	-21,1
5	-21,0	-20,9	-20,9	-20,8	-20,8	-20,7	-20,6	-20,6	-20,5	-20,5
6	-20,4	-20,3	-20,3	-20,2	-20,1	-20,0	-20,0	-19,9	-19,8	-19,8
7	-19,7	-19,6	-19,6	-19,5	-19,4	-19,4	-19,3	-19,2	-19,1	-19,1
8	-19,0	-18,9	-18,9	-18,8	-18,7	-18,6	-18,6	-18,5	-18,4	-18,4
9	-18,4	-18,2	-18,2	-18,1	-18,0	-18,0	-17,9	-17,8	-17,7	-17,7
10	-17,6	-17,5	-17,5	-17,4	-17,4	-17,3	-17,2	-17,2	-17,1	-17,1
11	-17,0	-16,9	-16,9	-16,8	-16,8	-16,7	-16,6	-16,6	-16,5	-16,5
12	-16,4	-16,3	-16,3	-16,2	-16,1	-16,0	-16,0	-15,9	-15,8	-15,8
13	-15,7	-15,6	-15,6	-15,5	-15,4	-15,4	-15,3	-15,2	-15,1	-15,1
14	-15,0	-14,9	-14,9	-14,8	-14,8	-14,7	-14,6	-14,6	-14,5	-14,5
15	-14,4	-14,3	-14,3	-14,2	-14,1	-14,0	-14,0	-13,9	-13,8	-13,8

$t^{\circ}\text{C}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
16	-13,7	-13,6	-13,6	-13,5	-13,4	-13,4	-13,3	-13,2	-13,1	-13,1
17	-13,0	-12,9	-12,9	-12,8	-12,8	-12,7	-12,6	-12,6	-12,5	-12,5
18	-12,7	-12,3	-12,3	-12,2	-12,1	-12,0	-12,0	-11,9	-11,8	-11,8
19	-11,7	-11,6	-11,6	-11,5	-11,4	-11,4	-11,3	-11,2	-11,1	-11,1
20	-11,0	-10,9	-10,9	-10,8	-10,8	-10,7	-10,6	-10,6	-10,5	-10,5
21	-10,4	-10,3	-10,2	-10,2	-10,1	-10,0	-9,9	-9,8	-9,8	-9,7
22	-9,6	-9,5	-9,5	-9,4	-9,3	-9,2	-9,2	-9,1	-9,0	-9,0
23	-8,9	-8,8	-8,7	-8,7	-8,6	-8,5	-8,4	-8,3	-8,3	-8,2
24	-8,1	-8,0	-7,9	-7,9	-7,8	-7,7	-7,6	-7,5	-7,5	-7,4
25	-7,3	-7,2	-7,2	-7,1	-7,0	-7,0	-6,9	-6,8	-6,7	-6,7
26	-6,6	-6,5	-6,5	-6,4	-6,3	-6,2	-6,2	-6,1	-6,0	-6,0
27	-5,9	-5,8	-5,7	-5,7	-5,6	-5,5	-5,4	-5,3	-5,3	-5,2
28	-5,1	-5,0	-5,0	-4,9	-4,8	-4,8	-4,7	-4,6	-4,5	-4,5
29	-4,4	-4,3	-4,2	-4,2	-4,1	-4,0	-3,9	-3,8	-3,8	-3,7
30	-3,6	-3,5	-3,5	-3,4	-3,3	-3,2	-3,2	-3,1	-3,0	-3,0
31	-2,9	-2,8	-2,8	-2,7	-2,6	-2,6	-2,5	-2,4	-2,3	-2,3
32	-2,2	-2,1	-2,0	-2,0	-1,9	-1,8	-1,7	-1,6	-1,6	-1,5
33	-1,4	-1,3	-1,3	-1,2	-1,1	-1,0	-1,0	-0,9	-0,8	-0,8
34	-0,7	-0,6	-0,6	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1
35	-0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7
36	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5
37	1,6	1,7	1,7	1,8	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2
38	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	2,9
39	3,0	3,1	3,1	3,2	3,3	3,4	3,4	3,5	3,6	3,6
40	3,7	3,8	3,9	3,9	4,0	4,1	4,2	4,3	4,3	4,4
41	4,5	4,6	4,6	4,7	4,8	4,8	4,9	5,0	5,1	5,1
42	5,2	5,3	5,4	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,8	5,9
43	6,0	6,1	6,1	6,2	6,3	6,4	6,4	6,5	6,6	6,6
44	6,7	6,8	6,8	6,9	7,0	7,0	7,1	7,2	7,3	7,3
45	7,4	7,5	7,5	7,6	7,7	7,8	7,8	7,9	8,0	8,0
46	8,1	8,2	8,3	8,3	8,4	8,5	8,6	8,7	8,7	8,8
47	8,9	9,0	9,0	9,1	9,2	9,2	9,3	9,4	9,5	9,5
48	9,6	9,7	9,7	9,8	9,9	10,0	10,0	10,1	10,2	10,2
49	10,3	10,4	10,4	10,5	10,6	10,6	10,7	10,8	10,9	10,9
50	11,0	11,1	11,1	11,2	11,3	11,4	11,4	11,5	11,6	11,6
51	11,7	11,8	11,8	11,9	12,0	12,0	12,1	12,2	12,3	12,3
52	12,4	12,5	12,6	12,6	12,7	12,8	12,9	13,0	13,0	13,1
53	13,2	13,3	13,3	13,4	13,5	13,6	13,6	13,7	13,8	13,8
54	13,9	14,0	14,0	14,1	14,2	14,2	14,3	14,4	14,5	14,5
55	14,6	14,7	14,7	14,8	14,9	15,0	15,0	15,1	15,2	15,2
56	15,3	15,4	15,4	15,5	15,6	15,6	15,7	15,8	15,9	15,9
57	16,0	16,1	16,1	16,2	16,3	16,4	16,4	16,5	16,6	16,6
58	16,7	16,8	16,8	16,9	17,0	17,0	17,1	17,2	17,3	17,3
59	17,4	17,5	17,5	17,6	17,7	17,8	17,8	17,9	18,0	18,0
60	18,1	18,2	18,2	18,3	18,4	18,4	18,5	18,6	18,7	18,7
61	18,8	18,9	19,0	19,0	19,1	19,2	19,3	19,4	19,4	19,5
62	19,6	19,7	19,7	19,8	19,9	20,0	20,0	20,1	20,2	20,2
63	20,3	20,4	20,4	20,5	20,6	20,6	20,7	20,8	20,9	20,9
64	21,0	21,1	21,1	21,2	21,3	21,4	21,4	21,5	21,6	21,6
65	21,7	21,8	21,8	21,9	22,0	22,0	22,1	22,2	22,3	22,3
66	22,4	22,5	22,5	22,6	22,6	22,7	22,8	22,8	22,9	22,9
67	23,0	23,1	23,1	23,2	23,3	23,4	23,4	23,5	23,6	23,6
68	23,7	23,8	23,8	23,9	24,0	24,0	24,1	24,2	24,3	24,3
69	24,4	24,5	24,5	24,6	24,6	24,7	24,8	24,8	24,9	24,9

[illegible]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматическая станция КРАМС. Под ред. Л. П. Афиногенова, М. С. Стернзата. Л. Гидрометеиздат. 1974. 218 с.
2. Алиева Ф. З. Градуировка платинового термометра сопротивления в двух точках.— «Измерительная техника», 1962, № 11, с. 30—33.
3. Берлинер М. А. Измерения влажности. М., «Энергия», 1973. 398 с.
4. Беспалов Д. П., Козлов В. Н., Матвеев Л. Т. Психрометрические таблицы. Л., Гидрометеиздат. 1972. 236 с.
5. Богуславский М. Г., Широков К. П. Международная система единиц. М., Изд-во стандартов, 1968. 64 с.
6. Бронштейн Д. Л., Макаренко А. А. Монтаж и эксплуатация метеорологических приборов. Л., Гидрометеиздат, 1968. 273 с.
7. Бурдун Г. Д., Марков Б. Н. Основы метрологии. М., Изд-во стандартов, 1972. 312 с.
8. Гершкович Е. А. Разработка и исследование оборудования типовой поверочной лаборатории гигрометрии.— «Измерительная техника», 1970, № 10, с. 60—63.
9. Горлин С. М. и Слезингер И. И., Аэромеханические измерения. М., Изд-во МГУ, 1970. 720 с.
10. Граменицкий В. Н. Грузопоршневые измерительные приборы. М. Изд-во стандартов, 1973. 140 с.
11. Долинский Е. Ф. Анализ результатов поверок мер и приборов.— «Измерительная техника», 1958, № 3, с. 22—28.
12. Долинский Е. Ф. Обработка результатов измерений. М., Изд-во стандартов, 1973. 191 с.
13. Долинский Е. Ф., Лоскутов Г. И., Полухин Г. И. Государственный первичный эталон единицы давления Паскаля.— «Измерительная техника», 1972, № 7, с. 6—8.
14. Жоховский М. К. Теория и расчет приборов с неуплотненным поршнем. М., Стандартгиз, 1966, с. 371.
15. Иванцов А. И. Основы теории точности измерительных устройств. М., Изд-во стандартов. 1972. 212 с.

16. Карпуша В. Е., Чернов Б. С. Измерение атмосферного давления. Л., Гидрометеониздат, 1973. с. 275.
17. Кассаведрова О. Н., Лебедев В. В. Обработка результатов наблюдений. М., «Наука», 1970. 104 с.
18. Качурин Л. Г. Электрические измерения аэрофизических величин. Л. Изд-во ЛГУ, 1962. 413 с.
19. Маклаков А. Ф., Чернов Б. С., Застенкер А. И. Эксплуатация и ремонт ветроизмерительных приборов. Л., Гидрометеониздат. 1971. с. 190.
20. Методы обработки результатов наблюдений при измерениях.— «Тр. метрологических институтов СССР», 1972, вып. 134 (194). 113 с.
21. Петров Н. А. Метеорологические измерения. Л., ЛВИКА им. А. Ф. Можайского, 1971, с. 334.
22. Поверка приборов для температурных и тепловых измерений (сборник инструкций). М., Изд-во стандартов, 1965. 585 с.
23. Покровская И. А., Фатеев Н. П. Поверка метеорологических приборов.— «Тр. ГГО», 1967, вып. 218, с. 167—178.
24. Попов М. М. Термометрия и калориметрия М., Изд-во МГУ, 1954. 942 с.
25. Резников Г. П. Анализ физических процессов и погрешностей гидрометрического комплекса, основанного на термодинамическом принципе.— «Тр. ГГО», 1973, вып. 300, с. 15—39.
26. Руководство к лабораторным работам по экспериментальной физике атмосферы. Л., Гидрометеониздат, 1969. 510 с.
27. Руководство по поверке метеорологических приборов. Л., Гидрометеониздат, 1967. 420 с.
28. Системы получения и передачи метеорологической информации. Л., Гидрометеониздат, 1971. 467 с. (А. А. Кмито, Н. С. Коковин, Н. Ф. Павлов, В. Д. Степаненко, В. С. Степкин).
29. Сосновский А. Г., Столярова Н. И. Измерение температур. М. Изд-во стандартов, 1970. 255 с.
30. Справочник по гидрометеорологическим приборам и установкам. Л., Гидрометеониздат. 1971. 372 с.
31. Стернзат М. С. Метеорологические приборы и наблюдения. Л., Гидрометеониздат, 1968. 464 с.
32. Тюрин Н. И. Введение в метрологию. М., Изд-во стандартов, 1973. 279 с.
33. Усольцев В. А. Приборы для измерения влажности воздуха на метеорологических станциях.— «Приборы и системы управления», 1970, № 1, с.
34. Фатеев Н. П. Аппаратура для поверки метеорологических приборов.— «Тр. ГГО», 1969, вып. 240, с. 109—123.
35. Фатеев Н. П. Измерение температуры и скорости воздушного потока в свободной атмосфере.— «Тр. ЛКВВИА им. Можайского», 1961, вып. 361, с. 163—172.

36. Фатеев Н. П. Методические основы поверки метеорологической аппаратуры.— В кн.: Методические основы автоматизированной системы метеорологических наблюдений, гл. 3. Л., Гидрометеиздат, 1971, с. 45—68.

37. Фатеев Н. П. Поверочные схемы для метеорологических измерений.— «Тр. ГГО», 1973, вып. 313, с. 145—155.

38. Фатеев Н. П. Проект подвижной контрольно-поверочной метеорологической лаборатории для обслуживания автоматизированной сети станций.— «Тр. ГГО», 1971, вып. 260, с. 163—167.

39. Фатеев Н. П., Панкратович Л. Л., Огородникова Ц. Ш. Исследование величины поправок на ограниченность потока при градуировке анемометров.— «Тр. ГГО», 1969, вып. 244, с. 74—76.

40. Фатеев Н. П., Панкратович Л. Л., Огородникова Ц. Ш. Исследование малогабаритной аэродинамической трубы для поверки анемометров.— «Тр. ГГО», 1971, вып. 260, с. 152—162.

41. Хансуваров К. И. Точные приборы для измерения абсолютного давления. М., Изд-во стандартов. 1971, с. 56.

42. Эталонные барометры Гидрометслужбы СССР.— «Тр. ГГО», 1972, вып. 280, с. 68—81.

43. Янишевский Ю. Д. Актинометрические приборы и методы наблюдений. Л., Гидрометеиздат, 1957. с. 409.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абсолютная погрешность 17
— чувствительность прибора 35

Взаимозаменяемость 47
Внеочередная поверка 16
Воспроизводимость (вариация) показаний 36, 110

Гистерезис 99
Госстандарт СССР 1
Государственная система обеспечения единства измерений 14
Градуировка 34
Градуировочная характеристика 7, 45
Групповой эталон 9

Давление остаточное 82, 89
Действительное значение измеряемой величины 21, 36
— — меры 32, 35
Диапазон измерений прибора 35
— показаний прибора 35
Динамические погрешности 36
Дисперсия 21
Дифференциальный метод 29
Длина деления шкалы 35, 57
Доверительная вероятность 22, 26
— погрешность 35
Доверительный интервал 22
Дополнительные погрешности 18, 50
Допускаемая вероятность 18, 25
Допуски 67, 68
Достоверность измерений 7

Единица измерения 7, 79, 121, 149, 196, 176
Единицы измерения основные 8
— — производные 8
Единообразие средств измерений 7
Единство измерений 4, 7

Измерительная система 33
— установка 10, 33, 44
Измерительные преобразователи 10, 32
Измерительный прибор 32
— — образцовый 10
Имитаторы 238
Инспекционная поверка 16
Интервал доверительный 22
Инструкция по поверке 12
Инструментальные погрешности 19, 91
Испытания контрольные 15
— приемочные 15

Калибровка 33, 266, 270
Капиллярная депрессия 90
Класс точности прибора 17
Компенсационный метод измерения 47
Комплектная поверка 250
Контрольные испытания 15
Коэффициент анемометра 184
— загромождения потока 202
— линейного расширения 86
— Стюдента 22
— температурный 44
— тепловой инерции (постоянная времени) 46
— теплового расширения 57

Максимальная погрешность 22
Математическое ожидание случайной величины 21
Международная система единиц (СИ) 8
Международные эталоны 9
Мера образцовая 10
Метод измерения дифференциальный 29
— — компенсационный 47
— — нулевой 30
— непосредственной оценки 29
— совпадений 30
Методы поверки 11
Метрологическая ревизия средств измерения 16
— экспертиза средств измерения 16

Непосредственное сличение 12
Номинальная величина 32
Номинальное значение меры 35
Нормальные условия измерения 17
Нормальный закон распределения 20
Нулевой метод 30

Обработка результатов поверки 14
Образцовая мера 10
Образцовые средства измерения 9
Образцовый измерительный преобразователь 10
— — прибор 10
— источник 180
Операции поверки 12
Основная погрешность измерений 17, 36, 50, 180

Основные единицы измерения 8
Остаточное давление 82, 89
Относительная погрешность 17
— чувствительность 35

Переводный множитель 152
Платиновая температура 52
Поверка внеочередная 16
— инспекционная 16
— комплектная 250
— мер и измерительных приборов 33
— первичная 16
— периодическая 16
— по образцовой мере 12
— средств измерения 7, 33
— шкалы 100
Поверочная схема 11, 37, 79, 121, 149, 194
— установка 10, 33
Погрешность абсолютная 14
— аттестация меры 32
— вычислений 19
— градуировки 50
— динамическая 36
— доверительная 26
— допускаемая 25
— измерений 17, 32, 36, 50
— измерительного прибора 17
— инструментальная 19, 91
— метода измерений 19
— на выступающий столбик термометра 58
— обратного хода 36
— основная 17
— относительная 17
— предельная допускаемая 18, 22, 38, 80, 123, 150, 195
— приведенная 17
— систематическая 18, 25, 27
— случайная 18, 25
— субъективная систематическая 19
— суммарная предельная 21
Подготовка к поверке 13
Показание прибора 35
Поправка 18, 67, 91, 99, 111, 117
Поправочный множитель 20
Порог чувствительности прибора 35
Правила округления результатов измерений 28
Правильность измерений 7, 18
Пределы измерения 35, 38, 80, 129, 150, 195
Преобразователи измерительные 32
— первичные 32
— передающие 32
— промежуточные 32
Приведенная площадь 82
Приемочные испытания 15
Проведение поверки 13
Производные единицы измерений 8

Рабочие эталоны 7
Размер единицы 7

Система единиц 8

— обеспечения единства измерений (государственная) 14

Систематическая погрешность 18, 25, 27

Сличение с использованием прибора сравнения 12

Случайная погрешность 18, 25

Способ введения поправок 20

— замещения 19

— исключения погрешности по знаку 20

Среднее квадратическое отклонение (погрешность) 21, 26, 38, 80, 123, 150

Средства измерений 4, 31

— поверки 13

Стабильность (сохранность) градуировки 50, 54

Субъективная систематическая погрешность 19

Суммарная предельная допускаемая погрешность 21

Схема поверочная 11, 37, 79, 121, 149, 194

Температурный коэффициент сопротивления 44

Точка кипения воды 41

— — кислорода 40

— таяния льда 40

Точность измерений 7

Тройная точка воды 40

Характеристика точности или погрешности 36

Цена деления шкалы 35

Чувствительность прибора 35, 46, 58, 77

— — относительная 35

— — абсолютная 35

Ширина доверительного интервала 22

Эталон 8, 123, 135

— вторичный (рабочий) 9, 38, 80, 150

— групповой 7, 9

— международный 9

— первичный 9

Эталоны-копии 9

Эталоны-свидетели 9

Эталоны сравнения 9, 80

Оглавление

Предисловие	3
1. Краткие сведения по метрологии	
1.1. Термины и определения	7
1.2. Система единиц измерений	8
1.3. Эталоны и образцовые приборы	8
1.4. Поверочные схемы	11
1.5. Методы поверки	11
1.6. Государственная система обеспечения единства измерений	14
2. Основы теории погрешностей	
2.1. Погрешности измерений и их основные виды	17
2.2. Систематические погрешности	18
2.3. Случайные погрешности	20
2.4. Доверительный интервал для истинного значения измеряемой величины. Предел допускаемой погрешности измерений	22
2.5. Представление результата измерений в нормативно-технической документации	25
2.6. Правила округления результатов измерений	28
3. Основы технических измерений и средства поверки	
3.1. Методы измерений	29
3.2. Средства измерений и поверочное оборудование	31
3.3. Поверка, градуировка и калибровка средств измерений	33
3.4. Основные метрологические показатели средств измерений	35
4. Поверка термометров и термографов	
4.1. Поверочная схема	37
4.2. Образцовые приборы и поверочное оборудование	39
4.3. Поверка термометров сопротивления	44
4.4. Поверка ртутных и спиртовых термометров	55
4.5. Поверка термографа	69
Лабораторные работы	
4.1. Поверка платинового термометра сопротивления	72
4.2. Поверка преобразователя температуры автоматической метеорологической станции	73
4.3. Поверка медного термометра сопротивления	74
4.4. Поверка и регулировка термографа	77
5. Поверка приборов для измерения атмосферного давления	
5.1. Поверочная схема	79
5.2. Образцовые приборы и поверочное оборудование	81
5.3. Поверка ртутных барометров и манометров	89

5.4. Поверка барометров-анероидов и барографов	98
5.5. Поверка преобразователя давления УАТГМС	103
5.6. Поверка преобразователя давления КРАМС	108
Лабораторные работы	
5.1. Поверка сифонно-чашечного барометра	112
5.2. Поверка чашечного барометра	112
5.3. Поверка барографа и его регулировка	115
6. Поверка приборов для измерения влажности воздуха	
6.1. Поверочная схема	121
6.2. Методика поверки психрометров и гигрометров	126
6.3. Поверка преобразователей влажности дистанционных и автоматических станций	130
Лабораторные работы	
6.1. Поверка аспирационного психрометра	139
6.2. Поверка гигрометра и гигрографа	141
6.3. Регулировка чувствительности гигрографа	143
7. Поверка актинометрических приборов	
7.1. Единицы измерения, принцип действия и характеристики приборов	144
7.2. Поверочная схема	149
7.3. Методика поверки актинометрических приборов	151
7.4. Поверка гальванометра	161
7.5. Поверка преобразователя солнечного сияния УАТГМС и АРМС	163
Лабораторные работы	
7.1. Поверка гальванометра ГСА-1	170
7.2. Поверка термоэлектрического актинометра, пиранометра и балансомера	173
8. Поверка радиометрических приборов	
8.1. Единицы измерения, технические характеристики и устройство приборов	176
8.2. Указания по поверке	179
9. Поверка анемометров и анеморумбометров	
9.1. Принцип действия и основные метрологические характеристики приборов	182
9.2. Поверочная схема	194
9.3. Основные средства поверки и градуировки	197
9.4. Методика поверки ветроизмерительных приборов	202
10. Поверка дистанционных метеорологических станций	
10.1. Устройство и общие указания по поверке	211
10.2. Поверка узла скорости и направления ветра	215
10.3. Определение начального значения шкалы анемометра и чувствительности румбометра	216
10.4. Поверка шкалы анемометра	217
10.5. Поверка узлов температуры и влажности	218
10.6. Проверка работоспособности станции в комплекте	220
Лабораторные работы	
10.1. Поверка дистанционных метеорологических станций М-49 и ГМ-6	220
11. Поверка автоматических метеорологических станций типа УАТГМС	
11.1. Общие сведения	224
11.2. Принцип действия, основные характеристики, функциональная схема	225
11.3. Поверка блока автоматики	238

11.4. Комплектная поверка автоматических метеорологических станций. Правила по технике безопасности	250
11.5. Поверка преобразователя метеорологической дальности видимости	252
11.6. Поверка преобразователя высоты нижней границы облаков	264

12. Поверка автоматических радиометеорологических станций типа АРМС

12.1. Технические характеристики, принцип действия и устройство	275
12.2. Контрольно-поверочное оборудование	283
12.3. Поверка измерительных преобразователей и блока автоматики	285
Лабораторные работы	
12.1. Поверка АРМС в комплекте	292
12.2. Поверка блока автопуска	294

Приложения (таблицы):

1. Коэффициент W в зависимости от отношения R_{100}/R_0 и температуры t для термометров ПТС-500 из платины ПЛ-2 и ПЛ-1	296
2. Температура кипения воды в зависимости от барометрического давления P	297
3. Температура точки росы в зависимости от температуры подогрева чувствительного элемента преобразователя влажности УАТГМС	299
Список литературы	302
Предметный указатель	305

Фатеев Николай Петрович

**ПОВЕРКА
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ
ПРИБОРОВ**

Редактор М. М. Ясногородская

Художник В. К. Селиванов

Художественный редактор Б. А. Денисовский

Техн. редактор Л. М. Шишкова

Корректоры: Г. С. Макарова, А. В. Хюркес

Сдано в набор 24/I 1975 г. Подписано к печати 28/V 1975 г. М-17202. Формат 60×90^{1/16}, бум. тип. № 1. Печ. л. 19,5. Уч.-изд. л. 20,32. Тираж 5000 экз. Индекс МЛ-67. Заказ № 114. Цена 88 к. Гидрометеиздат. 199053. Ленинград, 2-я линия, д. 23. Ленинградская типография № 8 Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 190000, Ленинград, Прачечный пер., 6.