

26  
198

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ  
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

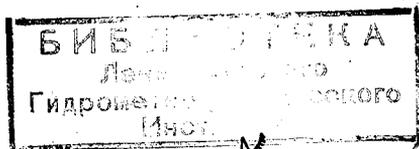
---

Т Р У Д Ы  
ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ  
ОБСЕРВАТОРИИ  
имени А. И. Воейкова

ВЫПУСК 116

ПОВЕРКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Под редакцией  
канд. физ.-мат. наук  
И. А. ПОКРОВСКОЙ



---

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЛЕНИНГРАД • 1961

### *АННОТАЦИЯ*

Сборник содержит результаты работ, выполненных в Центральной лаборатории поверки ГГО и направленных на улучшение методов поверки и поверочного обслуживания, а также усовершенствование метеорологических приборов.

Сборник рассчитан на специалистов, занимающихся приборостроением и метеорологическими исследованиями.

## О ПРИЧИНЕ НЕОДНОЗНАЧНОСТИ ПОКАЗАНИЙ ВОЛОСНОГО ГИГРОМЕТРА

В статье излагаются новые представления о процессах, происходящих в человеческом волосе, объясняющие причину особой неоднозначности показаний волосного гигрометра и обосновывающие возможности существенного улучшения гигрометрических свойств волоса.

Как известно, волосной гигрометр<sup>1</sup> является простейшим прибором для измерения относительной влажности воздуха. Его работа основана на способности человеческого волоса менять свою длину при изменении относительной влажности воздуха.

Волосной гигрометр был построен и впервые исследован Соеюром [2] (конец XVIII в.) и до сих пор используется на сети метеорологических станций многих стран. Еще во времена Соеюра была известна способность волосного гигрометра после пребывания в сухом воздухе давать завышения в показаниях, которые исчезают лишь со временем. Эта особенность волоса привлекала внимание многих исследователей (Бонгардса [7], Решетова [4] и др.), но до сих пор объяснения не получила.

Анализ обширных материалов сравнительных измерений влажности воздуха волосным гигрометром и аспирационным психрометром, проведенных при поверке значительного количества гигрометров с четким разграничением хода влажности на понижение и повышение в соответствии с принятым методом поверки [5], позволяет внести некоторые уточнения в рассматриваемое явление.

При повышении влажности волосной гигрометр всегда дает показания более высокие, чем при понижении влажности. Возникающая при этом разность показаний при одном и том же значении влажности оказывается наибольшей вблизи 80% относительной влажности и достигает 10—12%, если пользоваться любым волосом, обработанным по применяемой методике [3], и не подвергать его отбраковке.

В результате тщательной отбраковки удается отобрать такой волос, при котором разность показаний гигрометров при одной и той же влажности не превышает 5% относительной влажности. Такие гигрометры, согласно [5], считаются годными для использования их на сети метеорологических станций. При этом только 1—2% общего количества испытанных волос оказывается пригодным для гигрометров, что значительно усложняет и удорожает их изготовление и ремонт.

На рис. 1 а схематически представлены показания измерительных приборов, неоднозначность которых связана с упругим гистерезисом, остаточными деформациями, трением в приборе, мертвыми ходами, люф-

<sup>1</sup> Дальнейшее изложение в значительной мере справедливо и для других приборов, в которых используется человеческий волос, в частности, для гигрографа.

тами и другими недостатками приборов. Наблюдаемое при этом отставание в показаниях прибора иногда называют гистерезисом, а замкнутую кривую полной градуировки — гистерезисной петлей. Стрелками на рисунке показано направление изменения измеряемой величины.

Неоднозначность показаний, наблюдаемая у волосного гигрометра (рис. 1 б) и других приборов, измеряющих влажность и работающих на деформационном принципе, названа нами особой потому, что она у приборов с исправной и правильно рассчитанной кинематикой всегда сопровождается не отставанием, а явно выраженным упреждением или забеганием. Попутно отметим, что петлю забегания волосного гигрометра и подобных ему приборов, изображенную на рис. 1 б, несмотря на внешнее сходство, не следует, как это делают некоторые авторы (Варженевский [1], Усольцев [6]), называть петлей гистерезиса. Слово «гистерезис» имеет вполне определенный смысл — запаздывание или отставание.

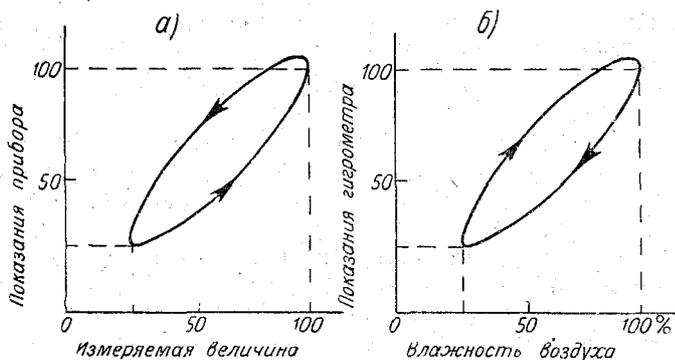


Рис. 1. Неоднозначность показаний:  
а — у обычного измерительного прибора, б — у волосного гигрометра.

Вопросу об указанной неоднозначности показаний волосного гигрометра мы уделили особое внимание, полагая, что выяснение причин, ее вызывающих, существенно улучшит знания о волосе и окажется полезным для повышения точности измерений влажности воздуха простейшими методами.

Прежде чем перейти к существу интересующего нас вопроса, остановимся кратко на некоторых свойствах волоса, в основном известных по литературным данным, которые подтверждены в наших опытах и могут оказаться необходимыми при дальнейшем изложении.

Волос с гигрометрической точки зрения представляет собой продолговатые зерна или волокна влагоемкого вещества, охваченные эластичной оболочкой, проницаемой для паров воды.

Вес поглощаемой волосом влаги составляет около 30% веса сухого волоса.

При полном насыщении влагой или в смоченном состоянии волос представляет собой очень эластичное вещество. Полностью насыщенный влагой волос после растяжения всегда и довольно быстро возвращается к исходной длине.

Если волос надежно смочить и подвергнуть многократному растяжению, то он ведет себя, как резиновая оболочка, внутри которой находится вязкая жидкость.

С увеличением дефицита влажности окружающего воздуха волос теряет эластичность при механических воздействиях, появляются необратимые деформации, которые исчезают лишь при полном увлажнении.

Волос, растянутый в сухом состоянии, после снятия нагрузки частично сокращается и в этом сокращенном не до конца, или, как его называл Бонгардс [7], напряженном состоянии, может находиться очень долго. В сухом состоянии волос можно растягивать лишь при медленном темпе его удлинения. При быстром темпе удлинения волос рвется. Чем суше волос, тем большие механические усилия необходимы для его растяжения и тем медленнее оно должно производиться.

Возникает вопрос, каковы причины, вследствие которых с осушением волоса возрастают его необратимые деформации и усилия на его растяжение. По-видимому, эти причины состоят в таком неполном сцеплении влагоемких волокон с оболочкой и между собой, при котором под действием механических усилий возможны продольные смещения волокон относительно оболочки и относительно друг друга и необратимые переходы из одного состояния их сцепления в другое. Сцепление между составными частями волоса, так же как и усилия, необходимые для его преодоления, если учесть способность волоса к набуханию, должны быть большими у сухого волоса и меньшими у увлажненного. Это в действительности и наблюдается.

Рассмотрим процесс проникновения влаги в толщу волоса. При переносе сухого волоса во влажную среду начинается набухание и нагревание прежде всего во внешнем слое волоса, которое сопровождается увеличением геометрических размеров оболочки и прилегающих к ней влагоемких частей как в радиальном, так и в продольном направлениях. При этом внутренняя часть волоса, в которую еще не успела проникнуть влага, уже начинает подвергаться механическим усилиям на радиальное сжатие и продольное растяжение.

В результате усилий, развившихся за счет набухания и теплового расширения в наружном слое волоса, во внутренней его части и на границе с внешней частью должно происходить продольное перемещение волокон влагоемкого вещества относительно друг друга и относительно оболочки до нового состояния сцепления, при котором внутреннее вещество волоса станет длиннее.

В дальнейшем при проникновении влаги во внутренние слои волоса их влагоемкие волокна также расширяются из-за набухания и нагрева и создают усилия, растягивающие внешний слой и оболочку.

Рассмотренный процесс послойного проникновения влаги в толщу волоса объясняет причину образования избыточного удлинения, а следовательно, и завышенных показаний волосного гигрометра при его увлажнении.

Анализ явлений, происходящих в волосе при его осушении, показывает, что все описанные выше процессы повторяются в обратном порядке: внешний слой волоса и его оболочка, сжимаясь, сокращаются в длину из-за высыхания и временного охлаждения — происходит перестройка сцепления волокон вещества внутри волоса в сторону его укорочения. Затем следует сжатие этих волокон, вызванное их ссыханием и охлаждением из-за потери влаги, и как окончательный результат — сокращение длины внешних слоев и оболочки вследствие передачи продольных усилий сжатия из внутренних слоев волоса на внешние.

Если явления, описанные выше, в действительности имеют место и они существенны, то показания волосного гигрометра должны быть заблуждающимися и притом не только при повышении влажности воздуха, что было известно еще Сосюру, но и при ее понижении, о чем многочисленными исследователями волоса не знали.

Бонгардс отмечал напряженность избыточного растянутого волоса. По нашим представлениям (если пользоваться терминологией Бонгардса),

для волоса характерна также напряженность избыточного сокращения его длины при потере им влаги.

Описанные выше механические усилия и продольные сдвиги влагоемких волокон внутреннего вещества волоса относительно друг друга и оболочки, вызывающие забегание в показаниях волосного гигрометра, следует ожидать наибольшими при предельно быстром изменении влагосодержания волоса. При крайне медленном изменении влагосодержания волоса они должны быть ничтожно малы.

Последнее соображение, изложенное другими словами, означает, что волосной гигрометр должен реагировать не только на влажность воздуха, но и на скорость изменения ее в любом направлении.

Наши расчеты показывают, что для волоса гигрометра, который при длине около 200 мм в быстром темпе поглощает и отдает влагу, различие в длине его при одинаковом значении влажности (объясняющее наблюдаемую на опыте разность показаний) должно достигать 0,12—0,15 мм.

Если бы шкала гигрометра была равномерной, то наибольшую разность показаний из-за описанного явления забегания следовало бы ожидать в середине измеряемого интервала влажности, где скорость изменения влагосодержания волоса наибольшая. На самом деле наибольшая разность показаний волосного гигрометра из-за неравномерности его шкалы сдвинута в сторону высоких влажностей, где у волоса чувствительность к изменению влажности, как известно, мала.

Из изложенных выше представлений вытекает ряд следствий, которые неизвестны в теории волосного гигрометра и которые, безусловно, требуют тщательной опытной проверки. Лишь после этого их можно будет считать новыми закономерностями, определяющими поведение волоса в гигрометре и его особенности.

Основные выводы, вытекающие из нашего исследования и сформулированные нами, следующие.

1. Температура волоса, поглощающего или теряющего влагу, должна быть заметно выше или соответственно ниже температуры воздуха, окружающего волос.

2. Волосной гигрометр должен реагировать не только на относительную влажность воздуха, но и на скорость ее изменения в любом направлении.

При быстром изменении влажности забегание в показаниях волосного гигрометра должно возрастать. Кроме завышенных показаний волосного гигрометра, при увеличении значений влажности, известных метеорологам, причина которых до сих пор была не ясна, следует ожидать нового, неизвестного до сих пор явления — занижения показаний гигрометра при уменьшении влажности.

3. Если у человеческого волоса уменьшить продольные смещения волокон его влагоемкого вещества относительно оболочки и относительно друг друга, то из любого волоса, в том числе и из недоброкачественного, можно получать чувствительные элементы (датчики) для приборов влажности с показаниями более постоянными, чем у обычного волосного гигрометра.

Перейдем к экспериментальной части нашего исследования.

Для экспериментальной проверки первого следствия необходимо измерить температуру волоса во время быстрого изменения его влагосодержания. Такое измерение является трудным, и простым способом его выполнить нельзя.

Измерение температуры волоса во время изменения его влагосодержания было осуществлено нами следующим образом. Во внешнюю защитную трубку 1 от аспирационного психрометра (рис. 2) волокнами

вдоль трубки было помещено значительное количество волоса (около 6 г), обезжиренного обычным способом [3].

Два спая медно-константановой термопары 2, предварительно отградуированной вместе с гальванометром 3 на разность температур, были помещены на пути движения воздуха: один спай в воздухе перед входом в трубку, а другой спай — в волосе перед выходом воздуха из трубки с волосом. Для просасывания воздуха использовался пылесос 4, к заборному шлангу которого была присоединена трубка, наполненная волосом.

Для наблюдения за температурой волоса, теряющего влагу, волос предварительно увлажнялся и после принятия им температуры воздуха помещения через него просасывался воздух, имевший относительную влажность около 50%. При этом наблюдалось понижение температуры волоса до 6° по сравнению с температурой воздуха помещения (около 20°).

Для измерения температуры волоса, поглощающего влагу, его предварительно осушали при влажности около 12% в камере гигростата, при-

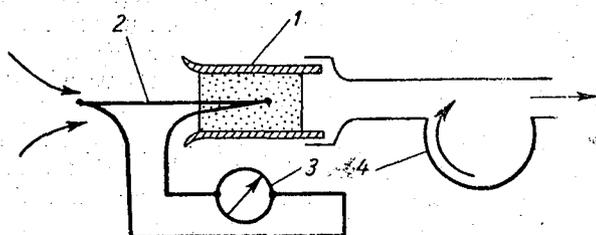


Рис. 2. Схема опыта по измерению температуры волоса с изменяющимся влагосодержанием.

меняемого для проверки приборов влажности. После надежного осушения волоса влажность воздуха в камере гигростата в течение 5 мин. повышалась примерно до 60%. При этом обращалось особое внимание на то, чтобы при изменении влажности температура воздуха в камере гигростата не менялась. Наблюдаемое при опыте нагревание волоса достигало 5°.

Максимальное охлаждение и нагрев воздуха за счет испарения и поглощения влаги волосом в обоих случаях наступали в течение первых 3—6 мин.

Полное выравнивание влагосодержания волоса с протекающим мимо него воздухом в обоих случаях определялось десятками минут при быстром просасывании воздуха и часами — при медленном. Это значит, что, действительно, процессы набухания — ссыхания и нагрева — охлаждения волоса, вызывающие пересцепление волокон влагоемкого вещества внутри волоса, происходят в самом начале процесса увлажнения или осушения волоса. Полное завершение процесса изменения влагосодержания волоса наступает значительно позднее, и волос в течение продолжительного времени имеет температуру, не совпадающую с температурой окружающего воздуха.

Для опытной проверки второго следствия гигрограф был помещен в камеру гигростата при относительной влажности воздуха 100%, выдержан в ней, а затем влажность воздуха в камере постепенно, за 2,5 часа, была снижена до комнатной (50%). В конце медленного осушения для окончательной выдержки при комнатной влажности гигрограф был осторожно вынут из камеры. Затем влажность в камере была снова доведена до 100% и после выдержки гигрографа при высокой влажности, анало-

гичной первому случаю, он был сразу вынут из камеры и при помощи вентилятора подвергнут быстрому действию комнатного воздуха, влажность которого оставалась без изменения. Контроль за постоянством влажности воздуха в помещении (50%) осуществлялся с помощью аспирационного психрометра и вспомогательного гигрографа. Запись в конце при скоростном осушении гигрографа, как и следовало ожидать, была ниже конца записи при медленном осушении.

Различие между концами полученных описанным способом записей составляло 4% по ленте гигрографа.

Таким образом, на опыте нами наблюдалось и в дальнейшем неоднократно воспроизводилось явление забегания или занижения показаний гигрографа при уменьшении влажности воздуха, зависящее от скорости ее изменения.

Что касается забегания или завышения показаний волосного гигрометра при повышении влажности, то оно было известно еще Сосюру и в экспериментальном подтверждении не нуждается. Однако это известное из опыта явление получило неправильные толкования. Так, полвека назад, со времен Вебера [8] установилось повторяемое почти всеми исследователями ошибочное представление о способности волосного гигрометра временно реагировать на значения влажности выше 100%, т. е. на пересыщение.

Известно, что показания волосного гигрометра при повышении влажности очень долго остаются завышенными. В этом и заключается одно из проявлений исследованного нами явления забегания показаний у волосного гигрометра. Само собой разумеется, что и по достижении влажности в 100%, до тех пор пока не произошло полное восстановление длины волоса, на показаниях гигрометра сказывается явление забегания, так как волос длительное время (15—20 мин.) еще остается избыточно удлиненным. Это должно проявляться и действительно проявляется в заходе стрелки гигрометра за шкалу, т. е. за отметку 100%. При этом волос возвращается через некоторое время к своей нормальной длине. На способности волоса укорачиваться до нормальной длины, т. е. устранять вредные последствия забегания, и основаны широко известные рекомендации о восстановлении волоса длительным увлажнением. Практика поверки волосных гигрометров и гигрографов показывает, что восстановление гигрометра или возврат волоса к исходной, более короткой, длине происходит не мгновенно, а, как правило, за 20—30 мин. У гигрометров с хорошим волосом при медленном увлажнении временный заход стрелки за шкалу мал; у гигрометров с плохим волосом при быстром темпе роста влажности этот заход значительно больше.

Повторяемые в течение полвека почти во всех работах, посвященных волосу, попытки приписать волосному гигрометру свойство реагировать на пересыщение из-за наблюдаемого временного захода его стрелки за шкалу в свете изложенных нами представлений следует считать ошибочными.

Это без особого труда можно показать на примере последней и наиболее обстоятельной попытки, предпринятой В. Д. Решетовым [4]. Согласно Решетову, временный заход стрелки гигрометра за шкалу при высоких значениях влажности происходит потому, что при пересыщении (относительная влажность больше 100%) на неполовностью смачиваемой поверхности волоса в местах выхода пор происходит конденсация и возникают выпуклые мениски воды. Под этими менисками образуется избыточное давление. Со временем мениски в процессе их роста сливаются друг с другом, а потому действие их и способность волосного гигрометра реагировать на пересыщение прекращаются.

Это объяснение Решетова является несостоятельным, так как конденсация паров воды возможна лишь на поверхности, температура которой ниже точки росы. Волос, как мы показали, при влажности около 100% притом только возрастающей, в условиях, когда поглощение влаги им не завершено, имеет температуру более высокую, чем окружающий его воздух, а поэтому конденсация и образование выпуклых менисков воды на его поверхности, которые описаны Решетовым, невозможны.

Пытаясь дать особое объяснение причины завышенных показаний волосного гигрометра при значениях влажности, меньших 100%, после его пребывания в сухом воздухе, Решетов [4] замечает: «Аналогичные, по-видимому, неодинаковые условия смачивания возникают и в порах волоса гигрометра при движении менисков воды к устью пор (при росте относительной влажности) и в глубь пор (при падении относительной влажности). В первом случае мениски (вогнутые) будут как бы слегка приплюснуты, их кривизна, а следовательно, и стягивающее усилие уменьшаются и длина волоса будет несколько больше обычной. Во втором случае (при падении влажности) эта аномальность (разрядка наша — П. Д.) будет отсутствовать» (стр. 14).

Приведенная выше попытка Решетова объяснить явление неоднозначности показаний волосного гигрометра является единственной известной нам. По-видимому, ее также следует считать ошибочной, так как она не согласуется с опытом и, как мы показали, в ней нет необходимости.

По нашим представлениям, и забегание в показаниях гигрометра, и временный выход стрелки за его шкалу при насыщении влагой имеют общую причину, анализу которой и посвящена настоящая работа. Попутно следует отметить, что свойства волоса, из-за которых волокна внутри него при изменениях влажности получают продольные смещения, вредные для целей метеорологии, с точки зрения физиологической, по нашему мнению, являются полезными для человека и его волосного покрова, так как благодаря этим свойствам облегчается возможность питания волоса.

В свете изложенных представлений становится понятным, почему излишнее выщелачивание волоса увеличивает непостоянство показаний гигрометра. При излишнем выщелачивании уменьшается инерция волоса, вследствие чего повышается скорость изменения его влагосодержания и процессы, вызывающие забегание показаний гигрометра, происходят интенсивнее.

Экспериментальная проверка третьего следствия нашего исследования представляла собой поиски и опробование новых методов обработки человеческого волоса, существенно исправляющих его гигрометрические недостатки.

Практикам, занятым подбором волоса для гигрометров, известно, что волосы лиц, страдавших в недавнем прошлом педикулезом, как правило, обладают хорошими гигрометрическими свойствами в отношении постоянства показаний. Улучшение характеристик волоса в этом случае происходит, видимо, из-за повышения сцепления оболочки волоса с его внутренним веществом вследствие повреждения оболочки волоса паразитом для откладывания им яиц.

Для проверки правильности этого объяснения мы наносили на оболочку волоса мелкие, узкие, поперечные ожоги на расстоянии нескольких миллиметров друг от друга. Ожоги, или, как мы их называли, тепловые засечки, наносились нагретым электрическим паяльником, рабочий конец которого был выполнен в виде острия затупленного ножа.

В местах засечек оболочка волоса спекалась вместе с частью внутреннего волоса, благодаря чему повышалось ее сцепление с волок-

нами внутри волоса. Засечки выполнялись осторожно, чтобы не порезать волос.

При испытаниях было установлено, что разность показаний (или поправок) у гигрографов с волосными пучками, обработанными методом тепловых засечек, при ходе влажности на понижение и повышение для любого волоса не превосходила 4—5%.

Таким образом было подтверждено, что увеличение сцепления оболочки волоса с внутренними его частями, уменьшающее продольные смещения вещества в волосе, существенно улучшает гигрометрические свойства человеческого волоса.

Учитывая явно выраженную эластичность оболочки волоса, охватывающей неэластичное влагоемкое его вещество, нам удалось, увеличив объем внутреннего вещества, получить волос при новой, большей длине. Для этого мы кипятили волос в растянутом состоянии. После такого кипячения волос сохранял ту длину, при которой он был подвергнут кипячению. Переход волоса в новое состояние, при котором он становится длиннее, происходил из-за увеличения объема внутреннего вещества волоса, а точнее, из-за укрупнения мелких пустот в нем при кипячении.

Такой удлиненный волос обладает повышенной чувствительностью в области высоких влажностей. Испытания метода обработки волосных пучков для гигрографа М-21 показали, что пучки из любого волоса, удлиненные на 3%, повышали чувствительность гигрографа при высоких влажностях в 2—3 раза по сравнению с обычным волосом.

Разность поправок гигрографов с пучками из растянутого на 3% волоса не превышала 4—5% относительной влажности.

Меньшие удлинения волоса не давали желаемого результата, большие удлинения приводили к такому повышению общей чувствительности, при котором отрегулировать прибор нельзя.

При больших удлинениях мы получали пучки, длина которых при полном осушении менялась на 8—10% вместо 2—2,5% для обычного волоса. Основное изменение длины под действием влажности у таких пучков происходит главным образом при высоких и частично при умеренных значениях влажности. Шкала гигрометра с таким пучком сгущена вблизи нуля и разрежена вблизи 100%. Такие высокочувствительные пучки развивают значительно меньшие усилия, чем малочувствительные, а поэтому для их применения необходима разработка специальных приборов с малонагружающей кинематикой.

Методом удлинения было изготовлено более 1400 пучков из волоса, не подвергавшегося какой-либо отбраковке.

Проверка гигрографов с этими пучками дала положительные результаты. Выход годных приборов достигал 90—95%.<sup>1</sup>

Это показывает, что существенное улучшение гигрометрических свойств любой пробы человеческого волоса можно получить не только уменьшением продольных смещений вещества в волосе, но и повышением его чувствительности к влажности в той ее области, где показания гигрометра с обычным волосом особенно непостоянны.

Как следует из изложенного, принцип обработки волоса методом удлинения основан на относительном уменьшении продольного смещения влагоемкого вещества в волосе по сравнению с его удлинением из-за действия влажности.

<sup>1</sup> Основные работы по изготовлению и обработке пучков из удлиненного волоса выполнены инженером Л. И. Леоновой. Ею же осуществлен анализ результатов проверки гигрографов с новыми пучками в БП УГМС и ЦБН при ГГО.

В заключение следует отметить, что полученные нами экспериментальные результаты нельзя, как нам кажется, объяснить, исходя из широко известной теории Б. П. Срезневского [2], которая пока является единственной теорией волосного гигрометра.

Как показывают результаты нашего исследования, человеческий волос не так плох, как это кажется многим метеорологам. Скорее всего он плохо изучен, и этот недостаток наших знаний о нем следует устранить в будущем.

### Выводы

1. Неоднозначность показаний волосного гигрометра характеризуется не гистерезисом — отставанием или запаздыванием показаний, как у обычных измерительных приборов, — а забеганием их.

2. Установленная нами причина особой неоднозначности показаний волосного гигрометра, в том числе и выход его стрелки за шкалу при насыщении, заключается в продольном перемещении влагоемкого вещества внутри волоса при изменении его влагосодержания, из-за чего гигрометр реагирует не только на состояние влажности, но и на скорость ее изменения в любом направлении.

3. Благодаря новым гигрометрическим свойствам волоса, которые выявлены при исследовании, сформулированы принципиальные основы и разработаны методы обработки человеческого волоса, существенно улучшающие его гигрометрические свойства.

4. Новые представления о процессах, происходящих в человеческом волосе при использовании его для наблюдений над влажностью воздуха, были подвергнуты экспериментальной проверке, подтвердившей их соответствие с опытом.

5. При анализе причин неоднозначности показаний волосного гигрометра объяснена ошибочность представлений у исследователей, занимавшихся этим вопросом [4], [8].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Варженевский Н. С. Пленочные датчики влажности. Труды НИИ ГМП, вып. 5, Гидрометеоздат, М., 1957.
2. Кедров Иванский В. И. и Стернзат М. С. Метеорологические приборы. Гидрометеоздат, Л., 1953.
3. Новиков А. И. Метеорологические приборы (ремонт и регулировка). Гидрометеоздат, Л., 1951.
4. Решетов В. Д. Об инерции и чувствительности волосного гигрометра при низких температурах. Труды ЦАО, вып. 11. Гидрометеоздат, Л., 1953.
5. Руководство по проверке метеорологических приборов. Гидрометеоздат, Л., 1956.
6. Усольцев В. А. Измерение влажности воздуха. Гидрометеоздат, Л., 1959.
7. Bongards H. Feuchtigkeitsmessungen. München und Berlin, 1926.
8. Weber A. Nachweis für die Zuverlässigkeit des Haarhygrometerangaben von relativen Feuchtigkeiten über 100%. Marburg. 1912.

## ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЙ ГИГРОСТАТ

В настоящей статье излагаются результаты работы по автоматизации поверки простейших приборов влажности и дается описание действующего макета полуавтоматического гигростата, разработанного и изготовленного в Центральной лаборатории поверки Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова.

### Введение

Несмотря на развитие измерительной техники, для сетевых наблюдений над влажностью воздуха длительное время используются волосные гигрометры МВ-1, гигрографы МВ-11 [1] и М-21 [2]. В последнее время Рижский завод гидрометприборов выпускает также гигрографы М-32 и гигрометры М-39 с пленочными датчиками [2]. Они по основным измерительным параметрам несколько отличаются от волосных, однако все последующее изложение, касающееся волосных приборов, за исключением частных, справедливо и для пленочных.

Наряду с существенными недостатками в отношении точности и постоянства показаний указанные приборы обладают и рядом преимуществ по сравнению с другими приборами. К числу их относятся: простота конструкции, дешевизна в изготовлении, удобство в эксплуатации. Благодаря указанным преимуществам такие приборы находят широкое применение как в Гидрометслужбе, так и в ряде других ведомств.

В последние годы значительно увеличился выпуск приборов влажности, однако методы и оборудование для их поверки не претерпели каких-либо серьезных изменений. Существующие методы и оборудование для поверки простейших приборов влажности не рассчитаны на выпуск большого количества приборов, изготавливаемых крупными сериями, и не являются совершенными.

К числу основных недостатков поверки гигрометров и гигрографов, выполняемой при помощи существующего поверочного оборудования, относится прежде всего то, что результаты поверки зависят в значительной мере от субъективных особенностей поверителя и особенностей применяемого в каждом конкретном случае поверочного оборудования. Кроме того, поверка приборов влажности отличается трудоемкостью и сложностью, что требует от поверителя большого опыта и внимания в течение всего цикла поверки, продолжающегося 5—7 час. Освоенные в настоящее время Рижским заводом гидрометприборов гигрографы и гигрометры с пленочными датчиками влажности по сравнению с волосными имеют значительно меньшую инерцию, что в свою очередь затрудняет их поверку с применением существующего поверочного оборудования.

За последние годы в конструкцию отдельных гигростатов внесены некоторые изменения, в частности, улучшены условия перемешивания

воздуха в камере; тубусы, посредством которых в камеру подается сухой или влажный воздух, снабжены заслонками и т. д. Однако все эти изменения, направленные на облегчение работы с гигростатом и улучшение его характеристик, не устраняют отмеченных выше недостатков, свойственных этим поверочным установкам.

Изложенные обстоятельства указывают на необходимость разработки нового оборудования для поверки простейших приборов влажности. Предварительные изыскания в этом направлении и уточнение некоторых особенностей, специфичных для волосных приборов, а также опыт эксплуатации применяемых в настоящее время поверочных установок показали, что вопрос этот может быть разрешен удовлетворительно лишь при автоматизации основных операций цикла поверки, простоте конструкции, удобстве и надежности ее в эксплуатации.

### Требования к установке

Наиболее существенным требованием, которому должна отвечать установка для поверки приборов влажности, является автоматизация цикла поверки.

Действительно, поверка волосных приборов влажности, осуществляемая при комнатных температурах, как это следует из действующего «Руководства по поверке метеорологических приборов» [3], состоит из ряда повторяющихся операций, следующих через определенные промежутки времени. В процессе поверки, как известно, определяют три характеристики поверяемых приборов: их общую чувствительность, чувствительность на высоких влажностях и, наконец, постоянство их показаний при ходе влажности на повышение и понижение. Для определения перечисленных характеристик в камере последовательно создают влажности 98—100, 90, 80, 70, 50 и 30% и далее 50, 70, 80, 90 и 98—100%, выдерживая влажность на каждой поверяемой точке при поверке гигрометров 20—30 мин. и при поверке гигрографов — не менее 30 мин. Таким образом, на весь цикл поверки гигрометров необходимо затратить время от 3 ч. 40 м. до 5 ч. 30 м., а на поверку гигрографов — не меньше 5 ч. 30 м. Практически при работе с гигростатом длительность цикла работы увеличивается.

Существенной особенностью поверки приборов, измеряющих относительную влажность воздуха, является сохранение направления изменения влажности: сначала понижение ее от 98—100 до 30%, затем повышение от 30 до 98—100%. В практике часто имеют место случаи, когда направление изменения влажности нарушается, что чаще всего обусловлено недостатком опыта и внимания со стороны поверителя. Имеют место и отступления от темпа проведения поверки.

Анализ результатов поверки большого числа гигрометров и гигрографов на Рижском заводе гидрометприборов, проведенный в 1956 г., показал, что даже незначительные изменения цикла поверки этих приборов часто являются причиной невоспроизводимости результатов их поверки. Поэтому крайне желательна полная автоматизация всего цикла поверки простейших приборов влажности в режиме пропрограммированного регулирования. Такой режим должен предусматривать как последовательность создания и поддержания влажности в камере на заданных уровнях, так и время выдержки влажности на каждом из предусмотренных методикой ее значений.

В существующих гигростатах температура воды, используемой для увлажнения, не только не поддерживается на необходимом уровне,

но обычно и не контролируется, что тоже может являться причиной невоспроизводимости результатов поверки. Указанное обстоятельство говорит о необходимости осуществления, помимо автоматизации, основного цикла поверки и автоматического регулирования температуры воды в увлажнителе.

В целях получения необходимой точности измерения относительной влажности воздуха в камере ее целесообразно измерять вне связи с работой автоматического устройства, обеспечивающего регулирование влажности по заданной программе. Программа, по которой осуществляется цикл поверки, должна соответствовать принятой методике поверки серийных приборов влажности.

Что касается простоты конструкции, а также удобства и надежности установки в эксплуатации, то требования эти ввиду своей очевидности в особых обоснованиях и пояснениях не нуждаются.

Перечисленные выше требования являются основными. Они определяют не только выбор того или иного принципа, используемого в аппаратуре, но и конечный результат разработки.

### Выбор метода

Полная автоматизация процесса поверки простейших приборов, измеряющих относительную влажность воздуха, представляет собой достаточно трудную задачу. Прежде всего следует отметить, что известные в технике способы решения вопроса регулирования влажности в проблеме кондиционирования воздуха [4, 5, 6] не могут быть использованы, так как регулирование влажности воздуха осуществляется при этом грубо и без ее измерения. Сложность этой задачи сохраняется и при измерении значений влажности вне связи с работой автоматического устройства, обеспечивающего проведение цикла поверки. Что касается одновременного задания и измерения влажности, то из всех известных в литературе методов [7] пока ни один не удовлетворяет в отношении точности требованиям, которые предъявляют к нему при поверке гигрометров и гигрографов. Основная трудность, стоящая на пути разрешения вопроса автоматизации поверки, заключается в необходимости ограничения колебаний влажности при всех ее значениях до величины, не превышающей  $\pm 1,5\%$ . При условии равенства интенсивности работы систем осушения и увлажнения задача эта может быть разрешена сравнительно просто. Однако такое равенство имеет место лишь в сравнительно небольшом диапазоне изменения влажности. Действительно, при влажности, близкой к 100%, и максимально допустимой температуре увлажнителя его производительность не велика, в то время как производительность осушителя при этой влажности значительно больше. При низкой влажности (25—30%) интенсивность работы осушителя в значительной мере понижается, а производительность увлажнителя соответственно возрастает. Такая несогласованность вызывает необходимость в дополнительном подрегулировании интенсивности работы систем осушения и увлажнения, что значительно усложняет систему автоматизации. В полуавтоматическом устройстве эта операция выполняется вручную.

В ходе дальнейшей разработки был создан специальный узел, уравнивающий производительности систем увлажнения и осушения, что позволит в дальнейшем решить вопрос о полной автоматизации задания и поддержания влажности в установке, однако в настоящей статье вопрос этот не рассматривается.

## Автоматическое регулирование влажности в камере гигростата

Устройство, регулирующее влажность воздуха в камере гигростата, должно обладать по возможности меньшей инерцией для уменьшения колебаний влажности, неизбежных при ее автоматическом регулировании. Оно должно также отличаться необходимым постоянством во времени, достаточной точностью и безотказностью в работе. Датчик, используемый в устройстве, должен быть пригодным для осуществления простого и надежного регулирования влажности по заданной программе.

В первоначальном макете установки в качестве узла, задающего влажность в камере гигростата по определенной программе, был использован опытный образец пленочного гигрографа М-32. На металлическом барабане часового механизма была получена тщательно выполненная ступенчатая запись полного цикла проверки в соответствии с принятой методикой, после чего поверхность барабана, находящаяся выше линии записи, была покрыта тонким слоем изоляционного лака. Изолировав электрически перо гигрографа от металлической поверхности барабана и подключив цепь питания реле к перу и металлической поверхности барабана, мы получили при неподвижном барабане простейшее устройство, позволяющее осуществлять автоматическое регулирование влажности на заданном уровне. Когда влажность в камере гигростата была меньше заданной, перо касалось металла барабана и исполнительное реле включало увлажняющую систему. Воздух в камере увлажнялся до тех пор, пока перо не переходило на верхнюю часть барабана, покрытую изоляционным лаком. При этом ток через стрелку и металл барабана прекращался, увлажняющая система выключалась, а осушающая система включалась. Стрелка снова опускалась до возникновения контакта с металлом барабана, включалось увлажнение, которое затем снова сменялось осушением, и т. д.

Работа устройства, следящего за поддержанием влажности на заданном уровне, была основана на автоматически осуществляемых колебаниях пера стрелки гигрографа вокруг границы, разделяющей открытую поверхность металлического барабана и поверхность, покрытую изоляционным лаком.

Если барабан с часовым механизмом начнет вращаться, то такой гигрограф превращается в узел программного регулирования влажности по всему циклу проверки.

При переходе с одной влажности на другую, более низкую, до выхода на следующую влажность остается включенной осушающая система, а при переходе на более высокую влажность — увлажняющая система.

В дальнейшем при разработке автоматического гигростата система программного регулирования, оставшись неизменной в своем существе, претерпела изменения и уточнения технического характера. В частности, контактный принцип для следящей системы был заменен на бесконтактный при помощи фотореле (лампа — перекрываемая прорезь в барабане — зеркало — фотозлемент — электронное реле). Программа цикла проверки была выполнена в виде системы прорезей в барабане, перекрываемых шторкой, укрепленной на конце стрелки, кинематически связанной с пленочным датчиком влажности.

Принципиальная схема программного регулирования относительной влажности в камере гигростата изображена на рис. 1. В камере помещен пленочный датчик влажности, кинематически соединенный со стрелкой, на конце которой свободно подвешена металлическая шторка, находящаяся между барабаном, показанным на рис. 1 в развертке, и источником света. По окружности полого барабана сделано десять горизон-

тальных прорезей, верхние срезы которых соответствуют требуемым влажностям. Над барабаном неподвижно закреплен фотоэлемент, на который при помощи вогнутого зеркала может попадать через прорези свет и заставлять срабатывать электронное реле. Последним осуществляется управление осушителем и увлажнителем, т. е. попеременное их включение и выключение. Конструктивно блок автоматики и электронное реле представляют собой одно целое.

Таким образом, автоматическое задание и поддержание влажности в камере гистроста осуществляется при помощи прорезей программы

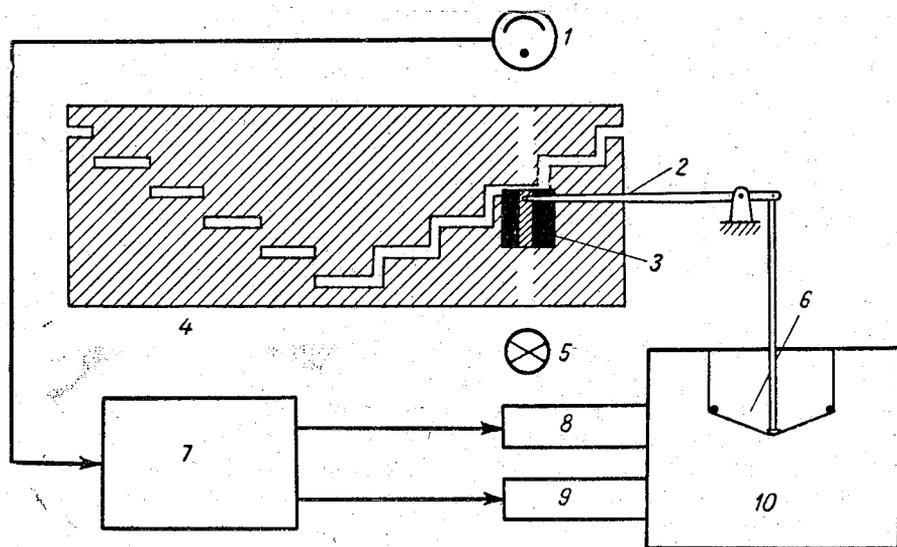


Рис. 1. Принципиальная схема программного регулирования.  
1 — фотоэлемент, 2 — стрелка, 3 — шторка, 4 — развертка барабана с программой, 5 — источник света, 6 — датчик, 7 — электронное реле, 8 — осушитель, 9 — увлажнитель, 10 — камера.

на вращающемся барабане. Более подробные сведения о взаимодействии элементов этой схемы и о полуавтоматическом регулировании влажности будут изложены ниже.

### Основные узлы установки и их взаимодействие

Основные узлы полуавтоматического гистроста и их взаимная связь представлены на рис. 2. Как видно из схемы, основными конструктивными узлами являются: камера, датчик влажности, связанный с ним фотоэлектрический программный преобразователь, блок автоматики, система осушения и система увлажнения.

Рассмотрим общее взаимодействие узлов гистроста, изображенных на рис. 2. Блок автоматики посредством датчика программного преобразователя и электронного реле, попеременно включая системы осушения или увлажнения, задает и поддерживает относительную влажность в камере. Установленный в камере психрометр с электрическим приводом автоматически включается и выключается в определенные моменты времени, предусмотренные программой. Температура воды увлажнителя с помощью блока автоматики и нагревателя поддерживается постоянной.

Остановимся на отдельных узлах установки.

Камера полуавтоматического гигростата (рис. 2) служит для создания в ней относительной влажности воздуха, значения которой предусмотрены методикой поверки. В камере размещаются поверяемые приборы. Кроме того, в ней находятся датчик, задающий влажность, и аспирационный психрометр с электрическим приводом.

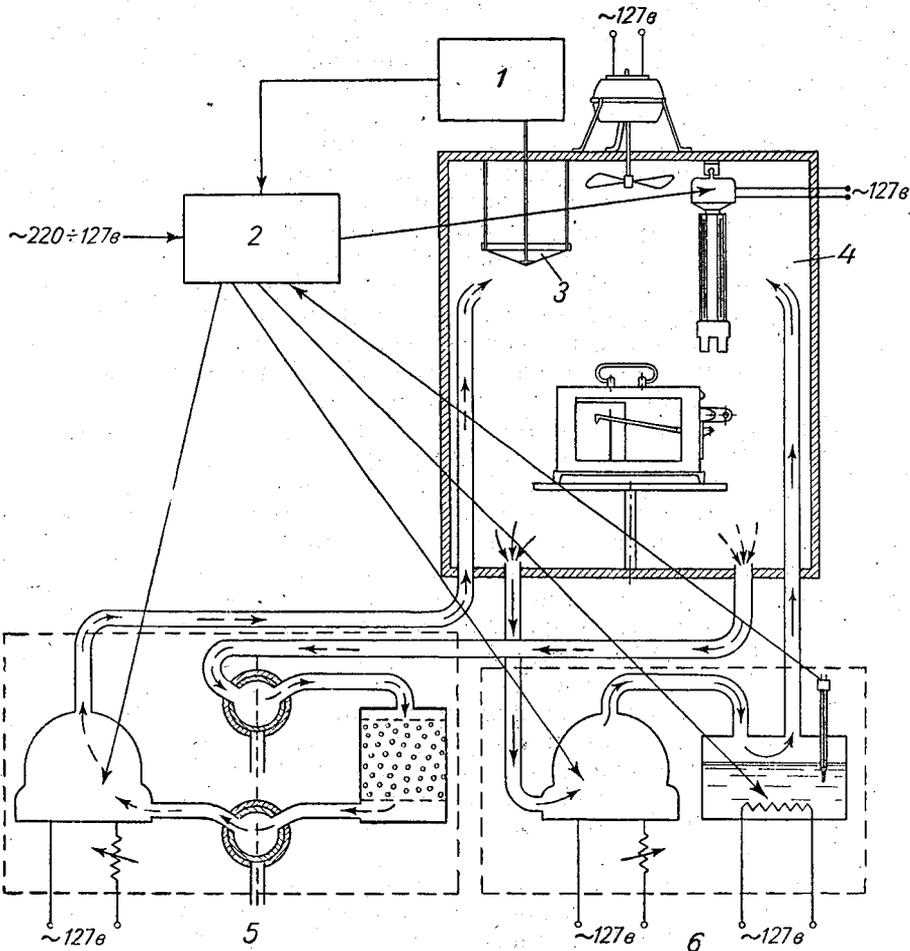
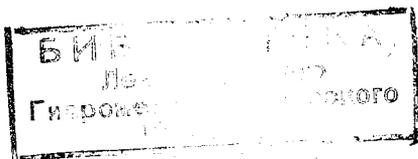


Рис. 2. Схема полуавтоматического гигростата.

1 — преобразователь, 2 — блок автоматики, 3 — датчик, 4 — камера, 5 — осушитель, 6 — увлажнитель.

Камера, примененная в макете установки, имеет форму цилиндра с диаметром и высотой 0,8 м, объем которого составляет 0,4 м<sup>3</sup>. Камера изготовлена из фанеры, укрепленной на деревянном каркасе, и снабжена застекленной дверцей, оборудованной двумя подвижными планками для очистки внутренней поверхности стекла от капельножидкой влаги. Внутренние ее стенки для уменьшения их влагоемкости покрыты парафином, что облегчает переход с высоких значений влажности на более низкие, и наоборот. Для размещения поверяемых приборов и удобства отсчетов по ним в камере укреплен на вертикальной оси решетчатый диск, вращение которого осуществляется извне.



Против застекленной дверцы на амортизаторе укреплен аспирационный психрометр. Смачивание одного из термометров психрометра производится дистанционно по принципу, примененному ранее в НИИ ГМП, с помощью резиновой пружины и капиллярной трубки, что значительно упрощает эту операцию. При такой системе смачивания особое внимание обращалось на отсутствие соприкосновения между металлическим капилляром и резервуаром смачиваемого термометра во избежание изменения психрометрического коэффициента. Для визуального контроля смачивания внешняя металлическая защитная трубка резервуара смоченного термометра заменена на стеклянную, причем внутренние защитные трубки в связи с отсутствием радиации удалены как у одного, так и у другого термометра.

Пленочный датчик влажности, о котором более подробно будет сказано ниже, помещается внутри камеры гигростата, а передающий шток его выведен наружу через соответствующее отверстие крышки камеры.

Большое внимание при разработке гигростата было уделено созданию надлежащего перемешивания воздуха в камере. С этой целью перемешивание сухого и влажного воздуха в камере осуществляется с помощью вентилятора, установленного в верхней ее части, а также циркуляцией по схеме крест-накрест. Циркуляция крест-накрест достигается соответствующим расположением входных и выходных патрубков, подающих сухой и влажный воздух (рис. 2).

Особых требований к герметичности камеры не предъявляется, так как в условиях автоматического регулирования режимов влажности в камере герметичность последней существенного значения не имеет.

Датчик влажности с фотоэлектрическим программным преобразователем (в дальнейшем мы будем его называть для краткости преобразователем) представляет собой один узел, прикрепленный к верхней крышке гигростата (рис. 2), причем датчик помещен внутри камеры, а преобразователь — снаружи. Попытка разместить датчик с преобразователем внутри камеры была неудачной, так как увлажнение находившегося в камере разъема при влажностях 80—100% отрицательно сказывалось на работе электронного реле, имевшего высокое входное сопротивление, и тем самым исключило возможность регулирования влажности при больших ее значениях. Это заставило нас перейти к более сложной конструкции раздельного размещения датчика и преобразователя, когда первый помещен внутри камеры, а второй — вне ее.

В качестве датчика, обеспечивающего регулирование влажности, была использована тонкая животная пленка, предложенная и исследованная НИИ ГМП [8]. Применение в качестве датчика относительной влажности воздуха животной пленки обусловлено желанием уменьшить его инерцию. По данным Н. С. Варженевского, инерция пленочных гигрометров меньше инерции волосных в 4—6 раз и коэффициент ее составляет 5 сек. Пленочные датчики НИИ ГМП, предложенные для гигрографов, гигрометров и радиозондов, как известно, оформлены в виде круглых мембран небольшого диаметра (45 мм) с жестким центром (с центральной шайбой) для крепления тяги. Один из основных недостатков этих датчиков заключается в малой механической прочности пленки вблизи центральной шайбы, что часто приводит к разрыву пленки в области ее крепления. Мы предположили, что повреждение пленки при креплении жесткого центра нарушает постоянство зависимости стрелы ее прогиба от влажности воздуха. Для улучшения работы пленки казалось полезным применять неповрежденную пленку. В этом случае можно было бы перейти к более тонким ее сортам, имеющим меньшую инерцию,

что особенно важно для правильности режима автоматического регулирования влажности воздуха. Датчик, изготовленный нами, отличался увеличенным размером пленки, малой ее толщиной и отсутствием повреждения в области центральной шайбы.

Примененная диафрагма из тонкой животной пленки укреплена на алюминиевом кольце, снабженном тремя стойками, посредством которых оно прикрепляется к плате, жестко соединенной болтами, проходящими через крышку камеры гигростата, с корпусом преобразователя. Жесткость этого соединения в значительной мере определяет постоянство работы данного узла. Металлическое кольцо с пленкой (диаметр кольца 120 мм) укреплено в шкафу в горизонтальной плоскости. На центр пленки опирается вертикальный передающий шток, нижний конец которого снабжен небольшим латунным диском диаметром 8—10 мм, имеющим отполированную выпуклость, обращенную к пленке. Фиксация положения конца штока на пленке необходима лишь в первое время работы датчика, так как в дальнейшем на пленке образуется углубление, определяющее положение конца штока в центре пленки. Длину штока можно регулировать путем перемещения его в цилиндрической втулке. Втулка заканчивается плоской тягой с отверстием на конце, посредством которого она шарнирно соединена с движком винтового регулятора кинематической системы пленочного гигрографа.

Стрелка датчика влажности, длиной 120 мм, на конце имеет штифт, на котором свободно подвешена шторка из фольги, что обеспечивает горизонтальность ее верхнего рабочего края.

Рассмотрим более подробно устройство фотоэлектрического преобразователя, объединенного с приспособлением для программного регулирования, принцип действия которых был изложен выше. На барабане, укрепленном на часовом механизме, обеспечивающем продолжительность одного оборота в 6 час., сделаны 10 горизонтальных прорезей шириной 5 мм каждая. Положения прорезей, расположенных ступеньками, отвечают влажностям 98, 90, 80, 70, 50, 30, 50, 70, 80, 90 и 98%, причем нанесены они по окружности барабана с таким расчетом, чтобы для влажности 98% дважды использовалась одна и та же прорезь. Длина прорезей определяется скоростью вращения барабана, а также инерцией поверяемых приборов. Программа для поверки пленочных приборов влажности отличается положением прорезей на ней и их длиной.

Устройство фотоэлектрического программного преобразователя схематически представлено на рис. 3, где изображен в разрезе барабан с прорезями 1, шторка 2, закрепленная на конце стрелки, осветительная лампочка 3, щелевая диафрагма 4, вогнутое зеркало 5 и фотоэлемент 6. Установленный перед барабаном с прорезями источник света посредством щелевой диафрагмы дает на поверхности барабана вертикальную световую полосу (см. рис. 1). Проникающий через одну из горизонтальных прорезей барабана свет, отражаясь от вогнутой зеркальной пластинки, установленной неподвижно внутри барабана, поступает на фотоэлемент. Регулирующим органом в этом случае служит шторка, связанная с пленочным датчиком влажности, положение которой обуславливает световой режим фотоэлемента. В целях получения пропорциональности между величиной светового потока и возникающим фототоком в установке могут быть применены вакуумные фотоэлементы типа СЦВ-51 или СЦВ-3, отличающиеся, кроме того, и большой устойчивостью.

Шторка на конце стрелки, имеющая для избежания задевания ее за прорези барабана выпуклость, при некоторых своих положениях изменяет величину светового потока, поступающего на фотоэлемент, а тем самым и его фототок.

В нижней части барабана, свободной от прорезей, по его окружности имеются две системы контактов с соответствующими контактными пружинами, предназначенные для автоматического пуска и выключения психрометра и для сигнализации о необходимости отсчета.

Узел преобразователя посредством многожильного экранированного кабеля с разъемами соединен с узлом блока автоматики, электронного реле и питания.

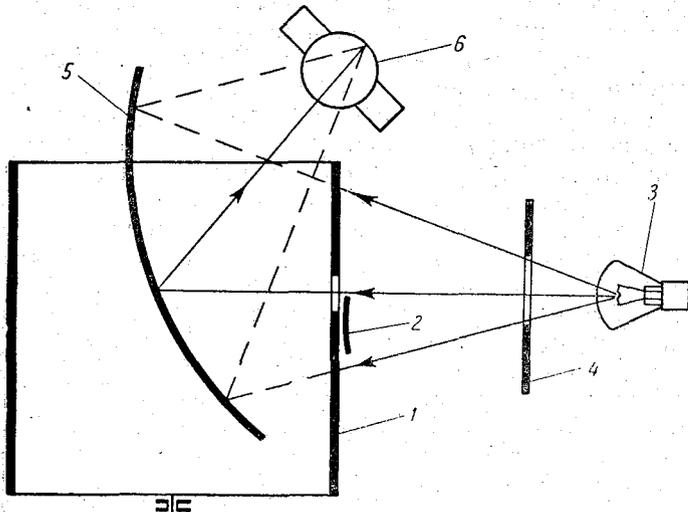


Рис. 3. Схема фотоэлектрического программного преобразователя.

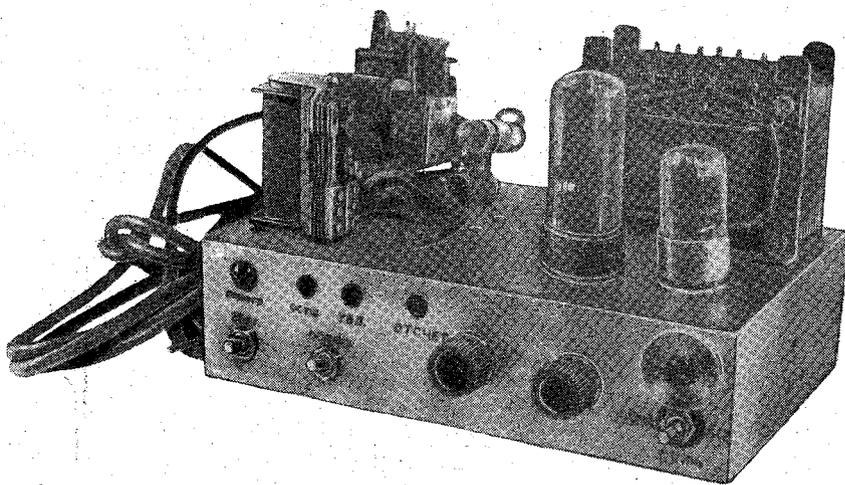


Рис. 4. Пульт управления.

Блок автоматики с электронным реле и питанием конструктивно оформлен в виде пульта управления, изображенного на рис. 4. Он содержит электронное реле фототока на лампе 6П3; реле, управляющие моторами воздуходувок осушителя и увлажнителя; реле, регулирующие температуру воды в увлажнителе; систему питания реле и систему сигнализации на пульте управления. В дальнейшем предпо-

лагается поместить на пульт управления и миллиамперметр для измерения тока в анодной цепи лампы 6П3.

Блок автоматики с усилителем и питанием посредством многожильного кабеля и двух парных разъемов соединен с моторами воздуходувок осушителя и увлажнителя, а также с мотором вентилятора и с системой подогрева воды в увлажнителе.

Подробнее об устройстве и работе этого узла, как и о работе преобразователя и установки в целом, будет сказано ниже.

Система осушения (рис. 2) может осуществляться в установке по следующим схемам: а) камера — осушитель — воздуходувка — камера или б) камера — помещение (воздух) — воздуходувка — камера. Первой схемой пользуются в случае, когда влажность воздуха в помещении больше требуемой в камере и ее осушение осуществляется при помощи патрона, заполненного крупнозернистым, предварительно высушенным силикагелем. В случае, если влажность воздуха в помещении ниже, чем требуемая влажность в камере, что обычно наблюдается при высоких влажностях в ней, для осушения камеры целесообразно использовать комнатный воздух, так как применение при высокой влажности патрона с силикагелем приводит к быстрой потере активности последнего.

Переход от первого способа осушения ко второму осуществляется при помощи специального двойного крана, положение которого на схеме (рис. 2) соответствует осушению силикагелевым патроном. При повороте крана на  $120^\circ$  против хода часовой стрелки силикагелевый патрон перекрывается с двух сторон и осушение осуществляется посредством комнатного воздуха.

В качестве воздуходувок как в осушителе, так и в увлажнителе в макете установки были применены электрические пылесосы, регулировать производительность которых можно с помощью ЛАТРов, однако целесообразнее использовать воздуходувки, не создающие нагрева воздуха, хотя при режимах, применяемых в пиростате, нагрев пылесосов практически отсутствует.

Система увлажнения (рис. 2), в отличие от системы осушения, работает по схеме камера — воздуходувка — увлажнитель — камера. Преимущество такой схемы перед схемой камера — увлажнитель — воздуходувка — камера в случае применения в качестве воздуходувки пылесоса, мотор которого может преться, очевидно. Действительно, в случае применения второй схемы влажный воздух из увлажнителя попадал бы непосредственно на пылесос, где происходил бы его нагрев и, следовательно, значительное понижение влажности воздуха, поступающего в камеру при одновременном повышении температуры в ней.

В собственно увлажнителе, имеющем простейшее устройство, уровень и температура воды поддерживаются постоянными, причем, как показал опыт эксплуатации установки, для обеспечения 98—100% влажности в камере достаточно превышение температуры воды над температурой воздуха на  $6-8^\circ$ , что приводит лишь к незначительному повышению температуры в камере.

Применение увлажнителя более совершенного устройства с большой поверхностью соприкосновения воды с воздухом дало бы возможность свести подогрев воды к минимуму и тем самым избежать повышения температуры в камере. В установке при данном типе увлажнителя с этой целью может быть предусмотрено автоматическое выключение подогрева воды при влажности в камере 70% и ниже.

Подогрев воды в увлажнителе осуществляется при помощи электрической спирали, смонтированной на изоляционной плате внутри сосуда

и находящейся ниже уровня воды, на его дне. Резервуар ртутного контактного термометра расположен у поверхности воды, несколько ниже ее.

Взаимодействие узлов установки осуществляется с помощью блока автоматики. Для уяснения работы установки в целом необходимо рассмотреть подробнее устройство блока автоматики и его связь с преобразователем, а также с системами осушения и увлажнения.

С этой целью воспользуемся электрической схемой установки, изображенной на рис. 5.

Пусть в начале цикла проверки влажность в камере имеет некоторое значение меньше требуемого, т. е. меньше 98%. Барабан часового ме-

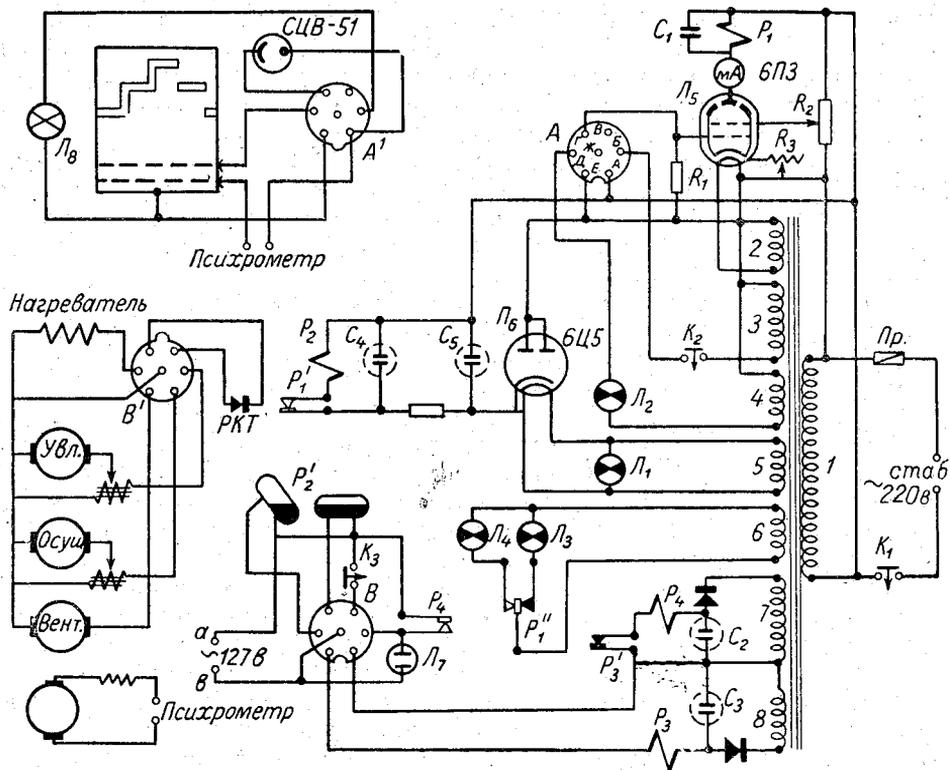


Рис. 5. Электрическая схема полуавтоматического гигростата.

ханизма с программой при этом устанавливаются таким образом, чтобы против вертикальной световой полосы располагалось начало горизонтальной прорези на нем, соответствующей влажности 98% в камере гигростата. В таком случае шторка стрелки датчика влажности будет находиться ниже прорези 98% и свет через нее, отражаясь от зеркала, попадет на фотоэлемент, сопротивление которого вследствие этого уменьшится. Возникающий фототок через разъем  $A' - A$  и кабель упадет на вход электронного реле переменного тока на лампе 6ПЗ. На управляющую сетку лампы 6ПЗ через сопротивление  $R_1$  с помощью сопротивления  $R_2$  в цепи катода лампы подается запирающее ее смещение, обуславливающее анодный ток лампы меньше, чем ток отпущения реле  $P_1$ . Поступающий от фотоэлемента при его освещении фототок вызывает на сопротивлении  $R_1$  падение напряжения: величина тока смещения меняется так, что лампа отпирается и анодный ток ее возрастает

до значения, превышающего ток срабатывания реле  $P_1$ , имеющего две контактные группы  $P_1'$  и  $P_1''$ . Нормально разомкнутая пара контактов  $P_1'$  в этом случае включает ток в обмотке исполнительного электромагнитного реле  $P_2$ , имеющего один нормально разомкнутый и один нормально замкнутый мощный ртутный выключатель  $P_2'$ . Первый в этом случае замыкается и, будучи соединен с моторами кабелем и разъемом  $B-B'$ , включает мотор воздуходувки, подающей влажный воздух через увлажнитель, а второй размыкается и выключает мотор воздуходувки осушителя — начинается увлажнение камеры. Одновременно вторая система контактов  $P_1''$  реле  $P_1$  выключает сигнальную лампочку  $L_3$  — «осушитель» и включает  $L_4$  — «увлажнитель», что дает возможность следить за режимом работы автоматического регулирования влажности.

Влажность в камере станет повышаться до тех пор, пока шторка стрелки датчика, поднимаясь вверх, не перекроет горизонтальную прорезь 98% настолько, чтобы фототок, а соответственно и анодный ток лампы уменьшились до значений тока отпущения реле  $P_1$ . В этом случае посредством системы ртутных выключателей реле  $P_2$  включится мотор воздуходувки осушителя и выключится мотор воздуходувки увлажнителя, а вторая контактная система реле  $P_1$  переключит сигнальные лампочки на «осушитель». Начнется осушение камеры, но на этот раз уже на уровне, предусмотренном программой; влажность в камере начнет понижаться, а прорезь на барабане — приоткрываться до тех пор, пока световой поток не возрастет до величины, определяющей обратное срабатывание реле  $P_1$  и  $P_2$ . В дальнейшем этот цикл повторяется и тем самым влажность в камере поддерживается на заданном программой уровне (98%) до тех пор, пока действие щели барабана, соответствующей заданной влажности, вследствие вращения его не закончится, что приводит к прекращению поступления света на фотоэлемент и, следовательно, к включению осушителя. Последний будет работать до тех пор, пока стрелка со шторкой, опустившись под влиянием снижения влажности в камере, не откроет следующую, очередную горизонтальную прорезь программы, соответствующую влажности 90%. После этого начнется процесс автоматического регулирования влажности на точке 90%, происходящий так же, как на точке 98% и на всех остальных точках. Автоматический переход на последующие точки программы при понижении влажности осуществляется так же, как и переход с точки 98% на точку 90%. Колебания влажности на заданных значениях, имеющие место при автоматическом ее регулировании, обусловлены прежде всего несовпадением токов срабатывания и отпущения реле. Кроме того, величина колебания влажности на заданных уровнях зависит от инерции датчика и воздуходувок. Начиная с влажности 30% переход на последующие, с большими влажностями, точки осуществляется несколько иначе. В конце горизонтальной прорези имеется вертикальная прорезь такой же ширины, соединяющая предыдущую нижнюю горизонтальную прорезь с последующей, верхней. В этом случае окончание горизонтальной прорези не приводит к прекращению фототока и запариванию лампы, а через вертикальную прорезь на фотоэлемент поступает свет и включается мотор воздуходувки увлажнителя. Влажность в камере возрастает до тех пор, пока не закроется шторкой вертикальная и выше лежащая горизонтальная прорези, после чего увлажнение прекращается и начинается регулирование влажности на очередной точке программы. Повторяющаяся точка 98% завершает цикл проверки. Таким образом осуществляется задание и поддержание влажности в камере.

Помимо регулирования влажности и соответствующей сигнализации,

схема автоматики осуществляет регулировку температуры воды в увлажнителе. Кроме того, предусмотрено устройство, автоматически предупреждающее поверителя об отсчете и включающее психрометр за 3—4 мин. до отсчета.

Для автоматического регулирования температуры воды в увлажнителе установки применяется ртутный контактный термометр с магнитной регулировкой (тип ТКМ). В резервуаре увлажнителя, как было указано выше, помимо ртутного контактного термометра, вмонтирована электрическая спираль для подогрева воды. В случае, если температура, установленная на термометре с помощью подвижного контакта последнего, как это обычно и бывает, выше, чем температура воды в увлажнителе до включения установки, нагрев ее спиралью начинается с момента включения гиростата. Нагрев этот продолжается до тех пор, пока ртуть в калилляре термометра не коснется его контактного штифта и через обмотку слаботочного реле  $P_3$  типа РПН, два контакта которого нормально замкнуты, не пойдет ток, в результате чего контакты его разомкнутся и выключают обмотку реле  $P_4$ , имеющего два нормально разомкнутых контакта. Тем самым через разъем  $B—B'$  и многожильный кабель выключается электрическая спираль и нагрев воды прекращается. Параллельно нагревателю включена сигнальная неоновая лампочка  $L_7$ , позволяющая следить за его работой. Применение двух реле позволило уменьшить величину тока, проходящего через ртутный контактный термометр, и увеличить срок его службы. В дальнейшем температура воды станет понижаться, контакт в термометре разомкнется, включатся контакты реле  $P_3$  и посредством реле  $P_4$  вновь включится подогрев воды в увлажнителе. Таким образом осуществляется автоматическая регулировка температуры воды с точностью  $\pm 0,5^\circ$ .

Включение аспирационного психрометра с электрическим приводом в конце каждой точки программы и предупреждение поверителя об отсчете спустя три минуты после включения психрометра производится с помощью двух систем контактов, нанесенных по окружности часового барабана и двух соответствующих этим системам контактных пружин. Первая система на определенных участках программы включает электропривод психрометра, а вторая с запаздыванием на 3 мин. включает лампочку  $L_2$  (или звуковой сигнал). Системы эти могут быть объединены.

Питание установки раздельное. Через феррорезонансный стабилизатор мощностью 250—500 вт питается схема автоматики с усилителем и непосредственно от сети напряжением 127 в осуществляется питание моторов воздуходувок осушителя и увлажнителя, мотора вентилятора для перемешивания воздуха в камере, а также электрической спирали, подогревающей воду. Такая независимая система питания обеспечивает стабильность автоматического регулирования влажности воздуха в камере и не требует мощного стабилизатора.

Для питания реле, накала электронных ламп и сигнальных лампочек в схеме применен понижающий трансформатор. Питание реле  $P_3$  и  $P_4$  соответственно осуществляется от обмоток 8 и 7 через выпрямительные ячейки на селеновых столбиках. Реле  $P_1$  включено непосредственно в анодную цепь лампы 6ПЗ. Реле  $P_2$ , потребляющее ток около 60 ма при напряжении 100 в, питается через однополупериодный выпрямитель на лампе 6Ц5С непосредственно от стабилизатора. В ходе дальнейшей разработки лампа заменена германиевым диодом. Обмотки 2 и 5 служат для питания накала ламп 6ПЗ и 6Ц5С, обмотки 4 и 6 питают сигнальные лампочки  $L_2$ ,  $L_3$  и  $L_4$ ; в дальнейшем для этой цели предполагается использовать одну обмотку путем применения однотипных лампочек. Входная обмотка 1 трансформатора подключается к стабилизатору напря-

жения, однако в случае постоянства напряжения в сети трансформатор может быть включен непосредственно в сеть 220 в.

Тумблер  $K_1$  включает установку в сеть (в цепь стабилизатора), причем зажигается сигнальная лампочка  $L_1$ . Тумблер  $K_2$  предназначен для включения освещения фотоэлемента. С помощью тумблера  $K_3$  после включения в сеть 127 в проводов  $a$  и  $b$  включается мотор, вращающий вентилятор, установленный в камере.

### Сборка и регулировка установки

Сборка и регулировка установки в целом особых трудностей не вызывает. Исключение представляет узел датчика с преобразователем, на сборке и регулировке которого следует остановиться особо.

Говоря о датчике влажности, необходимо обратить внимание на крепление пленки к кольцу, которое осуществляется с помощью тонкого металлического обжимного кольца с резиновой прокладкой, стягиваемого посредством болта. Такое крепление исключает повреждение пленки и позволяет сравнительно легко изменять стрелу ее прогиба. Последняя при комнатной влажности воздуха (30—40%) должна составлять 10—14 мм. Необходимости в креплении вертикального штока на пленке, как указывалось выше, нет, однако для формирования углубления в центре пленки несколько первых циклов поверки следует осуществлять с фиксирующим кольцом, сквозь которое с некоторым зазором должен проходить шток. Кольцо это, изготовляемое из мягкой проволоки диаметром около 1 мм, укрепляется в верхней плоскости алюминиевого кольца, к которому крепится пленка. В дальнейшем после образования углубления на пленке под штоком фиксирующее кольцо для уменьшения трения может быть снято.

Регулировка чувствительности датчика осуществляется обычным заданием относительной влажности 100 и 30% в камере при надетой на верхнюю часть барабана миллиметровой ленте. При этом ролю пера выполяет верхний срез шторки, по которому и берутся отсчеты. Регулировка чувствительности датчика производится, как и у пленочного гигрографа, с помощью винтового регулятора. Положение стрелки на барабане может быть изменено посредством изменения длины выдвинутой части вертикального штока. В процессе регулировки необходимо добиться примерно равных общей чувствительности и чувствительности при значениях влажности 90—100%.

После получения необходимой чувствительности определяют положение прорезей на барабане. С этой целью при закрепленной на барабане ленте и установленном на уровне шторки (которая должна быть снята) перо с большой тщательностью последовательно задают и поддерживают в течение 20 мин. в камере влажность 98, 90, 80, 70, 50, 30, 50, 70, 80, 90, 98%, причем переключение воздуходувок осушителя и увлажнителя осуществляется вручную нажатием и отпусканием якоря реле  $P_1$ . Полученная на ленте ступенчатая линия переносится на барабан и является верхней границей прорезей. Эти прорези аккуратно выпиливаются на барабане с таким расчетом, чтобы прорезь 98% использовать дважды — при ходе на понижение и на повышение влажности. О длине прорезей было сказано выше. Одновременно в соответствии с расположением и длительностью прорезей с помощью достаточно стойкого изоляционного лака, лучше эвлетного, на барабан наносится система контактов для включения электропривода психрометра и для подачи предупредительных сигналов поверителю.

После изготовления программы и установки барабана юстируется

система осветитель — прорезь — зеркало — фотоэлемент. В процессе регулировки, которая трудностей не представляет, добиваются максимальных равных значений анодного тока лампы 6ПЗ при использовании любой полностью открытой горизонтальной прорези программы. Закончив юстировку, следует проверить соответствие получаемых с помощью программы значений влажности в камере значениям, предусмотренным методикой, а в случае расхождения осуществить дополнительную регулировку.

Значительное влияние на уменьшение колебаний влажности при автоматическом ее регулировании оказывает режим работы электронного реле. Установкой оптимального режима электронного реле осуществляется переменными сопротивлениями  $R_2$  и  $R_3$  (рис. 5). Величина этих сопротивлений должна быть такой, чтобы при закрытых прорезях программы анодный ток лампы был несколько меньше тока отпускания реле  $R_1$ . При открытой полностью любой прорези анодный ток в 2,5—3 раза должен превосходить ток срабатывания реле.

### Работа установки

Как уже указывалось выше, гигростат представляет собой полуавтоматическую установку и в процессе работы с ней требует дополнительной регулировки. Это связано с тем, что производительность осушителя и увлажнителя примерно одинакова лишь при влажностях 70—50%; при высоких значениях влажности возрастает активность осушителя, а при низких — увлажнителя. Такое несоответствие приводит к увеличению колебаний влажности в камере на некоторых точках до  $\pm 3\%$ . Для уменьшения этих колебаний до значений  $\pm 1,5\%$  относительной влажности осуществляют дополнительную регулировку производительности осушителя и увлажнителя при выходе на каждую из очередных точек программы.

Об эффективности работы осушителя и увлажнителя позволяет судить скорость изменения показаний миллиамперметра, включенного в анодную цепь лампы 6ПЗ (см. рис. 5).

Действительно, в случае, если осушитель имеет производительность больше, чем увлажнитель, то увеличение показаний миллиамперметра при открываемой прорези будет происходить быстрее, чем уменьшение их при закрываемой прорези. Отсюда следует принцип регулировки оптимальной производительности осушения и увлажнения при переходе на очередную точку. Необходимо с помощью регуляторов напряжения типа ЛАТР-2, предназначенных для регулировки интенсивности работы осушителя и увлажнителя, добиться одинаковой их производительности. В этом случае время открывания прорези должно быть равным времени ее закрывания. В связи с тем, что при больших интенсивностях работы осушителя и увлажнителя имеет место возрастание их инерции, необходимо избегать форсированных режимов. Опыт эксплуатации гигростата показал, что оптимальный режим автоматической регулировки влажности в камере устанавливается в том случае, если время, необходимое для открывания прорези, равно времени, необходимому для ее закрывания, и составляет не меньше одной минуты. На регулировку режима в начале каждой точки необходимо около 3 мин., после чего установка автоматически продолжает поддерживать влажность на точке с колебаниями, не превышающими достигнутых в процессе регулировки. Переход на очередные точки происходит автоматически.

Работа гигростата после регулировки его узлов надежна, а дополнительная установка режимов с помощью миллиамперметра при переходе на очередные точки трудностей не вызывает.

В ходе испытания разработанной установки была измерена амплитуда колебания относительной влажности воздуха в камере, обусловленная автоматическим ее регулированием при выдержке на точках в течение 30 мин. С этой целью после дополнительной установки режимов при помощи аспирационного психрометра осуществлялись многократные замеры наибольшей и наименьшей влажности в камере. Измерения показали, что амплитуда ее колебаний в течение 30 мин. не превышает  $+1,5\%$ .

Записи на лентах гигрографов, поверенных в полуавтоматическом гигростате, представлены на рис. 6.

На фотографии изображены две ленты суточных гигрографов, поверенных одновременно. Продолжительность записей на лентах составляет 6 ч. 40 м. Несоответствие между длительностью оборота барабана

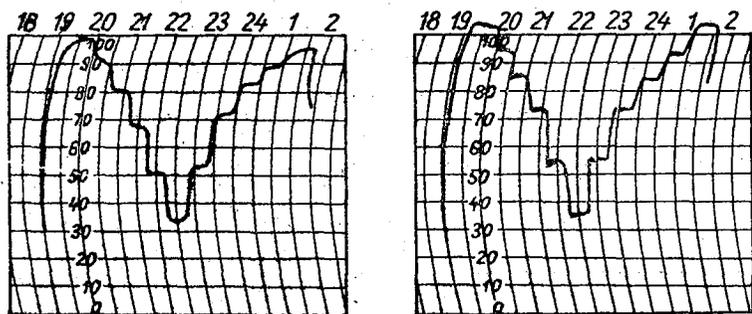


Рис. 6. Ленты гигрографов, поверенных в установке.

(6 час.) и продолжительностью записи объясняется тем, что прорезь программы, отвечающая влажности  $98\%$ , используется дважды.

Запись на левой ленте получена при помощи волосного гигрографа. Заметить колебания влажности на точках по ней трудно, так как они не превышают  $\pm 0,5\%$  относительной влажности. По записи видно, что при переходе с влажности  $100\%$  на влажность  $90\%$  инерция волосного гигрографа больше, чем на других участках. Эта особенность волосных гигрографов заставляет несколько удлинить прорезь программы, соответствующую влажности  $90\%$ .

Запись на правой ленте получена при помощи пленочного гигрографа. Колебания влажности по записи вследствие малой инерции прибора значительно больше, чем у волосного гигрографа, однако они не превышают  $\pm 1\%$  относительной влажности.

Приведенные записи свидетельствуют о том, что описанный гигростат автоматически задает выдержки на заранее выбранных точках и тем самым определяет продолжительность цикла поверки, осуществляет переход с точки на точку и при оптимальных режимах, достигаемых простой дополнительной регулировкой, позволяет поддерживать задаваемые значения влажности в камере в пределах  $\pm 1\%$  относительной влажности. Таким образом, полуавтоматический гигростат обеспечивает поверку приборов влажности в соответствии с существующей методикой. Работа на установке не требует высокой квалификации поверителя и освобождает его от необходимости постоянно следить за режимом гигростата.

О параметрах полуавтоматического гигростата позволяет судить приводимая ниже таблица, в которой даны также и некоторые параметры гигростатов, применяемых в поверочных органах ГУГМС.

Приводимые в таблице данные по применяемым гигростатам справедливы лишь при работе поверителя, имеющего достаточный опыт в обращении с установкой. Отсутствие допусков означает, что соответствующий параметр зависит лишь от умения поверителя.

Наименование параметра	Автогигростат	Применяемые гигростаты
Амплитуда колебаний влажности за 30 мин. (при измерении психрометром) . . . . .	$\pm 1,5\%$ относительной влажности	До $\pm 4\%$
Изменение влажности за 30 мин. . . . .	$\pm 0,5\%$ относительной влажности	
Несовпадение влажности на сопряженных точках . . . . .	$\pm 1,0\%$ относительной влажности	$\pm 3\%$
Нагрев воды в увлажнителе по сравнению с температурой комнаты . . . . .	6—8°	До 40—50°
Продолжительность поверочного цикла . . . . .	6 ч. 30 м.	
Нагрев воздуха в камере за время поверки . . . . .	2—3°	2—4°
Время перехода от 100 к 30% и от 30 к 100% относительной влажности . . . . .	8 мин. $\pm$ 2 мин.	

Существенным преимуществом описанного гигростата перед гигростатами, применяемыми в настоящее время, является то, что он имеет вполне определенные параметры, не зависящие от субъективных особенностей поверителя. Это преимущество делает поверку на нем воспроизводимой.

Проведенная работа по автоматизации поверки серийных приборов, измеряющих относительную влажность воздуха, не может считаться законченной. Она лишь явилась попыткой применить один из возможных способов автоматизации цикла поверки, который, на наш взгляд, надежен, сравнительно прост и экономичен. Параллельно с решением этой проблемы, независимо от пути ее решения, возникает вопрос и о создании достаточно эффективной системы увлажнения, не приводящей к повышению температуры в камере гигростата.

При любом принципе, заложенном в основу автоматизации поверки, в дальнейшем нам представляется необходимым три направления в работе. С одной стороны, это создание упрощенного варианта полуавтоматического гигростата по возможности более простой конструкции, но обеспечивающего поверку приборов влажности в соответствии с принятой методикой. Такой гигростат должен найти широкое применение в условиях Бюро поверки УГМС. С другой стороны — разработка по возможности полностью автоматизированного гигростата, пригодного для массовой поверки психрографов и гигрометров в заводских условиях.

Наконец, большой практический интерес представляет разработка аналогичной установки, предназначенной для испытания приборов влажности как при положительных, так и при отрицательных температурах. Такой гигростат позволяет исследовать приборы влажности в условиях, соответствующих условиям эксплуатации не только психрографов и гигрометров в зимнее время, но и датчиков влажности радиозондов и самолетных метеорографов. Последнее направление работы наиболее трудоемко и связано с решением ряда вопросов, в том числе и с созданием надежного измерителя влажности воздуха при отрицательных температурах.

Разработка конструкции полуавтоматического гигростата и опыт, приобретенный в процессе работы с его действующим макетом, позво-

лили уточнить технические требования на изготовление, сборку и регулировку полуавтоматического гигростата, использование которого целесообразно при проверке простейших приборов влажности.

### Выводы

1. Разработан, изготовлен и испытан действующий макет полуавтоматического гигростата для проверки серийных приборов влажности при положительных температурах от 15 до 25° и относительной влажности воздуха от 30 до 98—100% в соответствии с требованиями Руководства по проверке метеорологических приборов.

2. В качестве датчика влажности использована животная пленка, обработанная по способу НИИ ГМП и выполненная для стабильности ее работы без повреждения в центральной части.

3. Автоматизация задания и поддержания влажности в камере гигростата осуществляется с помощью фотоэлектрического программного преобразователя и электронного реле.

4. Выбор поверяемых точек, выдержка на них, поддержание влажности на каждой поверяемой точке, переход на очередную поверяемую точку и воспроизведение всего цикла проверки осуществляются автоматически. Дополнительная регулировка работы гигростата, необходимая для каждой поверяемой точки, и измерение влажности психрометром осуществляются поверителем.

5. Испытания действующего макета установки показали, что она имеет существенные преимущества перед применяемыми гигростатами.

Амплитуда колебаний влажности, измеренная аспирационным психрометром, не превышает  $\pm 1,5\%$  относительной влажности.

Изменение среднего значения влажности за время выдержки в 30 мин. не превышает 1%. Влажность на сопряженных точках отличается не более чем 2% относительной влажности.

Изменение температуры воздуха в камере гигростата за полный цикл проверки не превосходит 2°. Работа установки не зависит от субъективных особенностей поверителя и не требует его непрерывного внимания.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кедролыванский В. Н. и Стеризат М. С. Метеорологические приборы. Гидрометеиздат, Л., 1953.
2. Стеризат М. С. и Сапожников А. А. Метеорологические приборы, наблюдения и их обработка. Гидрометеиздат, Л., 1959.
3. Руководство по проверке метеорологических приборов. Гидрометеиздат, Л., 1956.
4. Архипов Г. В. Автоматическое регулирование кондиционирования воздуха. Оборонгиз, М., 1949.
5. Дегтярев Н. В., Баркалов Б. В., Архипов Г. В., Павлов Р. В. Кондиционирование воздуха. Гос. изд-во лит. по строительству и архитектуре, М., 1953.
6. Скрицкий А. Г. Автоматика в системах теплогасоснабжения и вентиляции. Госстройиздат, М., 1957.
7. Усольцев В. А. Измерение влажности воздуха. Гидрометеиздат, Л., 1959.
8. Варженевский Н. С. Пленочные датчики влажности. Труды НИИ ГМП, вып. 5, Л., 1957.

## АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ ТРУБА МАЛЫХ СКОРОСТЕЙ

В статье дается описание аэродинамической трубы, позволяющей создавать и измерять малые скорости воздушного потока в пределах от 0,05 до 4 м/сек. Сообщаются сведения, касающиеся ее градуировки, основных параметров и погрешностей поверки анемометров в ней.

Как известно, в настоящее время в различных областях народного хозяйства в соответствии с запросами практики широко используются специальные приборы для измерения малых скоростей воздушного потока. В частности, все большее распространение находит выпускаемый Московским заводом гидрометприборов струнно-осевой вентиляционный анемометр АСО-3 ГОСТ 6376—52, тип Б с пределами измерений от 0,3 до 5 м/сек. [1]. Однако в поверочных организациях приборы, предназначенные для измерения малых скоростей воздушного потока, не поверяются. Градуироваются они на заводах-изготовителях, и погрешности их градуировки неизвестны.

В связи с изложенным, а также ввиду все растущей потребности в измерении малых скоростей при постановке научно-исследовательских работ возникает настоятельная необходимость в разработке методики поверки этих приборов.

Ниже приводятся результаты работы, проведенной в этом направлении в Центральной лаборатории поверки ГГО.

Основные способы поверки анемометров для измерения малых скоростей воздушного потока можно разделить на две принципиально различные группы: а) прямые методы, когда скорость воздушного потока при градуировке приборов определяется абсолютным методом, т. е. измерением пути и времени движения частиц воздуха, обтекающего прибор, или прибора в неподвижном воздухе; б) косвенные методы, при которых измерение скорости воздушного потока осуществляется специальными приборами, например, пневмометрическими трубками с чувствительными микроанометрами, термоанометрами, ионизационными анемометрами и тому подобными приборами. При этом для обеспечения правильности показаний упомянутые выше приборы требуют предварительной градуировки по образцовым приборам.

Поверка анемометров обычно осуществляется в аэродинамических трубах или в установках типа ротативных машин.

Не останавливаясь на подробном рассмотрении упомянутых методов и установок, достаточно известных по данным отечественной и иностранной литературы, отметим, что существенным недостатком приводимых в литературе сведений является почти полное отсутствие количественных данных по точности поверки, осуществляемой различными методами. Из-за этого невозможно оценить существующие методы градуировки приборов в отношении целесообразности их применения.

Из известных нам применяемых на практике методов поверки анемометров для измерения малых скоростей воздушного потока упомянем два — рекомендуемый Всесоюзным научно-исследовательским институтом метрологии им. Д. И. Менделеева и применяемый на Московском заводе гидрометприборов.

Поверка анемометров для измерения малых скоростей во ВНИИМе осуществляется посредством образцового прибора в аэродинамической трубе, воспроизводящей скорости воздушного потока от 0,1 м/сек. В качестве образцового прибора используется термоанемометр системы К. Н. Васильева [2] с нижним пределом измерения от 0,08 м/сек. Периодическая контрольная градуировка термоанемометра выполняется на ротативной машине. Градуировка образцового прибора на ротативной установке достаточно сложна и требует учета влияния так называемого спутного потока и его турбулентного состояния.

Поверка вентиляционных анемометров на Московском заводе гидрометприборов осуществляется в двух аэродинамических трубах. При скоростях воздушного потока до 1 м/сек. анемометры поверяются в трубе малых скоростей, а при больших скоростях — в обычной аэродинамической трубе.

Метод замера малых скоростей воздушного потока, применяемый на Московском заводе гидрометприборов, основан на использовании аэродинамической трубы с поджатием потока до рабочей части. В узком сечении трубы скорость воздушного потока измеряется манометрическим способом, а в широком сечении устанавливается поверяемый прибор. Основной недостаток этого метода заключается в том, что скорости в рабочей части трубы получаются расчетным путем. В основу расчета положено предположение об обратной пропорциональности скоростей в сечениях существенно различных диаметров. Такое предположение допустимо лишь как приближенное, степень приближения которого неизвестна. Установки с замером скорости воздушного потока в узком сечении могут успешно работать при условии надежного их градуирования. Следует отметить, что на Московском заводе не получается плавного перехода от результатов поверки вентиляционных анемометров в трубе малых скоростей к результатам их поверки в обычной аэродинамической трубе. Разрыв на скорости 1 м/сек. достигает 0,2 м/сек., т. е. 20% от измеряемой скорости.

Таким образом, положение с поверкой приборов для измерения малых скоростей воздушного потока нельзя считать удовлетворительным.

В результате анализа существующих методов поверки приборов, предназначенных для измерения малых скоростей, мы пришли к выводу, что наиболее простым является метод поверки в аэродинамической трубе с упрощенным способом измерения скоростей воздушного потока (по числу оборотов винта аэродинамической трубы), предложенный одним из авторов и уже осуществленный в установке для поверки ручных анемометров ГОСТ 6376—52, тип А [3]. Поэтому при разработке методики поверки рассматриваемых приборов были поставлены две задачи: выбор аэродинамической трубы, позволяющей воспроизводить и одновременно замерять малые скорости воздушного потока, и выбор образцового прибора для разовой градуировки этой аэродинамической трубы.

Исследование аэродинамической трубы ГГО [4] показало, что, несмотря на ее отличное качество в отношении постоянства скорости воздушного потока во времени, она непригодна для поверки анемометров при скоростях, меньших 0,5 м/сек. В связи с этим, а также с учетом особенностей выбранного метода измерения скоростей была разработана и изготовлена небольшая аэродинамическая труба с мотором малой

мощности. Во избежание температурной неоднородности рабочий объем трубы ограничен теплопроводными стенками. В трубе воспроизводятся скорости от 0,05 до 4 м/сек. Принцип действия трубы аналогичен принципу работы установки для поверки ручных анемометров УПАР-01 и основан на одновременном использовании многолопастного винта для создания скорости воздушного потока и для измерения ее по числу оборотов винта (мотора). Схематический разрез трубы представлен на рис. 1.

Аэродинамическая труба 1 для малых скоростей имеет длину 2 м и диаметр рабочего сечения 0,5 м. Воздушный поток необходимой скорости создается многолопастным винтом 2 с постоянным расходом. Винт приводится во вращение универсальным коллекторным электромотором 3 с потребляемой мощностью около 200 вт. Мотор питается от сети переменного тока через автотрансформатор лабораторного типа. Вал вентилятора (винта) приводится во вращение мотором через ступенчатую ременную передачу, что позволяет уменьшить нижний предел воспроизводимой скорости и в необходимых пределах плавно регулировать скорость

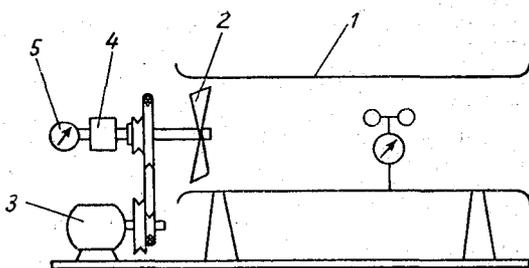


Рис. 1. Схематический разрез аэродинамической трубы малых скоростей.

воздушного потока. Вал винта соединен через электромагнитную муфту 4 со счетчиком 5 числа оборотов винта. Особое устройство позволяет включать и выключать счетчик на расстоянии. Рабочая часть трубы закрытая. Отсчеты поверяемого прибора производятся через остекленное окно в стенке трубы.

Так как скорость воздушного потока зависит от скорости вращения винта, то по числу оборотов винта, фиксируемых счетчиком, можно определить скорость воздушного потока по счетчику при условии разовой его градуировки с помощью образцового прибора, позволяющего измерять скорость воздушного потока в рабочем сечении трубы. В результате градуировки определяется зависимость между числом оборотов винта в единицу времени и скоростью воздушного потока. Указанная зависимость оформляется в виде градуировочной кривой (или таблицы), которая служит для определения скорости при поверке вентиляционных анемометров. Описанный способ измерения скорости исключает износ образцового прибора и обеспечивает большее постоянство результатов при повторных поверках приборов.

Для градуировки трубы в качестве образцового прибора были использованы (после тщательной предварительной поверки их разными методами) семь стандартных вентиляционных анемометров АСО-3 с повышенным порогом чувствительности.

Для поверки анемометров вблизи нижнего предела измеряемых скоростей от 0,1 до 0,4 м/сек. мы воспользовались приспособлением, которое применяется в Центральной лаборатории поверки Государственного гидрологического института для тарировки гидрологических вертушек при малых скоростях. При поверке скорость воздушного потока замерялась абсолютным методом, т. е. измерялись путь и время при прямолинейном и равномерном движении прибора в спокойном воздухе.

Начиная со скорости 0,4 м/сек. приборы поверялись в аэродинамической трубке ГГО, при этом скорость замерялась посредством пневмометрической трубки и чувствительного весового микроанометра.

Приспособление, в котором поверялись анемометры до 0,4 м/сек., представляет собой малогабаритный тарировочный бассейн лабораторного типа. Для наших опытов он был предварительно освобожден от воды и высушен. В дальнейшем мы будем называть его для краткости лотком.

Лоток в виде толстостенной металлической трубы длиной около 3 м, диаметром 0,5 м смонтирован в лаборатории вдоль одной из ее стен. Он оборудован способной к перемещению тележкой следующим образом. Верх трубы срезан, и по краям срезов проложены рельсы (колея) для движения тележки. Движение тележки осуществлялось через посредство двух металлических тросов, идущих от центра передней и задней сторон тележки. Для получения различной скорости движения тележки передний трос прикреплялся к роликам различного диаметра, насаженным на ось электромотора. Второй конец заднего троса с прикрепленным к нему грузом необходимого для движения тележки веса перекидывался через блок. При вращении электромотора тележка приходила в равномерное движение с различной скоростью в зависимости от диаметра того ролика, на который наматывался (или сматывался) ее передний трос. Рабочее расстояние (база) составляло 250 см. Поверяемый анемометр располагался снизу в центре тележки с таким расчетом, чтобы он двигался внутри трубы, вдоль ее оси. Движение анемометра в изолированном таким образом пространстве исключало возможное влияние местных воздушных токов. Прибор поверялся при включенном на весь цикл поверки счетном механизме. При поверке одним из наблюдателей отмечалось число оборотов крыльчатки анемометра по прохождению одной из лопастей, имеющей метку, через какое-либо деление шкалы анемометра. Одновременно отмечалось и время по секундомеру. Вторым наблюдателем фиксировалось по секундомеру время прохождения анемометром расстояния в 250 см по меткам, имевшимся на срезах трубы. Опыт начинался только при приходившей во вращение крыльчатке, что обеспечивалось некоторым запасом пути тележки до рабочего расстояния.

Проверка анемометров на каждой поверяемой точке (около 0,1, 0,2, 0,3 и 0,4 м/сек.) производилась с десятикратной повторностью при температуре около 20° и давлении около нормального.

При обработке данных опыта скорость воздушного потока  $v$  вычислялась по формуле

$$v = \frac{L}{T},$$

где  $L$  — длина пути тележки (анемометра) в метрах,  $T$  — время перемещения ее в секундах.

В результате поверки для каждого из семи анемометров была построена средняя градуировочная кривая, определяющая зависимость между показаниями прибора и скоростью воздушного потока. Эта зависимость у всех анемометров оказалась прямолинейной.

Оценим расчетную величину возможных погрешностей результатов поверки анемометров в гидрологическом лотке при скоростях до 0,4 м/сек.

Длина пути анемометра (250 см) могла несколько меняться, так как момент засечки времени секундомером определялся наблюдателем на глаз при прохождении центра тележки через индексы отмеченного на рельсах расстояния. Возможную в начале и конце пути ошибку при этом можно допустить максимум на ширину индекса не более 2,5 мм. Следовательно, относительная ошибка при определении пути анемометра не могла превысить 0,1%.

Погрешность в определении скорости воздушного потока, происходящая из-за ошибки 0,1 сек. при каждом включении секундомера, будет составлять:

При скорости тележки	0,1 м/сек.	0,8%
"	"	1,6
"	"	2,4
"	"	3,2

Если учесть погрешность самого вентиляционного анемометра, принятую нами равной 0,01 м/сек., то расчетная величина возможной суммарной максимальной погрешности результата поверки анемометров до 0,4 м/сек., произведенной в гидрологическом лотке один раз, будет равна:

При скорости воздушного потока	0,1 м/сек.	10,9%
"	"	6,7
"	"	5,8
"	"	5,8

Для количественной характеристики максимальной погрешности единичной поверки в гидрологическом лотке была определена для различных скоростей максимальная погрешность ряда измерений по формуле

$$3\sigma_{\text{д}} = \pm 3 \sqrt{\frac{\sum \rho^2}{(n-1)k}}$$

где  $\rho$  — остаточные погрешности,  $n$  — число повторностей,  $k$  — число приборов.

В табл. 1 приведены полученные данные.

Таблица 1

Скорость (м/сек.)	0,1	0,2	0,3	0,4
$3\sigma_{\text{д}}$ { м/сек. %	0,015 15,0	0,015 7,5	0,015 5,0	0,018 4,5

Из табл. 1 видно, что полученные из опыта максимальные погрешности единичной поверки анемометров в гидрологическом лотке  $3\sigma_{\text{д}}$  на различных скоростях близки к вышеприведенным расчетным данным.

Для определения величины максимальной погрешности результата многократной поверки анемометров в гидрологическом лотке была вычислена максимальная погрешность результата  $3S_{\text{д}}$  по формуле

$$3S_{\text{д}} = \frac{3\sigma_{\text{д}}}{\sqrt{(n-1)k}}$$

Максимальная погрешность многократной поверки приведена в табл. 2. Эта погрешность является одной из составных частей максимальной погрешности градуировочной кривой трубы малых скоростей.

Таблица 2

Скорость (м/сек.)	0,1	0,2	0,3	0,4
$3S_{\text{д}}$ { м/сек. %	0,002 2,0	0,002 1,0	0,002 0,7	0,002 0,5

Из данных табл. 2 следует, что точность многократной поверки вентиляционных анемометров в гидрологическом лотке вполне достаточна

для того, чтобы использовать их градуировочные кривые в качестве исходных данных при градуировке трубы малых скоростей.

Проверка вентиляционных анемометров при скоростях выше 0,4 м/сек. была произведена, как упоминалось выше, в аэродинамической трубе ГГО при помощи пневмометрической трубки и трех разных микроанометров: компенсационного типа Аскания, Розенмюллера с наклонной трубкой ( $\alpha=3^\circ$ ) и весового микроанометра ЦБП при ГГО.

Приборы были поверены в аэродинамической трубе три раза: два раза до градуировки трубы малых скоростей и один раз после градуировки.

Установка приборов в аэродинамической трубе и техника поверки соответствовали требованиям Руководства по поверке метеорологических приборов [5]. Приборы поверялись при различных скоростях от 0,4 до 5 м/сек. при повышении и понижении скорости воздушного потока. Время выдержки анемометров на каждой поверяемой точке составляло 100 сек.

Полученные при поверке данные оформлялись так же, как и в случае поверки в гидрологическом лотке, в виде градуировочных кривых анемометров, определяющих зависимость их показаний от скорости воздушного потока. Анализ этих кривых показал, что расхождения в результатах поверки разными микроанометрами незначительны и находятся в пределах точности поверки этими приборами. Поэтому при скоростях выше 0,4 м/сек. для градуировки трубы малых скоростей мы сочли возможным использовать результаты поверки вентиляционных анемометров при помощи весового микроанометра как наиболее чувствительного. Эта поверка из-за технических трудностей была произведена один раз.

Оценим расчетным путем максимальную погрешность результатов этой поверки.

Погрешность градуировочных кривых вентиляционных анемометров, полученных в аэродинамической трубе, зависит как от качества трубы и применяемых для определения скорости воздушного потока приборов, так и самих поверяемых приборов.

Коэффициент пневмометрической трубки, используемой для измерения скорости воздушного потока в аэродинамической трубе, принимался равным единице.

В отношении точности определения коэффициента пневмометрической трубки для интересующих нас скоростей — 5 м/сек. и ниже — в отечественной литературе нет опубликованных работ. Наиболее полное и тщательное исследование и определение коэффициентов трубки от 0,6 м/сек. было выполнено в Национальной физической лаборатории Оуэром [6]. На основании этих и более поздних исследований [7] было установлено, что при наличии чувствительного микроанометра можно пользоваться пневмометрическими трубками при скоростях порядка 0,6 м/сек. с ошибкой, не превосходящей 1% от измеряемой скорости. Конструкция используемой нами пневмометрической трубки соответствует испытанной стандартной трубке упомянутой лаборатории. Поэтому указанную погрешность для скоростей ниже 1 м/сек. можно принять и в наших опытах.

Что касается весового микроанометра, то, по исследованиям М. А. Агапитова [8], измерение этим микроанометром скорости воздушного потока в 0,3—0,4 м/сек. может сопровождаться соответственно ошибками до 0,03—0,02 м/сек. При скоростях от 0,5 до 5 м/сек. абсолютная погрешность составляет 0,01 м/сек.

Погрешность в измерении скорости, связанную с колебаниями воз-

душного потока в аэродинамической трубе ГГО, можно оценить в 1% от измеряемой скорости.

Погрешность струнно-осевых анемометров, как и при поверке в гидрологическом лотке, принималась равной 0,01 м/сек.

Суммарная максимальная погрешность результатов единичной поверки вентиляционных анемометров в аэродинамической трубе ГГО определена нами по способу квадратичного суммирования.

Погрешности градуировки трубы при использовании в качестве образцового прибора семи анемометров вместо одного будут меньше в  $\sqrt{7}$  раз.

Полученная таким образом расчетная максимальная погрешность, обозначенная нами  $3S_r$ , дана в табл. 3. Она также войдет составной частью в максимальную погрешность градуировочной кривой трубы малых скоростей, начиная со скоростей выше 0,4 м/сек.

Таблица 3

Скорость (м/сек.)	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
$3 S_r \left\{ \begin{array}{l} \text{м/се} \\ \text{\%} \end{array} \right.$	0,006 1,2	0,006 0,6	0,009 0,5	0,012 0,4	0,016 0,4	0,020 0,4

По результатам поверки анемометров в гидрологическом лотке и аэродинамической трубе ГГО для каждого анемометра была построена одна градуировочная кривая. При этом у одних анемометров наблюдалось полное совпадение результатов поверки на стыке (0,4 м/сек.), и график, полученный при поверке в трубе, являлся продолжением графика, полученного при поверке в гидрологическом лотке. У других же анемометров точки, полученные при поверке весовым микроанемометром при скоростях около 0,4 м/сек., отходили от совмещенной градуировочной кривой вправо, т. е. в сторону увеличения измеряемых скоростей. Это следует отнести за счет недостаточной чувствительности весового микроанемометра на этих скоростях.

Таким образом было получено семь совмещенных градуировочных кривых вентиляционных анемометров, которые послужили исходным материалом для определения скорости воздушного потока при градуировке трубы малых скоростей.

Градуировка трубы посредством анемометров была произведена два раза в течение июля — сентября 1959 г. При градуировке каждый анемометр устанавливался в центре трубы на расстоянии 0,6 м от входного отверстия. Аэродинамическая труба включалась в сеть через феррорезонансный стабилизатор напряжения.

Градуировка трубы при разных скоростях воздушного потока сводилась к определению показаний каждого из семи анемометров и счетчика числа оборотов винта трубы за один и тот же промежуток времени. Время выдержки анемометра на каждой скорости составляло около 100 сек. При этом счетный механизм анемометра заблаговременно включался на все время опыта. Счетчик числа оборотов винта включался и выключался одновременно с секундомером в моменты прохождения большой стрелки анемометра через ноль его шкалы.

Температура воздуха в процессе градуировки трубы менялась в пределах от 20 до 26,5°, а давление воздуха — от 760 до 773 мм рт. ст.

Эти изменения температуры и давления воздуха в дальнейшем не учитывались, поскольку известно, что такие малые величины не оказывают заметного влияния на показания вентиляционного анемометра

[6], [9] и на работу аэродинамической трубы в использованном нами режиме [3].

Полученные при градуировке данные были обработаны следующим образом.

По показаниям анемометров с градуировочных кривых, соответствующих их поверке в гидрологическом лотке и аэродинамической трубе, снимались значения скорости воздушного потока. Затем для каждого случая градуировки были построены графические зависимости между этими скоростями и соответствующими показаниями счетчика числа оборотов винта аэродинамической трубы. На основании этих графических зависимостей была получена средняя градуировочная кривая трубы малых скоростей, позволяющая определить скорость воздушного потока по числу оборотов ее винта (рис. 2).

Максимальная погрешность полученной градуировочной кривой  $3S$  оценена нами как сумма двух погрешностей: максимальной погрешности результатов поверки группы вентиляционных анемометров в гидрологическом лотке и в аэродинамической трубе ГГО  $3S_{лт}$ , величина которой приведена в табл. 2 и 3, и максимальной погрешности результатов поверки этих же анемометров в аэродинамической трубе малых скоростей  $3S_{тмс}$ .

Для определения максимальной погрешности результатов поверки анемометров в трубе малых скоростей был использован материал, полученный для построения ее градуировочной кривой. Она была вычислена как тройная средняя квадратичная погрешность результата поверки группы вентиляционных анемометров в трубе малых скоростей по формуле

$$3S_{тмс} = \frac{3\sigma}{\sqrt{(n-1)k}},$$

где:  $\sigma$  — средняя квадратичная погрешность единичной поверки,  $n$  — число повторностей,  $k$  — число приборов.

Максимальная погрешность градуировочной кривой трубы малых скоростей ( $3S = 3S_{лт} + 3S_{тмс}$ ) для различных скоростей воздушного потока приведена в табл. 4.

Из табл. 4 следует, что максимальная погрешность градуировочной кривой трубы малых скоростей определяется на малых скоростях главным образом погрешностью трубы малых скоростей. Начиная со скорости 2,0 м/сек. оба компонента максимальной погрешности градуировочной кривой ( $3S_{лт}$  и  $3S_{тмс}$ ) становятся одинаковыми.

Для представления о точности поверки вентиляционных анемометров в трубе малых скоростей в табл. 5 приведены результаты десятикратной поверки анемометра № 969, не участвовавшего в градуировке трубы.

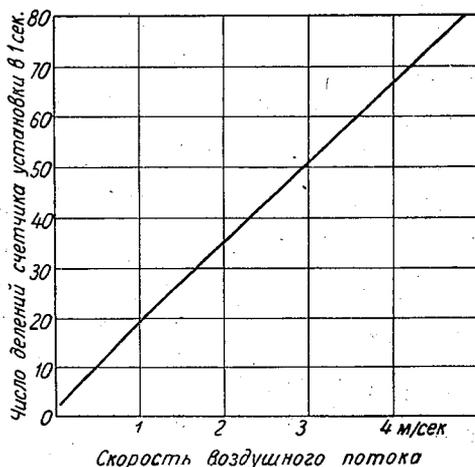


Рис. 2. Градуировочная кривая аэродинамической трубы малых скоростей.

Таблица 4

**Максимальная погрешность градуировочной кривой**

Скорость (м/сек.)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	4,3	
$3S_{\text{ЛТ}}$	м/сек.	0,002	0,002	0,002	0,002	0,006	0,006	0,009	0,012	0,016	0,017
	%	2,0	1,0	0,7	0,5	1,2	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4
$3S_{\text{ТМС}}$	м/сек.	0,009	0,006	0,006	0,007	0,012	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015
	%	9,0	3,0	2,0	1,8	2,4	1,4	0,7	0,5	0,4	0,4
$3S = 3S_{\text{ЛТ}} + 3S_{\text{ТМС}}$	м/сек.	0,011	0,008	0,008	0,009	0,018	0,020	0,023	0,026	0,030	0,032
	%	11,0	4,0	2,7	2,3	3,6	2,0	1,2	0,9	0,8	0,8

Из табл. 5 видно, что максимальное расхождение между результатами отдельных поверок и средними значениями на самых малых скоростях составляет 0,04 м/сек. и относительная погрешность поверки достаточно велика. По-видимому, это можно объяснить непостоянством показаний анемометра из-за трения, которое проявляется главным образом вблизи нижнего предела измеряемых анемометром скоростей. Кстати, для этих скоростей он и не предназначен.

Таблица 5

**Результаты десятикратной поверки АСО-3 № 969 в трубе малых скоростей (м/сек.)**

Показания анемометра за 1 сек.	Повторность										v м/сек.	Максимальное отклонение от $\bar{v}$	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		м/сек.	%
0,2	0,22	0,20	0,21	0,21	0,19	0,17	0,17	0,18	0,19	0,17	0,19	0,03	15,8
0,5	0,33	0,32	0,32	0,32	0,30	0,28	0,29	0,28	0,30	0,29	0,30	0,03	10,0
0,8	0,44	0,43	0,43	0,44	0,42	0,40	0,41	0,39	0,41	0,41	0,42	0,03	7,1
1,0	0,51	0,51	0,51	0,52	0,50	0,48	0,49	0,47	0,49	0,49	0,50	0,03	6,0
2,4	1,04	1,06	1,05	1,06	1,04	1,03	1,02	1,02	1,03	1,02	1,04	0,02	1,9
5,0	2,03	2,04	2,05	2,06	2,03	2,05	2,00	2,00	2,00	2,01	2,03	0,03	1,5
7,8	3,06	3,04	3,05	3,06	3,07	3,04	3,02	2,99	2,99	3,05	3,04	0,05	1,6
10,6	4,02	4,04	4,04	4,02	4,04	4,02	4,00	3,99			4,02	0,03	0,8
12,0	4,50	4,54	4,54	4,50	4,54	4,51	4,49	4,48			4,51	0,03	0,7

Попутно необходимо отметить, что, несмотря на полученную небольшую относительную погрешность поверки при скорости выше 4 м/сек. (0,7%), анемометры при этих скоростях поверять не следует из-за большой вибрации самой трубы и анемометра.

Для характеристики стабильности работы трубы во времени были сопоставлены результаты градуировки трубы, произведенной в 1959 г., с результатами, полученными в 1956 г. при ориентировочной градуировке трубы с помощью микроанометра типа Розенмюллера с наклонной трубкой ( $\alpha=3^\circ$ ) и пневмометрической трубки малой модели. Пневмометрическая трубка располагалась в центре рабочего поля трубы. Загрузки поля вентиляционным анемометром не было. Сравнение показало, что максимальное различие во всем диапазоне скоростей

(0,5—4,3 м/сек.) было не больше 0,02 м/сек. Следовательно, можно считать, что показания счетчика трубы постоянны во времени и загрузка поля трубы вентиляционным анемометром не оказывает заметного влияния на ее градуировку.

Для уверенности в правильности градуировки трубы на малых скоростях она была проверена по показаниям термоанемометра Государственного научно-исследовательского института охраны труда.

Термоанемометр, представляющий собой термистор небольшого габарита (приемная часть около 7мм) с температурной компенсацией, был предварительно тщательно тарирован на ротативной установке с учетом влияния спутного потока.

Показания термоанемометра, установленного в центре рабочего поля трубы, определялись одновременно с показаниями счетчика трубы, включаемого при каждой исследуемой скорости на 100 сек. Ниже приводятся скорости воздушного потока в м/сек., определенные по счетчику трубы и термоанемометру.

Аэродинамическая труба	0,11	0,09	0,18	0,23	0,28	0,31	0,47	0,47	0,81	0,81	1,05	1,04
Термоанемометр	0,11	0,12	0,17	0,21	0,28	0,29	0,46	0,45	0,82	0,80	1,08	1,04
Расхождение	0,00	0,03	0,01	0,02	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,00

Незначительное расхождение в скоростях воздушного потока, определенных по счетчику трубы малых скоростей и термоанемометру, свидетельствует о достаточно правильном воспроизведении малых скоростей в аэродинамической трубе.

Следует отметить, что при помощи термоанемометра был определен нижний предел создаваемых в трубе скоростей воздушного потока. Труба надежно работала при скорости 0,05 м/сек.

В заключение приводим результаты исследования рабочего поля аэродинамической трубы.

Исследование поля трубы малых скоростей производилось при помощи вентиляционного анемометра АСО-3. Анемометр устанавливался сначала в центр поля трубы на расстоянии 65 см от входного отверстия, затем перемещался последовательно по горизонтальному диаметру вправо и влево от центра на расстояние 10 см. Исследуемое пространство составляло 16% от сечения трубы. Кроме того, анемометр перемещался вдоль оси трубы на то же расстояние от центра. Исследование производилось при скоростях воздушного потока 0,4, 0,8, 2,4 м/сек.

Результаты исследования приведены в табл. 6 в виде коэффициентов  $k = \frac{n}{N} : \frac{n_{ц}}{N_{ц}}$ , где  $n$  — показания анемометра в различных точках поля,  $N$  — одновременные с  $n$  показания счетчика трубы,  $n_{ц}$  — показания анемометра в центре поля,  $N_{ц}$  — показания счетчика трубы, одновременные с  $n_{ц}$ .

Из приведенных в табл. 6 данных видно, что скорость воздушного потока при заметных отклонениях от оси трубы по горизонтальному диаметру при скорости 0,4 м/сек. уменьшается по сравнению со скоростью в центральной части. При скоростях 0,8 и 2,4 м/сек. скоростное поле трубы оказывается однородным для сечения, составляющего 16% от всего сечения. Вдоль оси трубы заметных нарушений в распределении скорости нет при всех исследованных скоростях.

При исследовании поля трубы было также установлено, что загрузка

поля еще одним анемометром, помещенным на оси трубы на расстоянии 50 см от первого, не оказывает заметного влияния на показания поверяемого анемометра.

Таблица 6

Результаты исследования поля трубы

Положение анемометра	Скорость потока м/сек.		
	0,4	0,8	2,4
По горизонтальному диаметру			
10 см вправо . . . . .	0,95	1,00	0,99
Центр . . . . .	1,00	1,00	1,00
10 см влево . . . . .	0,94	0,99	0,99
Вдоль оси трубы . . . . .			
10 см перед центром . . . . .			0,98
Центр . . . . .	1,00	1,00	1,00
10 см за центром . . . . .	0,99		0,99

**Выводы**

1. В результате работ по изысканию метода поверки приборов для измерения малых скоростей воздушного потока была разработана, изготовлена и отградуирована аэродинамическая труба малых скоростей.

2. Труба позволяет получить скорости воздушного потока в пределах от 0,05 до 4,0 м/сек.

3. Использование воздушного винта для измерения скорости воздушного потока по числу его оборотов оказалось вполне приемлемым при поверке анемометров в аэродинамической трубе с полным обдуванием поверяемого прибора.

4. Поверку вентиляционных анемометров нецелесообразно производить вблизи порога чувствительности анемометров ввиду большой относительной погрешности поверки из-за трения в приборах. При скоростях, больших 4 м/сек., анемометры не рекомендуется поверять из-за возможного влияния на их показания вибрации трубы.

Надежную поверку АСО-3 можно получить начиная со скорости 0,2 м/сек. Для других анемометров поверка может быть осуществлена при меньших скоростях.

5. Погрешность поверки вентиляционных анемометров в трубе малых скоростей, начиная со скорости 1 м/сек., не больше, чем в аэродинамической трубе ГГО; при скоростях ниже 1 м/сек. она меньше.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Анемометр ручной крыльчатый АСО-3, ГОСТ 6376—52, тип. Б.
2. Васильев К. Н. Исследование термоэлектрического анемометра. Труды ВНИИМ, вып. 20(36), Л., 1939.
3. Дьяченко П. В. Установка для поверки ручных анемометров. Труды ГГО, вып. 61(123), 1956.
4. Дьяченко П. В. и Каменева А. И. Результаты исследования аэродинамической трубы ГГО. Труды ГГО, вып. 101, 1959.
5. Руководство по поверке метеорологических приборов. Гидрометеоздат, Л., 1956.
6. Оуэр Э. Измерения воздушных потоков. ОНТИ НКПТП СССР, 1935. (Пер. с англ.).
7. Современное состояние гидроаэродинамики вязкой жидкости, т. 1. ИЛ, М., 1948. (Пер. с англ.).
8. Агапитов М. А. Гидростатистические весы для измерения малых разностей давления. Труды НИУ ГУГМС, сер. III, ЦКБ, 1946.
9. Покровский В. Н. Зависимость показаний крыльчатых анемометров от плотности воздуха. Труды ЦАО, вып. 12, 1953.

## УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВЕРКИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ АНЕМОМЕТРОВ АСО-3

В статье дается описание и краткая характеристика установки для поверки струнно-осевых анемометров (АСО-3) ГОСТ 6376—52, тип. Б, разработанной для поверочных органов Гидрометслужбы.

Струнно-осевой вентиляционный анемометр АСО-3 ГОСТ 6376—52, тип Б, сконструированный и изготавливаемый Московским заводом гидрометприборов, служит для измерения скорости направленного воздушного потока в пределах от 0,3 до 5 м/сек. Погрешность измерения средней скорости воздушного потока этим анемометром составляет, согласно описанию, прилагаемому к нему,  $\pm(0,06V + 0,1)$  м/сек., где  $V$  — средняя скорость потока в м/сек.

Ввиду хороших эксплуатационных качеств этих приборов с каждым годом все более возрастает спрос на них и увеличивается их выпуск на заводе. Однако метод поверки указанных приборов, осуществляемой перед их выпуском на заводе-изготовителе, весьма трудоемок, неудобен и недостаточно точен. Поверка АСО-3 на заводе производится в двух аэродинамических трубах. При скоростях до 1 м/сек. приборы поверяются в трубе с переменным поперечным сечением, позволяющей наблюдаемую разность давлений увеличить изменением поперечного сечения трубы и измерить манометрическим методом; при скоростях свыше 1 м/сек. приборы поверяются в обычной аэродинамической трубе, где скорости измеряются с помощью пневмометрических трубок и микроанометров. При этом не всегда обеспечивается плавный стык градуировочных кривых анемометров, полученных в этих двух трубах. Различие в скоростях на стыке может достигать 20% от величины измеряемой скорости.

Поверка этих анемометров в поверочных органах ГУГМС и других ведомств не производится из-за отсутствия оборудования, пригодного для этой цели.

В связи с изложенным и была поставлена задача создания специальной установки для поверки АСО-3 аналогично тому, как это было сделано для ручных анемометров ГОСТ 6376—52, тип. А [1].

Установка для поверки вентиляционных анемометров АСО-3 (УПАР-02) представляет собой небольшую открытую с двух сторон металлическую трубу 1 длиной 140 мм с постоянным поперечным сечением (рис. 1). Диаметр этого сечения (100 мм) равен диаметру кольцевой защиты (диффузора) стандартного вентиляционного анемометра. Внутри трубы, вблизи ее выходного конца располагается восьмилопастный вентилятор 2, насаженный на ось маломощного коллекторного электромотора 3 типа ЭД-1. На втором конце оси электромотора имеется счетчик 4 числа оборотов вентилятора (мотора). Поверяемый ане-

мометр помещается в установку вблизи входного отверстия трубы. Крепление анемометра обеспечивает единообразную ориентировку приемной части анемометра по отношению к воздушному потоку. Счетный механизм анемометра располагается против окошка 5 внутри трубы, а его кольцевая защита с приемной частью (крыльчаткой) — вне трубы, непосредственно примыкая к ее входному отверстию. При этом выступающие части на кольцевой защите анемометра должны войти в соответствующие им прорезы на краях трубы, а сама защита должна быть зажата посредством четырех зажимных пружинящих пластинок. Вся установка монтируется на металлической площадке 6.

Установка работает от сети переменного тока напряжением 127 или 220 в и позволяет создавать в ней различные скорости воздушного потока в пределах от 0,2 до 4,5 м/сек. Регулирование величины воздушного потока до необходимой скорости обеспечивается изменением числа оборотов вентилятора, приводимого во вращение электродвигателем. Для этого питание мотора от сети переменного тока осуществляется через

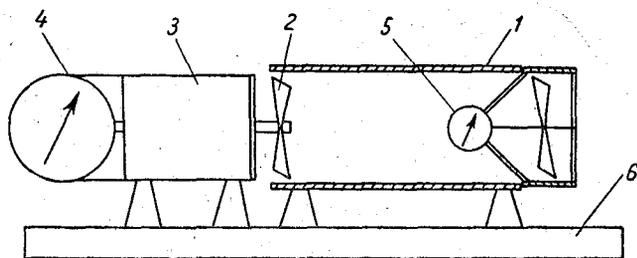


Рис. 1. Схематический разрез установки для проверки вентиляционных анемометров АСО-3.

автотрансформатор лабораторного типа. При вращении вентилятор засасывает воздух из помещения со стороны входного отверстия трубы, протягивает его через лопасти крыльчатки анемометра мимо его счетчика и выбрасывает с другого конца трубы снова в помещение. Кроме создания и поддержания скорости воздушного потока в установке, вентилятор одновременно служит и для измерения созданной скорости по числу его оборотов, определяемых при помощи счетчика 4. Этот счетчик требует разовой градуировки, позволяющей показания счетчика выразить в единицах скорости воздушного потока (в м/сек.).

При значительных колебаниях напряжения сети автотрансформатор, регулирующий напряжение на моторе, включается через феррорезонансный стабилизатор напряжения соответствующей мощности (не менее 250 вт). Колебания напряжения сети заметно влияют на работу установки лишь при малых скоростях воздушного потока. В этом случае при значительных колебаниях напряжения сети возможна остановка электродвигателя.

При отсутствии стабилизатора для облегчения работы установки при малых скоростях полезно включать ее в сеть через обычную осветительную лампу. При этом регулировка напряжения, подаваемого на мотор, становится более плавной, а колебания напряжения сети уменьшаются примерно в 2 раза за счет барретирующего эффекта в лампе. Мощность лампы должна быть такой, чтобы нить ее имела слабое каление.

К эксплуатационным особенностям установки следует отнести простоту конструкции, малогабаритность и незначительное потребление электроэнергии.

Градуировка счетчика числа оборотов вентилятора УПАР-02 производилась аналогично градуировке УПАР-01 [1] при помощи предварительно отградуированных шести стандартных вентиляционных анемометров АСО-3. Градуировочные кривые этих анемометров получены в результате их тщательной многократной поверки. При малых скоростях воздушного потока, до 0,4 м/сек., анемометры проверялись в прямолинейном гидрологическом лотке ГГИ; при скоростях выше 0,4 м/сек. — в аэродинамической трубе ГГО.

Полученные в аэродинамической трубе градуировочные кривые анемометров при скоростях от 0,4 м/сек. и выше были совмещены для каждого анемометра с градуировочными кривыми, полученными при поверке их в гидрологическом лотке при скоростях до 0,4 м/сек. Эти градуировочные кривые послужили исходным материалом для определения скорости воздушного потока при градуировке счетчика числа оборотов вентилятора в установке УПАР-02 с помощью анемометров.

Подробные сведения об этих анемометрах и их поверке в гидрологическом лотке ГГИ и аэродинамической трубе ГГО изложены в статье «Аэродинамическая труба малых скоростей», помещенной в настоящем сборнике [2].

Градуировка установки сводилась к определению за один и тот же промежуток времени показаний счетчика числа оборотов вентилятора и каждого из шести вентиляционных анемометров, поверяемых в установке по очереди при различных скоростях воздушного потока. При этом включение и выключение счетчика установки, а также секундомера производилось одновременно с моментами начала и конца счета полного числа оборотов большой стрелки анемометра, которая не выключалась в течение всего цикла поверки. На каждой скорости число оборотов стрелки анемометра выбиралось с тем расчетом, чтобы время экспозиции анемометра составляло не менее 100 сек.

Градуировка производилась при двукратной повторности в течение двух месяцев. При работе установки использовался феррорезонансный стабилизатор напряжения сети. Небольшие изменения температуры в пределах от 20 до 22° и атмосферного давления от 769 до 777 мм рт. ст. из-за малого их влияния на работу анемометра и установки не учитывались [1], [2].

По данным отдельных поверок были получены показания вентиляционных анемометров и счетчика числа оборотов вентилятора в 1 сек. По показаниям вентиляционных анемометров в 1 сек. с соответствующих градуировочных кривых, полученных в результате поверки анемометров в гидрологическом лотке ГГИ и аэродинамической трубе ГГО, сняты скорости воздушного потока. Далее построены графические зависимости между этими скоростями и одновременно наблюдаемыми показаниями счетчика числа оборотов вентилятора в 1 сек. При помощи этих графических зависимостей были получены данные для построения градуировочной кривой установки: для одного и того же показания счетчика в 1 сек. снята с каждого из 12 графиков соответствующая скорость воздушного потока и вычислена средняя скорость.

Градуировочная кривая установки, построенная по этим данным, приведена на рис. 2. По оси абсцисс отложена средняя скорость воздушного потока, по оси ординат — показания счетчика числа оборотов вентилятора установки.

Погрешность градуировочной кривой установки складывается из погрешности поверки вентиляционных анемометров в гидрологическом лотке и аэродинамической трубе и погрешности поверки их в установке УПАР-02.

С данными определения расчетных и экспериментальных величин погрешностей поверки анемометров в гидрологическом лотке до 0,4 м/сек. и в аэродинамической трубе ГГО выше 0,4 м/сек. можно ознакомиться в вышеупомянутой статье [2] настоящего сборника, откуда взяты приведенные ниже, в табл. 1, величины максимальных погрешностей ( $3S_{лт}$ ) результата указанной поверки.

Для суждения о максимальной погрешности поверки вентиляционных анемометров в установке УПАР-02 был использован материал, полученный для построения градуировочной кривой установки. Эта максимальная погрешность принималась равной тройной средней квадратичной

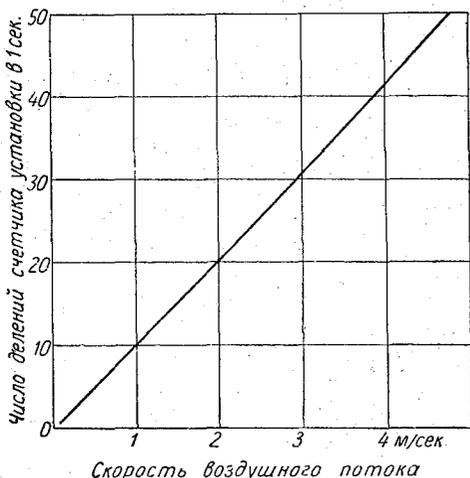


Рис. 2. Градуировочная кривая установки для поверки вентиляционных анемометров АСО-3.

погрешности результатов поверки группы вентиляционных анемометров в установке  $3S_y$  и вычислялась по формуле

$$3S_y = \frac{3\sigma}{\sqrt{(n-1)k}},$$

где  $\sigma$  — средняя квадратичная ошибка отдельной (единичной) поверки,  $n$  — число повторностей,  $k$  — число приборов.

Максимальная абсолютная и относительная погрешность градуировочной кривой установки ( $3S = 3S_y + 3S_{лт}$ ), вычисленная указанным образом для разных скоростей воздушного потока, приведена в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что суммарная максимальная погрешность градуировочной кривой установки при скоростях до

0,4 м/сек. не превосходит 0,01 м/сек., а при скоростях, близких к пределу работы установки и анемометра, — 0,05 м/сек., несмотря на то, что градуировка установки была произведена только по 6 вентиляционным анемометрам и с двухкратной повторностью.

Необходимо заметить, что точность градуировочной кривой установки может быть повышена увеличением числа анемометров и числа измерений по каждому из них.

Для представления о точности поверки анемометров в установке, т. е. степени достоверности результата единичной поверки, которой ограничиваются при выпуске приборов на практике, была произведена десятикратная поверка вентиляционного анемометра № 969, не использованного при градуировке установки.

Точность единичной поверки в установке оценена нами суммой двух погрешностей: тройной средней квадратичной погрешностью показаний анемометра в установке и максимальной погрешностью градуировочной кривой установки, приведенной в табл. 1.

Тройная средняя квадратичная погрешность показаний анемометра, поверенного в установке, определялась по обычной формуле

$$3\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum \rho^2}{n-1}},$$

где  $\rho$  — остаточные погрешности,  $n$  — число повторностей.

В табл. 2 приведены полученные в результате статистической обработки величины максимальной погрешности единичной поверки вентиляционного анемометра № 969. Эти величины позволяют прийти к выводу, что установка вполне пригодна для поверки стандартных анемометров ГОСТ 6376—52, тип Б, так как допустимая величина на разброс показаний анемометра по стандарту составляет  $\pm 0,05$  м/сек. при скоростях до 1 м/сек. и  $\pm 0,1$  м/сек. при скоростях свыше 1 м/сек. Как видно, данные табл. 2 этот допуск не превосходят.

Таблица 1

Максимальная погрешность градуировочной кривой

Скорость (м/сек.)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1,0	2,1	3,1	4,1	4,3	
$3 S_{\text{лт}}$ {	м/сек.	0,002	0,002	0,002	0,002	0,006	0,006	0,010	0,012	0,016	0,017
	%	2,0	1,0	0,7	0,5	1,2	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4
$3 S_{\text{у}}$ {	м/сек.	0,005	0,004	0,004	0,007	0,007	0,007	0,016	0,021	0,032	0,035
	%	5,0	2,0	1,3	1,8	1,4	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8
$3 S = 3 S_{\text{лт}} + 3 S_{\text{у}}$ {	м/сек.	0,007	0,006	0,006	0,009	0,013	0,013	0,026	0,033	0,048	0,052
	%	7,0	3,0	2,0	2,3	2,6	1,3	1,3	1,1	1,2	1,2

Исследование влияния различных внешних факторов (непостоянства напряжения, давления и температуры) на работу описываемой установки, как это было сделано в свое время для УПАР-01 [1], нами не производилось, так как механизм действия этих факторов в обеих установках одинаков.

Таблица 2

Максимальная погрешность единичной поверки анемометра

Скорость (м/сек.)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1,0	2,1	3,1	4,1	4,3	
$3 \sigma_{\text{у}}$ {	м/сек.	0,025	0,023	0,027	0,028	0,020	0,022	0,031	0,031	0,049	0,052
	%	25,0	11,5	9,0	7,0	4,0	2,2	1,5	1,0	1,2	1,2
$3 S$ {	м/сек.	0,007	0,006	0,006	0,009	0,013	0,013	0,026	0,033	0,048	0,052
	%	7,0	3,0	2,0	2,2	2,6	1,3	1,3	1,1	1,2	1,2
$3 \sigma = 3 \sigma_{\text{у}} + 3 S$ {	м/сек.	0,032	0,029	0,033	0,037	0,033	0,035	0,057	0,064	0,097	0,104
	%	32,0	14,5	11,0	9,2	6,6	3,5	2,8	2,1	2,4	2,4

Результаты градуировки установки ввиду пренебрежимо малого влияния внешних факторов на ее работу можно считать действительными без каких-либо поправок при температуре  $20 \pm 5^\circ$  и при размещении установок до высоты 0,5 км над уровнем моря.

### Выводы

1. Разработана, изготовлена и отградуирована установка для поверки вентиляционных анемометров АСО-3 (анемометры струнно-осевые) при скоростях от 0,3 до 4 м/сек.

2. Использование воздушного винта (вентилятора) для измерения скорости по числу его оборотов оказалось вполне приемлемым при поверке АСО-3 в новой установке.

3. Новая установка при условии градуирования ее счетчика по показаниям образцовых анемометров, однотипных с поверяемыми, по точности и простоте градуировочных операций превосходит существующее оборудование.

4. В отношении стоимости изготовления и транспортировки, габаритов и потребляемой электроэнергии новая установка экономичнее существующего оборудования в десятки раз.

5. Установка при условии ее надлежащего градуирования может быть рекомендована для централизованного оснащения поверочных органов Гидрометслужбы и других ведомств, использующих струнно-осевые вентиляционные анемометры АСО-3.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Дьяченко П. В. Установка для проверки ручных анемометров. Труды ГГО, вып. 61(123), 1956.
2. Дьяченко П. В. и Каменева А. И. Аэродинамическая труба малых скоростей. (См. наст. сборник.)

П. В. ДЬЯЧЕНКО и В. А. ПАРНИЩЕВ

## УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВЕРКИ ТЕРМОГРАФОВ

В статье описана установка для поверки биметаллических термографов в жидкостной среде, предназначенная для поверочных органов Гидрометслужбы СССР. Сообщаются основные параметры и эксплуатационные особенности установки.

Биметаллические термографы (ГОСТ 6416—52), как известно, служат для записи изменения температуры во времени в пределах от  $-35$  до  $+45^{\circ}$ .

Методика поверки термографов и применяемое поверочное оборудование описаны в Руководстве по поверке метеорологических приборов [1]. Поверка термографов производится, как правило, в жидкостной среде и реже в воздушной. Поверка в воздушной среде не нашла широкого применения из-за отсутствия производительного оборудования, которое могло бы обеспечить необходимую точность поверки.

Рекомендованная Руководством установка для поверки термографов в жидкостной среде имеет ряд недостатков.

Поверка термографов при положительных температурах (около  $+40^{\circ}$ ) производится в воде, а при отрицательных температурах (около  $-30^{\circ}$ ) и вблизи  $0^{\circ}$  — в спирте, который охлаждается твердой углекислотой, помещаемой непосредственно в спирт. В результате спирт обводняется и загрязняется, что ведет к его большому расходу. Поддержание нужной температуры — трудоемкий и утомительный процесс, так как следя за изменением температуры по образцовому термометру, необходимо добавлять в рабочую жидкость малыми дозами углекислоту или горячую воду. Попадание в ванну горячей воды или кусков углекислоты существенно нарушает равномерность ее температурного поля. Поэтому необходимо достаточно эффективное перемешивание жидкости. Для этой цели применяют механическое перемешивание с использованием электромотора с передачей и мешалкой.

Отсутствие типовой конструкции вынуждало поверочные органы Гидрометслужбы изготавливать ванны для поверки термографов по схеме, приведенной в Руководстве [1]. Конструкции ванн, изготавливаемых на местах, неоднотипны и в ряде случаев не обеспечивают правильности поверки термографов.

Изложенные соображения и широкое распространение термографов побудили авторов к разработке новой специальной установки для поверки термографов.

При разработке термованн обращалось особое внимание на то, чтобы они удовлетворяли следующим основным требованиям.

1. Установка должна обеспечивать создание и поддержание температуры жидкости в ваннах около  $-30$ ,  $0$  и  $+40^{\circ}$ .

2. Максимальная разность температур жидкости в любых точках рабочего объема ванны должна быть мала по сравнению с погрешностями показаний поверяемого термографа.

3. Приемы создания и поддержания необходимой температуры в термованне должны быть простыми при возможно меньшей их трудоемкости.

4. Разрабатываемое оборудование должно обеспечить поверку как выпускаемых в настоящее время термографов (с пластмассовым корпусом), так и снятых с производства (с металлическим корпусом), но применяемых при наблюдениях.

5. Установка должна быть простой в изготовлении и надежной в эксплуатации.

В соответствии с указанными выше требованиями в Центральной лаборатории поверки метеорологических приборов (ЦЛП ГГО) был разработан, изготовлен и испытан действующий макет новой термованны для поверки термографов. Разработке поверочной установки в том виде, как она описана в настоящей статье, предшествовали поиски решений конструкций ее отдельных узлов и главным образом узла перемешивания. Вопросу о перемешивании рабочей жидкости в ванне уделялось особое внимание потому, что от его решения зависят в значительной степени равномерность температурного поля ванны и ее эксплуатационные качества.

В основу была положена идея создания с помощью греющих или охлаждающих элементов такой естественной циркуляции рабочей жидкости в ванне, при которой обеспечивалось бы наиболее равномерное температурное поле в рабочем объеме ванны при необходимом ее нагревании или охлаждении. Если для работы при положительных температурах этого удалось добиться подбором мощностей и ориентированным расположением двух греющих элементов с использованием особой формы ванны, то для работы при отрицательных температурах потребовалось добавочное перемешивание жидкости. Надобность в нем вызвана повышением вязкости спирта с понижением температуры.

Для создания добавочного перемешивания жидкости были испытаны вибрационный, механический и новый способы перемешивания жидкости; последний мы назвали пневматическим.

Вибрационный и механический способы оказались довольно сложными и имеющими ряд недостатков, существенно усложняющих изготовление ванны и ее эксплуатацию.

Пневматический способ оказался наиболее простым и удобным для осуществления добавочного перемешивания, усиливающего естественную циркуляцию рабочей жидкости в ванне при отрицательных температурах. Одно из основных преимуществ этого способа в разработанном нами варианте заключается в том, что перемешивание осуществляется парами отработанной углекислоты без дополнительной затраты энергии на это и без движущихся механических деталей, которые изнашиваются в процессе эксплуатации.

Принципиальная схема термованны с поверяемым термографом изображена на рис. 1. Для поверки при положительных температурах (рис. 1а) в качестве рабочей жидкости применяется вода. Подогрев воды и поддержание заданной температуры производится двумя электрическими грелками, основной  $R_1$  и вспомогательной  $R_2$ . Расположение и мощность этих грелок подобраны таким образом, чтобы они обеспечивали естественную циркуляцию воды в ванне. Эта циркуляция обеспечивает равномерное температурное поле рабочей жидкости в той части ванны, где находится биметаллический приемник температуры  $I$  поверяемого термографа и резервуар образцового термометра. Поддержание

заданной температуры производится изменением напряжения, подаваемого на грелку.

Для проверки при отрицательных температурах и вблизи  $0^{\circ}$  в качестве рабочей жидкости используется спирт. Охлаждение производится твердой углекислотой. Углекислота помещается не в спирт, как это делалось до сих пор, а в специальную углекислотную камеру 2 (рис. 1 б), расположенную в верхней части ванны. Через металлическое дно 3 углекислота имеет тепловой контакт со спиртом. Охлаждение жидкости сверху позволяет получить естественную ее циркуляцию. Но при низких температурах вследствие увеличения вязкости спирта такого естественного перемешивания недостаточно для получения равномерного температурного поля в рабочем объеме ванны. В этом случае осуществляется пневматическое перемешивание рабочей жидкости, для чего используются пары отработанной углекислоты. При герметизации углекислотной ка-

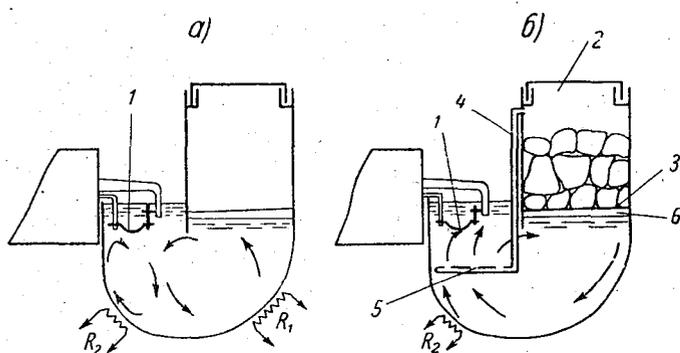


Рис. 1. Принципиальная схема термованны.

а — при положительных температурах, б — вблизи  $0^{\circ}$  и при отрицательных температурах.

меры в ней повышается давление паров углекислоты. Углекислотная камера через трубку 4 с отверстиями 5 сообщается с нижней частью рабочего объема ванны. Давление в камере повышается до тех пор, пока оно не окажется достаточным для барботирования паров углекислоты через спирт. Пары углекислоты после выхода из отверстий трубки поднимаются вверх в виде пузырьков и увлекают за собой частицы жидкости.

Направления движения пузырьков и естественной циркуляции жидкости в ванне совпадают, в результате чего перемешивание усиливается и в месте расположения образцового термометра и биметалла термографа, т. е. в рабочем объеме ванны, обеспечивается равномерное температурное поле.

Для регулирования и поддержания температуры используется принцип изменения теплового контакта между углекислотой и рабочей жидкостью при помощи воздушной подушки 6. Для окончательной стабилизации выбранной температуры используется вспомогательная грелка  $R_2$ . Расположение этой грелки таково, что, кроме подогрева рабочей жидкости, она способствует усилению ее перемешивания.

На рис. 2 показан схематический разрез термованны для проверки термографов.

Корпус 1 ванны окружен термоизоляцией 2. Форма корпуса ванны выбрана с учетом облегчения циркуляции рабочей жидкости. В верхней части ванны расположена камера 3 для твердой углекислоты. Камера имеет наклонное дно 4. Наклон дна позволяет при необходимости полностью

ликвидировать воздушную подушку. Перегородка 5 вместе с наклонным дном камеры и боковыми стенками ванны образует объем 6 для создания воздушной подушки между дном камеры и поверхностью рабочей жидкости. Верхний срез камеры выполнен в виде желоба 7. Крышка 8 своими краинами входит в желоб, в который наливается вода. После заполнения камеры углекислотой и закрывания крышки вода в желобе замерзает и герметизирует углекислотную камеру. Описанный выше узел герметизации углекислотной камеры в дальнейшем для краткости будем называть ледяным затвором. Патрубок 9 с резьбовой пробкой служит для свободного выхода паров углекислоты во время замерзания воды в желобе.

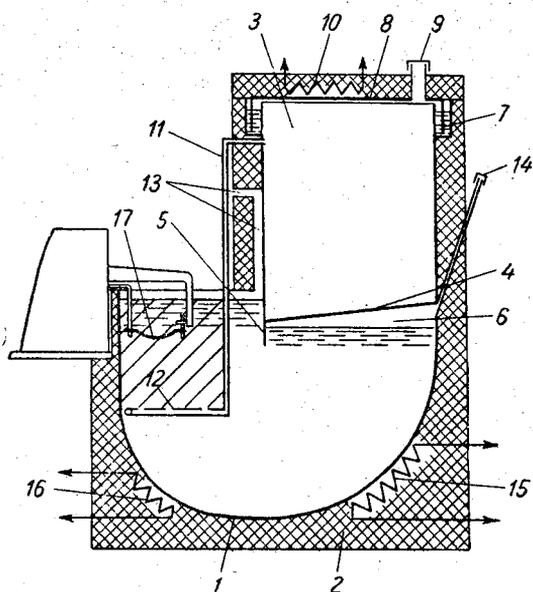


Рис. 2. Схематический разрез термованны для проверки термографов.

Резьбовая пробка служит также для регулирования интенсивности перемешивания рабочей жидкости путем выпуска части паров углекислоты непосредственно в атмосферу. Электрическая грелка 10, смонтированная на крышке, используется для открывания ледяного затвора путем кратковременного нагревания крышки, в результате чего лед в желобе тает и освобождает краины крышки. Через трубку 11 с отверстиями 12 пары углекислоты поступают в спирт. В передней термоизоляционной стенке предусмотрена щель 13, в которую поступает наружный воздух. Охлаждаясь у стенки углекислотной камеры и непрерывно стекая вниз, воздух застывает над открытой поверхностью спирта и уменьшает тем самым приток в ванну тепла сна-

ружи в верхней части ее рабочего объема. Это улучшает температурный режим ванны. Отводная трубка 14 с резьбовой пробкой служит для создания и ликвидации воздушной подушки.

Часть пузырьков барбатирующих паров углекислоты увлекается струями жидкости под дно углекислотной камеры и непрерывно воссоздает при закрытой отводной трубке воздушную подушку. При открытой отводной трубке воздушная подушка не образуется, так как пары углекислоты, попадающие под дно камеры, благодаря наклонному дну вытесняются вверх рабочей жидкостью и уходят через трубку наружу.

Основная грелка 15 (сопротивление  $R_1$  на рис. 1 а и 3) потребляет ток мощностью до 320 вт. Вспомогательная грелка 16 (сопротивление  $R_2$ ) потребляет до 65 вт.

Электрическая схема термованны показана на рис. 3.

Основная грелка  $R_1$  имеет мощность примерно в 5 раз больше мощности вспомогательной грелки  $R_2$ . Такое соотношение мощностей греющих элементов и их расположение позволяет получить вполне определенную циркуляцию рабочей жидкости в ванне (рис. 1 а) для работы при положительных температурах. С помощью автотрансформатора ЛАТР-2 подаваемое на грелки напряжение может регулироваться, но при этом сохраняется соотношение мощностей грелок. Грелки  $R_1$  и  $R_2$  могут быть

использованы одновременно или каждая в отдельности, для чего имеются тумблеры  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_3$ . Напряжение, подаваемое на короткое время на грелку крышки, не регулируется, так как в этом нет необходимости.

Для работы термованны используется напряжение переменного тока 127 или 220 в.

Поверяемый термограф устанавливается таким образом, чтобы его биметаллический приемник температуры 17 был погружен в жидкость в той части ванны (на рис. 2 заштрихована), где имеется наиболее равномерное температурное поле (рабочий объем). В непосредственной близости к приемнику термографа помещается резервуар образцового термометра. Для этого термограф со снятой защитой ставится на приставную полку, которая для пластмассовой модели устанавливается горизонтально, как показано на рис. 2, а для старой модели — сбоку ванны

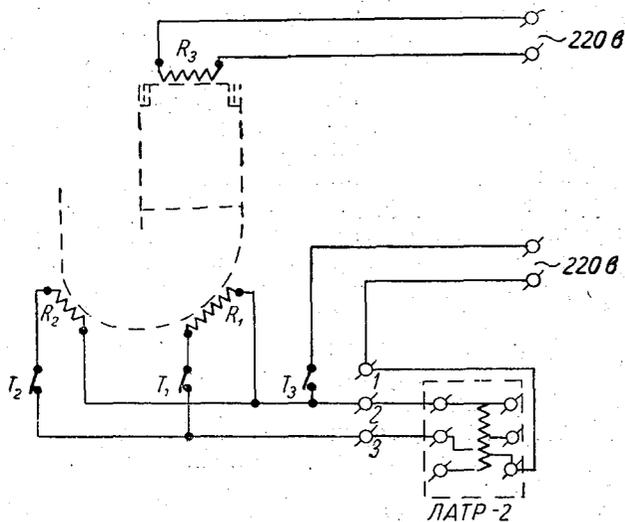


Рис. 3. Электрическая схема термованны.

и с наклоном в  $38^\circ$ . При этом биметалл каждого термографа оказывается размещенным в одном и том же месте рабочего объема термованны.

Для поверки термографов, согласно принятой методике, необходим комплект из 3 термованн. Одна термованна работает при температуре рабочей жидкости около  $+40^\circ$ , вторая  $0^\circ$  и третья  $-30^\circ$ . В комплект установки входят 3 термованны. Предусматривается одинаковая конструкция всех трех ванн, входящих в комплект оборудования для поверки термографов. Это преследует цель унифицировать производство оборудования и обеспечить взаимозаменяемость ванн при их эксплуатации.

В описываемой термованне твердая углекислота используется не только для охлаждения жидкости, как это имеет место в применяемых установках, но и для пневматического перемешивания рабочей жидкости в ванне, для создания стока охлажденного воздуха над открытой поверхностью ванны, а также для герметизации углекислотной камеры, без чего невозможно осуществление пневматического перемешивания.

Охлаждение спирта без непосредственного контакта углекислоты с ним позволяет избежать обводнения и загрязнения спирта, что способствует его более экономичному использованию.

Простота и надежность конструкции обеспечивается отсутствием каких-либо движущихся частей (моторов, осей, мешалок).

При испытании действующего макета термованны были получены

все необходимые для поверки термографов температуры. Конструкция термованны позволяет получать любые промежуточные температуры. Пределы температур оказались значительно шире требуемых для поверки термографов.

На температурный режим термованны влияет температура окружающей среды, качество изоляции, температура заливаемой рабочей жидкости. От этого зависит время достижения нужной температуры и ее постоянство во времени. Наибольшее влияние оказывает температура окружающей среды (воздуха).

После достижения нужной температуры рабочей жидкости с помощью регулирующих устройств (электрогрелки и воздушной подушки) устанавливается оптимальный режим работы термованны, при котором добиваются установившегося или равновесного температурного состояния установки. При этом состоянии термованны температура рабочей жидкости, так же как и отдельных частей установки, не меняется со временем или изменяется достаточно медленно. Это позволяет производить поверку, не отвлекаясь на регулировку температуры. Учитывая, что, согласно принятой методике, температура рабочей жидкости должна поддерживаться в пределах  $\pm 2^\circ$ , в описываемой термованне можно осуществить поверку достаточно большого количества приборов без дополнительной регулировки температуры.

Измерения разностей температур в рабочем объеме ванны производились термопарами (медь—константан). При положительных температурах (около  $+40^\circ$ ) эти разности не превышают  $0,2^\circ$ . При отрицательных температурах (около  $-30^\circ$ ) они составляют  $0,1^\circ$ . Погрешность показаний исправного термографа, как известно, может достигать одного градуса.

Опыт эксплуатации действующего макета термованны позволяет рекомендовать ряд приемов, облегчающих работу с установкой. Например, для более быстрой подготовки к работе при отрицательных температурах спирт можно охлаждать заранее и заливать его в ванну охлажденным до температуры немного ниже требуемой для поверки, а также использовать термоизоляционную крышку для закрывания открытой поверхности жидкости.

Для получения предельно низких температур в углекислотную камеру перед загрузкой углекислоты следует залить небольшое количество спирта. Это значительно улучшает тепловой контакт углекислоты с дном камеры.

Дальнейший опыт эксплуатации серии установок в условиях Бюро поверки УГМС позволит уточнить и дополнить особенности их эксплуатации.

### Выводы

1. Разработана и изготовлена термованна для поверки термографов в жидкостной среде, которая отличается от существующих термованн способом охлаждения и перемешивания рабочей жидкости.

2. Равномерность температурного поля термованны, пределы создаваемых в ней температур и их устойчивость во времени вполне удовлетворяют требованиям методики поверки термографов.

3. По сравнению с термованными старых образцов в новой установке полнее используется углекислота, рабочая жидкость не подвергается обводнению и загрязнению, перемешивание обеспечивается без подвижных частей установки.

4. Установка может быть рекомендована для использования в поверочных органах Гидрометслужбы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по поверке метеорологических приборов. Гидрометиздат, Л., 1956.

## ТЕРМОСТАТ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ЧАСОВЫХ МЕХАНИЗМОВ САМОПИСЦЕВ

В статье описан термостат для испытаний часовых механизмов метеорологических самопишущих приборов при отрицательных температурах. Сообщаются его основные характеристики.

Часовые механизмы метеорологических самописцев, работающих в естественных условиях при отрицательных температурах, должны быть испытаны при температуре  $-35^{\circ}$ , а в отдельных случаях и при более низких температурах. Цель исследования — удостовериться, что часовые механизмы при отрицательных температурах не останавливаются. Методика испытания изложена в Руководстве по поверке метеорологических приборов [1].

До настоящего времени поверочные органы Гидрометслужбы не имеют соответствующего оборудования для подобных испытаний.

Описанный в книге А. И. Новикова [2] упрощенный термостат для поверки часовых механизмов при отрицательных температурах не нашел практического применения вследствие своей сложности, малой производительности (один прибор испытывается в течение 3—4 час.), неэкономичности (для работы требуется большое количество спирта) и трудоемкости поверки.

Стандартной установки для испытания часовых механизмов поверочные органы Гидрометслужбы не имеют. В Центральной лаборатории поверки ГГО разработан и изготовлен термостат для испытаний часовых механизмов самописцев при отрицательных температурах.

Существенным условием работы нового термостата является то, что охлаждающая поверхность расположена над рабочим объемом и имеет постоянную температуру до полного израсходования углекислоты. Как следствие этого, возникает естественная упорядоченная циркуляция воздуха в замкнутом рабочем объеме.

Указанные особенности обеспечивают после достижения установкой стационарного теплового состояния достаточную однородность температуры воздуха рабочего объема и ее постоянство во времени.

Задание необходимой температуры основано на изменении теплового контакта между углекислотой и воздухом в рабочем объеме термостата.

На рис. 1 показан схематический разрез термостата.

Термостат состоит из корпуса 1, закрытого термоизоляцией 2, с крышкой 3, вынимающегося углекислотного сосуда 4 с теплопроводным дном, платы 5 для испытываемых часовых механизмов 6, которые ставятся на запись, и спиртового низкоградусного термометра 7. Съёмная прокладка 8 и съёмные диски 9 служат для изменения теплового контакта углекислоты с воздухом в рабочем объеме 10 с целью выбора рабочей температуры.

Для получения более высоких температур устанавливаются прокладка и диски, причем число их может быть различным в зависимости от требуемой температуры. При температурах  $-35^{\circ}$  и более высоких вместо спиртового термометра можно использовать психрометрический.

Для получения более низких температур диски и прокладка убираются.

Предельно низкую температуру (около  $-60^{\circ}$ ) в воздушном объеме термостата можно получить улучшением теплового контакта между твердой углекислотой и дном углекислотного сосуда, что достигается с помощью спирта, который в небольшом количестве (300—400 см<sup>3</sup>) наливается в сосуд перед загрузкой углекислоты.

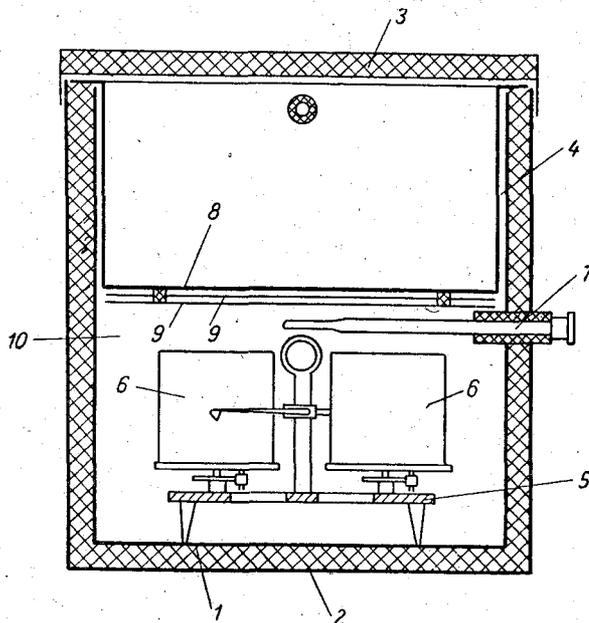


Рис. 1. Схематический разрез термостата.

Конструкция термостата отличается простотой и надежностью в работе и обеспечивает возможность получения рабочей температуры около  $-35^{\circ}$ , а в нужных случаях и до  $-60^{\circ}$ . Время достижения рабочей температуры воздуха с момента загрузки углекислоты составляет 2—2,5 часа для любой температуры. Изменение температуры воздуха в камере термостата за время выдержки часовых механизмов в течение 10 час. (после достижения рабочей температуры) не превосходит  $2^{\circ}$ . Это изменение температуры практически одинаково при температурах около  $-30$  и  $-60^{\circ}$ .

Максимальная разность температур любых точек рабочего объема не превышает  $4^{\circ}$ , что вполне удовлетворяет требованиям при испытаниях часовых механизмов.

Объем воздушной камеры термостата выбран с учетом размещения в нем пяти часовых механизмов одновременно или одного термографа (барографа).

Объем углекислотного сосуда рассчитан на закладывание в него около 20 кг твердой углекислоты, что обеспечивает выхолаживание термостата до  $-35^{\circ}$  и поддержание этой температуры в течение суток. Это

позволяет при необходимости испытывать в течение суток влияние температуры на ход часовых механизмов.

В качестве охлаждающего вещества был также испытан лед. При этом в камере термостата наблюдались температуры, превышающие температуру таяния льда на 1—2°.

Термостат может быть использован и для других целей, в частности, для хранения твердой углекислоты и для предварительного охлаждения спирта (для термованны) в условиях БП УГМС. Установка может быть использована для определения температурной зависимости показаний у любых самопишущих или дистанционных приборов, размеры которых позволяют размещать их в воздушной камере термостата, а также для испытаний незамерзающих чернил или новых видов смазки при температурах, близких к  $-60^{\circ}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по поверке метеорологических приборов. Гидрометеиздат, Л., 1956.
2. Новиков А. И. Метеорологические приборы (ремонт и регулировка). Гидрометеиздат, Л., 1951.

## ИЗНОСОУСТОЙЧИВЫЕ ЦАПФЫ АНЕМОМЕТРОВ

В статье описан профиль и способ изготовления новых износостойчивых цапф. Сообщаются результаты их применения в стандартном ручном анемометре.

В практике метеорологических наблюдений широкое применение находит ручной анемометр (ГОСТ 6376—52, тип А).

Завод-изготовитель гарантирует безотказную работу этого анемометра лишь в течение 120 час. Несмотря на такую малую продолжительность работы анемометра, допустимыми считаются изменения его показаний, достигающие 1,5 м/сек. при верхнем пределе измеряемых скоростей 20 м/сек. Максимальные изменения показаний анемометра, отнесенные к верхнему пределу, составляют, таким образом, 8%.

Работая над улучшением эксплуатационных характеристик анемометра, мы предположили, что основной причиной значительных погрешностей в показаниях ручного анемометра и малого срока его службы является износ его нижних, опорных цапф в процессе эксплуатации.

Износу нижних цапф осей способствует невыгодный их профиль (рис. 1 а), который задается им при изготовлении. Площадь соприкосновения торцовой части цапфы с опорной поверхностью агатового подпятника со временем значительно возрастает (рис. 1 б). При этом в связи с вибрациями оси, которые наблюдаются у анемометров с плохой балансировкой, происходит не только износ, искажающий профиль цапфы, но и образование волнистой поверхности, значительно увеличивающее трение в цапфе. Наибольший износ цапфы наблюдается при тех скоростях воздушного потока, при которых анемометр из-за плохой балансировки оси начинает своеобразно звучать. Чаще всего это происходит при скоростях воздушного потока от 7 до 9 м/сек.

При осмотре под микроскопом осей таких анемометров (поверители иногда называют их «поющими») мы обнаружили мелкие ячеистые или волнообразные неровности, которые повышают трение и тем самым значительно ухудшают рабочие качества анемометра.

Нами изготовлены и испытаны износостойчивые цапфы (рис. 1 в), которые отличаются от существующих тем, что они с самого начала работы имеют профиль, не изменяющийся со временем.

Несмотря на материальный износ металла оси, профиль рабочей поверхности цапфы практически не изменяется за счет его самовоспроизводимости. Торцовая поверхность цапфы, как видно на рис. 1 в, представляет собой плоскую поверхность с легкой, незначительной округлостью на ее краях.

При изготовлении этих цапф оси закалке не подвергались, так как для цапф с агатовыми подпятниками материальный износ не опасен. Вибрации, вредная роль которых отмечалась выше, у осей, подвергнутых

закалке, как правило, возникают легче из-за их жесткости. Закалка осей, кроме того, повышает их хрупкость и усложняет изготовление анемометров.

Особое внимание при изготовлении новых цапф обращалось на их шлифовку и полировку. При этом имеются в виду нижние цапфы, несущие основную механическую нагрузку. У верхних цапф тщательно шлифовались и полировались лишь цилиндрические их поверхности.

Качество обработки рабочих поверхностей цапф и характер их профиля контролировались при помощи микроскопа.

После освоения опыта по изготовлению новых цапф было собрано несколько ручных анемометров, при этом особое внимание обращалось на их балансировку.

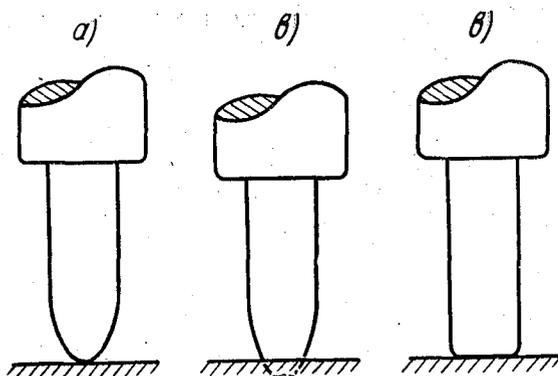


Рис. 1. Профили опорной цапфы.

а — стандартный анемометр до эксплуатации, б — стандартный анемометр после эксплуатации, в — экспериментальный анемометр.

Результаты испытаний этих анемометров, проводившихся с 1954 г., подтвердили правильность предположения о существенной роли цапф и их профиля.

Один из экспериментальных анемометров был подвергнут обкатке в течение 400 час. в установке УПАР-01 [1] при скоростях воздушного потока 10—12 м/сек. Наибольшее изменение его показаний, наблюдавшееся при этом опыте, не превосходило 0,1 м/сек., или 1% от скорости воздушного потока, при которой осуществлялась обкатка.

Другой анемометр обкатывался в течение около 1000 час., после чего был оставлен в 1957 г. на длительное хранение. После указанной обкатки и 3-летнего хранения показания у этого анемометра отличались от первоначальных не более чем на 0,2 м/сек. при скоростях воздушного потока около 15 м/сек.

Такое постоянство показаний ручных анемометров, учитывая погрешности при измерении скорости воздушного потока, следует считать вполне удовлетворительным.

Сравнение анемометров, имеющих новые цапфы, со стандартными анемометрами показывает, что они выгодно отличаются от стандартных постоянством показаний (1% вместо 8%) и увеличенным сроком службы (1000 час. вместо 120 час.). Некоторым недостатком их по сравнению со стандартными анемометрами является несколько повышенный порог чувствительности — 1,0 вместо 0,8 м/сек. у стандартного. Но и эта характеристика у стандартного анемометра со временем заметно изменяется,

в то время как у анемометров с износостойчивыми цапфами она лучше сохраняется. Анемометры с описываемыми цапфами обладают повышенным первоначальным трением из-за большой поверхности соприкосновения стали с агатом, которая в процессе эксплуатации практически не меняется.

Описанные выше цапфы могут быть рекомендованы не только для ручных анемометров, в которых они были испытаны, но и для других анемометров с вертикально расположенными осями. Можно ожидать, что постоянство их показаний и срок службы после перехода на износостойчивые цапфы будут также значительно повышены.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяченко П. В. Установка для проверки ручных анемометров. Труды ГГО, вып. 61 (123), 1956.



П. В. ДЬЯЧЕНКО

## О ЛЕНТАХ ДЛЯ ГЕЛИОГРАФОВ

В статье описываются новые ленты для гелиографов, позволяющие повысить точность наблюдений за продолжительностью солнечного сияния.

Один из основных недостатков гелиографов, используемых в настоящее время на сети метеорологических станций, заключается в том, что порог их чувствительности велик и непостоянен.

По свидетельству [1], порог чувствительности гелиографов меняется в пределах от 0,25 до 0,4 кал/см<sup>2</sup>мин., что зависит главным образом от применяемых лент и проявляется лишь при начале прожога. Кончается прожог ленты практически при одинаковой радиации, близкой к 0,2 кал/см<sup>2</sup>мин.

Установленное нами различие в чувствительности при начале прожога и в конце его объясняется тем, что начало прожога (если поверхность ленты не имеет темных включений — мельчайших темных пятен, частиц пыли и т. д.) происходит на сравнительно светлой поверхности бумаги, а конец прожога — всегда при наличии темной поверхности бумаги, образованной самим прожогом.

Однородности чувствительности при окончании прожога способствует и то, что в этом случае влияние влажности невелико, так как прожог всегда кончается на прогетом, а следовательно, подсушенном участке ленты.

Опыты, проведенные автором, показали, что белая чистая бумага начинает прожигаться при сравнительно высоком уровне радиации (около 0,6—0,7 кал/см<sup>2</sup>мин.). Однако при нанесении на эту бумагу на пути прожога черного пятна даже предельно малого размера прожог начинается при радиации в три раза меньшей (около 0,2 кал/см<sup>2</sup>мин.).

Из этих опытов следует, что неоднородность чувствительности, наблюдаемая у лент, зависит не только от различия в общем тоне их окраски, но и от мельчайших темных включений и неоднородностей, которые поглощают радиацию гораздо лучше, чем окружающие участки ленты, и многие из которых незаметны для невооруженного глаза.

Ряд зарубежных служб погоды использует темные ленты. Однако полное чернение поверхностей лент, воспринимающих радиацию, не привилось из-за того, что на лентах со сплошным черным покрытием плохо виден прожог.

В процессе опытов с лентами различных покрытий мы обнаружили, что наилучшие результаты дает неклеенная, полностью зачерненная бумага, у которой прожог наблюдается с обратной, белой стороны.

Использованные нами ленты имели сплошное чернение с одной стороны — со стороны прожога и часовые деления в виде тонких черных штрихов на другой их стороне — стороне обработки.

Эти ленты, в отличие от обычных, имели одинаковую чувствительность как к началу прожога, так и к его окончанию.

Чувствительность к началу и концу прожога у этих лент, выполненных на бумаге для изготовления игральные карт (ГОСТ 7114—54, марка Б, вес 1 м<sup>2</sup> 300 г) оказалась равной 0,2 кал/см<sup>2</sup>мин. Она практически совпадает с чувствительностью к окончанию прожога у лент, применяемых при метеорологических наблюдениях.

Толщина лент из этой бумаги (0,25 мм при комнатной влажности) близка к толщине применяемых лент.

Ленты, изготовленные из картографической бумаги (ГОСТ 1339—54 вес 1 м<sup>2</sup> 120 г), имеющей толщину в два раза меньшую (0,12 мм), обладали более высокой чувствительностью (0,12—0,15 кал/см<sup>2</sup>мин.).

Повышение чувствительности у лент из тонкой бумаги можно объяснить уменьшением теплоотдачи от нагреваемого участка ленты к ненагреваемым ее частям через более тонкий слой бумаги.

Одна часть новых лент, подвергнутых испытанию, была покрыта черной тушью, а другая — обычной черной типографской краской, нанесенной типографским путем. При этом различий в чувствительности к прожогу для лент, покрытых тушью и типографской краской, не обнаружено.

Изготовление лент сплошного чернения значительно проще, так как бумага не подвергается вредным деформациям вследствие ее увлажнения при печати и склеивании.

В отношении величины часовых промежутков, наносимых на обратной стороне бумаги, новые ленты не отличаются от применяемых, но направление прожога по понятным причинам обратное.

Описанные ленты для гелиографов по материалам лабораторных испытаний выгодно отличаются от применяемых однородностью чувствительности как к началу прожога, так и к его окончанию. Их применение позволит повысить точность наблюдений за продолжительностью солнечного сияния.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кедролыванский В. Н. и Стернзат М. С. Метеорологические приборы. Гидрометеиздат, Л., 1953.

## МЕТОД И АППАРАТУРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОПРАВОЧНЫХ МНОЖИТЕЛЕЙ, УЧИТЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ ВЕТРА НА ПОКАЗАНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ БАЛАНСОМЕРОВ

В статье описывается новый метод и аппаратура для определения поправочных множителей к показаниям термоэлектрических балансомеров при ветре. Дается анализ погрешностей разработанной аппаратуры, сообщаются результаты ее испытаний.

Известно, что показания термоэлектрических балансомеров, применяемых на сети станций Гидрометслужбы, зависят от ветра [1].

Существующий способ лабораторного определения поправочных множителей, учитывающих влияние ветра на показания термоэлектрических балансомеров, был предложен И. А. Покровской [2] и изложен в Руководстве по проверке метеорологических приборов [3].

Поправочным множителем к показаниям балансомера при ветре называется число, на которое нужно умножить показание балансомера при данной скорости ветра, чтобы получить показание балансомера при штиле, иначе, это есть отношение показания балансомера при штиле к показанию балансомера при данной скорости ветра при неизменном значении радиационного баланса [3].

При определении поправочных множителей сравниваются показания балансомера при различных скоростях ветра с показаниями его при штиле.

Рекомендованный в Руководстве лабораторный способ определения поправочных множителей к показаниям балансомера при ветре имеет следующие недостатки.

1. Применяемое оборудование сложно и громоздко. Для определения множителей используется аэродинамическая труба и лампа с конденсором, которые устанавливаются в трубе при каждом определении множителей.

2. Обработка результатов значительного количества измерений занимает много времени, что заметно увеличивает трудоемкость определения множителей.

3. Определение ветровых поправочных множителей балансомера сопровождается значительными случайными погрешностями. Максимальная величина их достигает 5—6%.

Разработанный нами метод и аппаратура позволяют определить с повышенной точностью ветровые поправочные множители термоэлектрических балансомеров без каких-либо промежуточных измерений и без их обработки, т. е. автоматически.

В соответствии с принятой классификацией [4] описываемая аппаратура представляет собой систему автоматического контроля, в которой

скорость воздушного потока, обтекающего балансомер, является управляющей величиной, а измеряемое и непосредственно отсчитываемое значение ветрового поправочного множителя — регулируемой величиной.

В дальнейшем поправочный множитель к показаниям термоэлектрического балансомера при ветре будет обозначаться символом  $\Phi_v$ , а описываемая аппаратура для его определения — называться ветробалансомерной установкой<sup>1</sup>.

### Описание установки

Ветробалансомерная установка ВБУ-59 предназначена для определения поправочных множителей к показаниям термоэлектрических балансомеров при ветре от 1 до 15 м/сек.

Работа ВБУ-59 основана на автоматическом приборном сравнении показаний термоэлектрического балансомера при обдувании его воздушным потоком известной скорости и без обдувания.

Общий вид установки представлен на рис. 1. В нее входят следующие части и узлы: излучатель 1; ветровая часть 2 (в футляре); пульт управления 3; указатель  $\Phi_v$  4; агрегат стабилизации питания 5; контрольный балансомер.

Излучатель (рис. 2) служит для облучения поверяемого балансомера устойчивой радиацией. В него входят: кинопроекционная лампа 1 (10 в, 300 вт); тепловая защита 2, выполненная в виде двух теплопроводных цилиндров, входящих друг в друга и окружающих лампу; конденсорная линза 3 для формирования потока радиации; колпачок 4 для затенения излучателя; кронштейн 5 для крепления излучателя к нижней части футляра ветровой части.

Излучатель при неизменном напряжении на лампе обеспечивает постоянство радиации с точностью до  $\pm 0,2\%$ .

Ветровая часть (рис. 3, показана без футляра) служит для обдувания воздушным потоком облучаемого балансомера, который надежно закрепляется в строго определенном положении.

В ветровую часть входят: труба 1 с гнездом для крепления балансомера; мотор с вентилятором 2 для создания в трубе воздушного потока, обтекающего балансомер; тахогенератор — датчик скорости воздушного потока 3; основание 4; футляр со съёмной крышкой и застекленным окном для прохождения потока радиации к балансомеру.

Скорость воздушного потока задается изменением напряжения, подаваемого на мотор ветровой части, которая представляет собой малогабаритную аэродинамическую установку, аналогичную установке для проверки ручных анемометров [5].

Вентилятор, вращаемый мотором, одновременно используется и для создания воздушного потока, обдувающего балансомер, и для его измерения по скорости вращения вентилятора, определяемой при помощи тахогенератора.

Пульт управления (рис. 4) служит для регулировки и контроля режимов работы установки. В него входят: регулятор напряжения ЛАТР-2 с рукояткой 1 для задания скорости воздушного потока, обдувающего балансомер; микроамперметр — указатель скорости воздушного потока 2;

<sup>1</sup> В разработке ветробалансомерной установки в стадии предварительных изысканий (1957 г.) принимал участие Чжэн Дэ-чен — сотрудник Центрального научно-исследовательского метеорологического института Китайской Народной Республики во время его пребывания в ГГО в качестве практиканта.

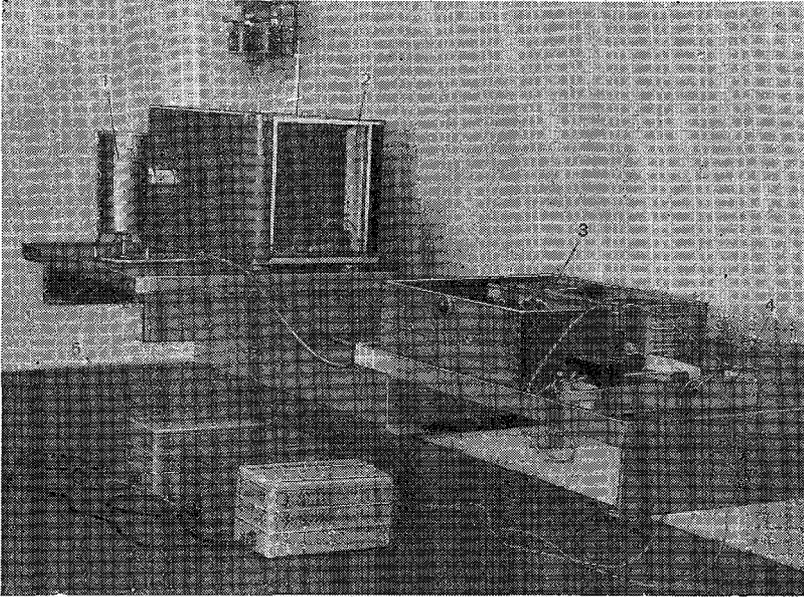


Рис. 1. Общий вид ветробалансовой установки.

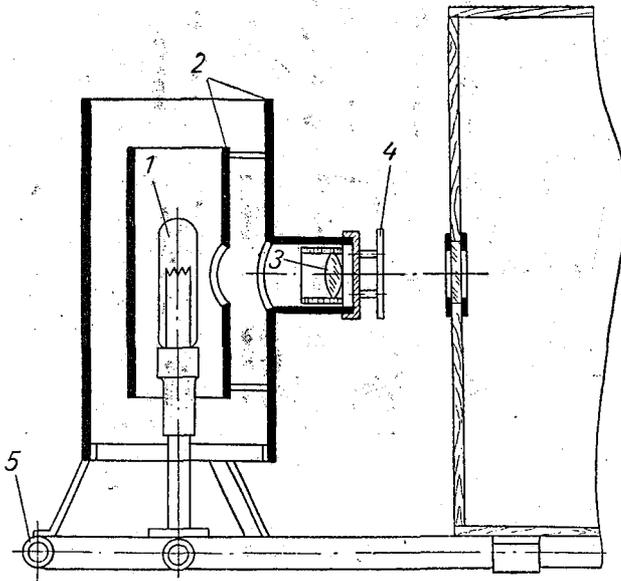


Рис. 2. Излучатель.

регулятор напряжения ЛАТР-2 с рукояткой 3 для плавного изменения напряжения, подаваемого на лампу; вольтметр 4 для контроля за напряжением на лампе; переключатель 5 для изменения направления тока в цепи указатель  $\Phi_v$ ; регулятор тока в цепи указателя  $\Phi_v$ , состоящий из

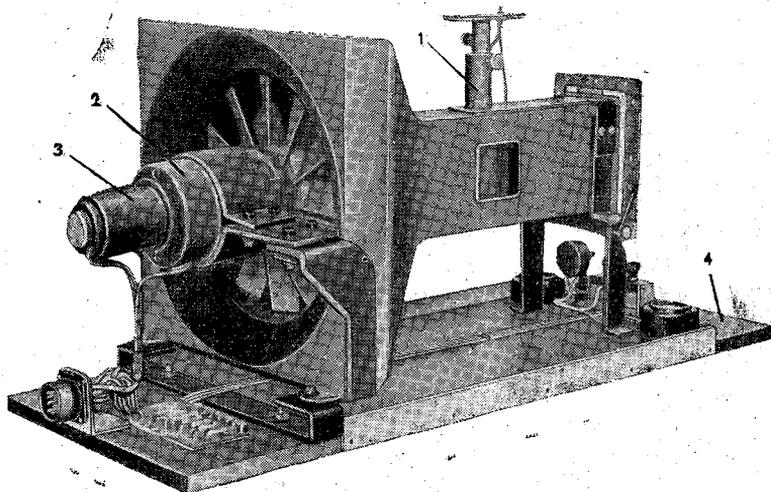


Рис. 3. Ветровая часть.

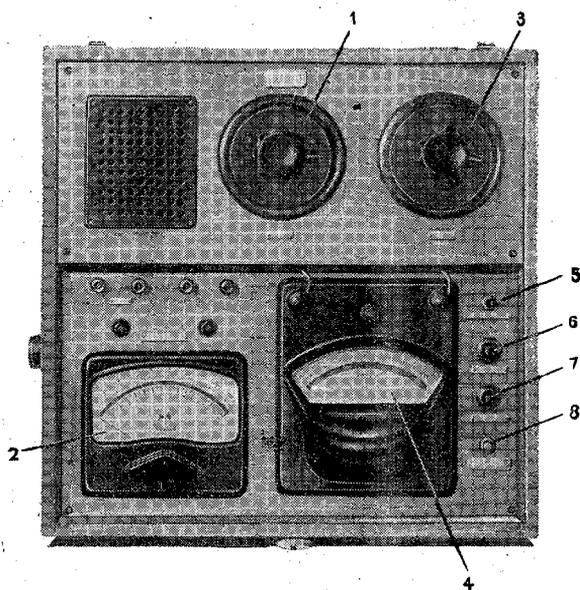


Рис. 4. Пульт управления.

рукоятки 7 для плавной регулировки; переключатель 8 для электрического арретирования гальванометра — указателя  $\Phi_v$ .

Благодаря пульту управления обеспечивается:

1) исходная настройка цепей установки, после которой она готова к действию;

2) задание известной скорости воздушного потока, обдувающего балансомер, и контроль за ее постоянством;

3) выбор напряжения, подаваемого на лампу излучателя, и контроль за его постоянством.

Указатель  $\Phi_v$  служит для непосредственного отсчета величины  $\Phi_v$  при заданной скорости воздушного потока, обдувающего балансомер, и при выбранном напряжении на лампе.

В его устройство входят: гальванометр (ГЗП-47/III), комбинированная шкала (рис. 5) режима тока в цепи балансомера (нижняя) и значений ветровых множителей (верхняя), осветитель шкалы, защита клемм гальванометра для их предохранения от нагрева воздухом, выдыхаемым поверителем.

Кроме своего основного назначения, указатель служит для определения готовности установки к работе.



Рис. 5. Шкала  $\Phi_v$ .

Агрегат стабилизации питания служит для отдельной подачи стабилизированного напряжения переменного тока на лампу излучателя и на мотор ветровой части установки.

Напряжение, подаваемое на лампу, стабилизируется двумя последовательно включенными феррорезонансными стабилизаторами, а на мотор ветровой части — одним.

Контрольный балансомер с известными величинами  $\Phi_v$  предназначен для контроля за правильностью работы и постоянством показаний установки в процессе ее эксплуатации.

Пульт управления и ветровая часть установки соединены между собой многожильным кабелем с разъемами. Для соединения остальных частей используется обычный осветительный провод со штепсельными вилками.

Кроме перечисленных частей, в комплекте установки имеется лупа приставная к вольтметру и инструкция-описание установки.

### Электрическая схема установки

Как видно из схемы (рис. 6), установка состоит из четырех основных цепей: лампы излучателя, мотора ветровой части, микроамперметра — указателя скоростей воздушного потока и гальванометра — указателя  $\Phi_v$ .

В первой цепи напряжение сети переменного тока после стабилизации двумя последовательно включенными феррорезонансными стабилизаторами  $Ст_1$  и  $Ст_2$  подается на лабораторный автотрансформатор  $Tr_2$ , шунтированный сопротивлением  $R_6$  для плавной регулировки напряжения на лампе в пределах 5—6 в. Затем напряжение понижается в обмотке  $II$  трансформатора  $Tr_3$  до 80 в, необходимых для питания лампы излучателя  $L_1$ . Величина этого напряжения контролируется вольтметром  $V$ . Напряжение 6,3 в с обмотки  $II$  трансформатора  $Tr_3$  подается на лампочку  $L_2$ , освещающую шкалу указателя  $\Phi_v$ .

Во второй цепи напряжение сети после феррорезонансного стабилизатора  $Ст_3$  подается для регулировки в пределах от 0 до 220 в на

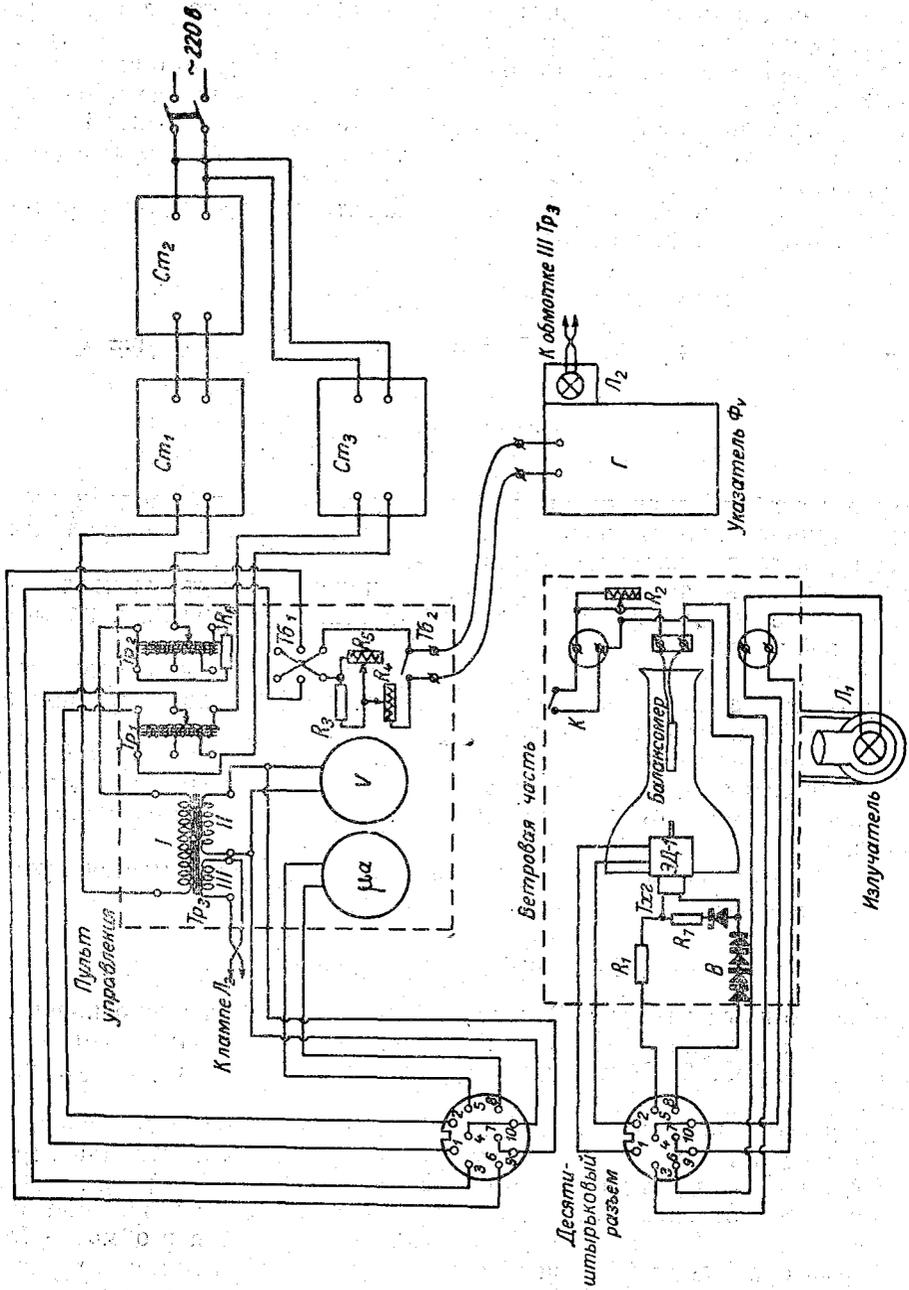


Рис. 6. Электрическая схема ВБУ-59.

лабораторный автотрансформатор  $Tp_1$  и затем на коллекторный мотор ветровой части ЭД-1, на одном конце оси которого закреплен воздушный винт (вентилятор), а на другом — ротор тахогенератора  $T_{хг}$ .

В третьей цепи переменное напряжение, возбуждаемое тахогенератором, выпрямляется германиевыми диодами ДГЦ-27 и подается через сопротивление  $R_1$  на микроамперметр  $\mu a$ , используемый в качестве указателя скорости воздушного потока.

Цепь микроамперметра при работе установки не регулируется. При ее изготовлении и градуировке выбирается необходимая величина сопротивления  $R_1$ , при которой микроамперметр, снабженный соответствующей шкалой, превращается в указатель скорости воздушного потока.

В последней, четвертой цепи источником тока является поверяемый балансомер, который облучается радиацией и обдувается воздушным потоком известной скорости.

Ток балансомера через сопротивление  $R_2$  или ключ  $K$  поступает на тумблер  $Tb_1$ , меняющий при необходимости его направление. Ток балансомера грубо регулируется переменным сопротивлением  $R_3$  и плавно — сопротивлением  $R_4$ , после чего подается на гальванометр  $G$ , используемый для отсчета величины  $\Phi_v$  — ветрового поправочного множителя балансомера. Тумблер  $Tb_2$  используется для электрического арретирования гальванометра и контроля положения его нуля.

При замене балансомера или перемене облучаемой его стороны возможна подача на гальванометр тока нежелательного направления. Для предохранения гальванометра от этого служит ограничительное сопротивление  $R_2$  и ключ  $K$ . В качестве ключа использованы два замка крышки, включенные в электрическую цепь гальванометра и замыкаемые крышкой при закрывании футляра ветровой части.

В электрическом отношении все описанные выше четыре цепи независимы. Связь между ними осуществляется неэлектрическим путем, благодаря действию потока радиации на балансомер, влиянию воздушного потока на показания балансомера и жесткой механической связи оси мотора с вентилятором и ротором тахогенератора.

### Градуировка установки по скорости

Для обеспечения разовой градуировки установки по скорости воздушного потока была изготовлена специальная пневмометрическая трубка, имеющая форму балансомера. При помощи этой трубки и микроамперметра, использованных в качестве посредника между аэродинамической трубой ГГО и ветробалансомерной установкой, была выполнена «скоростная» градуировка установки. Такая пневмометрическая трубка в дальнейшем может быть использована для контроля сохранности градуировки установки.

Однако, как выяснилось в процессе изысканий, увязывания установки с аэродинамической трубой ГГО лишь по скорости воздушного потока недостаточно, так как при одинаковой скорости потока, но различной турбулентности его наблюдаются существенные различия в величине поправочного ветрового множителя. Теоретический анализ и результаты эксперимента показывают, что скорость воздушного потока не является единственным параметром, который непосредственно влияет на величину интересующего нас поправочного множителя. Его величина существенно зависит и от уровня турбулентности воздушного потока, обдувающего балансомер.

Этот множитель, строго говоря, следовало бы назвать поправочным множителем балансомера, учитывающим изменение его теплового ре-

жима. Такой теплорежимный множитель зависит от турбулентности воздушного потока не меньше, чем от его скорости. Назвать его ветровым можно лишь постольку, поскольку скорость воздушного потока в естественных условиях характеризуется более или менее определенным уровнем его турбулентности.

С учетом изложенных выше соображений в ветробалансомерной установке была обеспечена такая же турбулентность воздушного потока, как и в аэродинамической трубе ГГО. Это было выполнено при помощи металлической сетки, установленной на входе трубы. Таким образом было достигнуто приведение показаний ветробалансомерной установки к результатам, получаемым при помощи аэродинамической трубы ГГО.

Как показала И. А. Покровская [2], результаты определения ветровых поправочных множителей балансомеров в аэродинамической трубе ГГО и в естественных условиях хорошо согласуются между собой.

### Определение ветрового поправочного множителя балансомера

Для определения ветрового поправочного множителя открывают крышку футляра, устанавливают поверяемый балансомер в специальном гнезде трубы ветровой части и подключают к клеммам концы проводов балансомера.

Напряжение, подаваемое на лампу излучателя, выбирается с таким расчетом, чтобы при изменениях его в процессе работы (обычно на 1,5—2 в) оно поддерживалось точно на выбранном значении.

Выбрав правильное направление тока балансомера, закрывают крышку футляра и убеждаются в том, что балансомер в затененном состоянии дает нулевые показания гальванометра и не меняет их.

При облучении балансомера радиацией показания гальванометра посредством регулировки приводят к отметке на его шкале, обозначенной  $\Phi_v = 1,00$  и убеждаются в том, что она не меняется со временем. Шкала гальванометра рассчитана так, что уменьшению его показаний соответствует возрастание величины  $\Phi_v$ , нанесенной на шкалу.

При обдувании балансомера воздушным потоком известной скорости наблюдается уменьшение показаний гальванометра или увеличение ветрового поправочного множителя, установившаяся величина которого и отсчитывается.

### Обоснование метода

Полное выражение для определения  $\Phi_v$ , согласно Руководству по проверке метеорологических приборов [3], может быть представлено в виде

$$\left( \frac{N - N_3}{n} \right)_0 \left( \frac{N - N_3}{n} \right)_v, \quad (1)$$

где  $N$  — показания незатененного балансомера, исправленные шкаловыми поправками и отсчетами места нуля гальванометра;  $N_3$  — показания затененного балансомера, исправленные шкаловыми поправками и отсчетами места нуля гальванометра;  $n$  — показания контрольного актинометра, исправленные шкаловыми поправками и отсчетами места нуля гальванометра.

Кроме перечисленных величин, для определения  $\Phi_v$  необходимо знать скорость воздушного потока  $v$  в аэродинамической трубе, измеренную по показаниям микроанометра с учетом места его нуля.

Если исходить из формальных соображений, то выражение (1) предельно упрощается до вида

$$\Phi_v = \frac{N_0}{N_v} \quad (2)$$

при условиях:

$$(N_3)_0 = (N_3)_v = 0, \quad (3)$$

$$n_0 = n_v, \quad (4)$$

где индексы 0 и v, как и в предыдущих формулах, указывают скорость воздушного потока, при которой производились измерения.

При разработке описываемой аппаратуры для автоматического определения поправочного множителя к показаниям балансомера при ветре основное внимание обращалось на то, чтобы наилучшим и более простым экспериментальным способом выполнить условия (3) и (4).

При их выполнении величина множителя, определяемого установкой, зависит лишь от скорости воздушного потока, задаваемого поверителем по его желанию.

Условие (3) означает, что поверяемый или контрольный балансомер при его затенении должен надежно показывать нуль. Это условие выполняется следующим образом.

1. Воздушный поток, обдувающий балансомер, изолирован футляром от воздуха помещения, влияющего на показания затененного балансомера. Внутри футляра с помощью направляющих перегородок была обеспечена симметричная циркуляция воздуха. В результате этого показания как затененного балансомера, так и облучаемого стали более устойчивыми.

2. Поток радиации на время затенения балансомера перекрывается колпачком, имеющим двойные металлические полированные стенки.

3. Клеммы гальванометра ГЗП-47 снабжены защитой, предохраняющей их от нагрева воздухом, выдыхаемым поверителем.

4. Показания балансомера как при штиле, так и при воздушном потоке снимались с гальванометра лишь тогда, когда они полностью устанавливались.

Для того чтобы выполнить условие (4) и обеспечить высокую точность показаний установки, оказалась необходимой стабилизация температурного режима лампы. Это обеспечено специальной тепловой защитой, выполненной из двух теплопроводных цилиндров, окружающих лампу. При загорании лампы в промежутке между ней и защитой возникает конвективный ток воздуха, стабилизирующий температуру лампы, а следовательно, и поток радиации, излучаемой ею.

У выполненного таким образом излучателя поток радиации не меняется во времени и не зависит от внешних воздействий. Он устанавливается через 10—12 мин. горения лампы. Непостоянство показаний гальванометра, подключенного к балансомеру, облучаемому таким излучателем, оказалось возможным уменьшить до величины  $\pm 0,2\%$ .

Благодаря стабилизации напряжения, подаваемого на лампу, и оптимизации выше мерам оказалось возможным повысить точность определения поправочного ветрового множителя в установке и обойтись при этом без контроля за радиацией лампы.

### Шкала и ее расчет

Для непосредственного отсчета величины  $\Phi_v$  без какой-либо обработки результатов промежуточных измерений, т. е. для полной автоматизации определения  $\Phi_v$ , была рассчитана и изготовлена специальная шкала (рис. 5).

Расчет шкалы ВБУ-59

Таблица 1

$\Phi_v$	$\frac{1}{\Phi_v}$	$1000 \left(1 - \frac{1}{\Phi_v}\right)$	$\frac{1}{\Phi_v^2}$	$0,003\Phi_v^2$	$\Delta\Phi_v$
1,00	1,0000	0,0	1,00	0,003	0,011
1,01	0,9901	9,9	0,99		
1,02	0,9804	19,6	0,97		
1,03	0,9709	29,1	0,95		
1,04	0,9615	38,5	0,94		
1,05	0,9524	47,6	0,91		
1,06	0,9434	56,6	0,90		
1,07	0,9346	65,4	0,88		
1,08	0,9259	74,1	0,87		
1,09	0,9174	82,6	0,85		
1,10	0,9091	90,9	0,83	0,004	0,012
1,11	0,9009	99,1	0,82		
1,12	0,8928	107,2	0,81		
1,13	0,8850	115,0	0,78		
1,14	0,8772	122,8	0,77		
1,15	0,8696	130,4	0,76		
1,16	0,8621	137,9	0,75		
1,17	0,8547	145,3	0,74		
1,18	0,8474	152,6	0,73		
1,19	0,8403	159,7	0,71		
1,20	0,8333	166,7	0,70	0,004	0,012
1,21	0,8264	173,6	0,69		
1,22	0,8197	180,3	0,68		
1,23	0,8130	187,0	0,67		
1,24	0,8064	193,6	0,66		
1,25	0,8000	200,0	0,65		
1,26	0,7936	206,4	0,64		
1,27	0,7874	212,6	0,63		
1,28	0,7812	218,8	0,62		
1,29	0,7752	224,8	0,61		
1,30	0,7692	230,8	0,60	0,005	0,013
1,31	0,7634	236,6	0,59		
1,32	0,7576	242,4	0,58		
1,33	0,7519	248,1	0,57		
1,34	0,7463	253,7	0,56		
1,35	0,7407	259,3	0,55		
1,36	0,7353	264,7	0,54		
1,37	0,7299	270,1	0,54		
1,38	0,7246	275,4	0,53		
1,39	0,7194	280,6	0,52		
1,40	0,7143	285,7	0,51	0,006	0,014
1,41	0,7092	290,8	0,51		
1,42	0,7042	295,8	0,50		
1,43	0,6993	300,7	0,49		
1,44	0,6944	305,6	0,49		
1,45	0,6896	310,4	0,48		
1,46	0,6849	315,1	0,47		
1,47	0,6803	319,7	0,46		
1,48	0,6757	324,3	0,46		
1,49	0,6711	328,9	0,45		
1,50	0,6667	333,3	0,44	0,007	0,015

Шкала является комбинированной и состоит из двух шкал, связанных между собой.

Нижняя равномерная шкала (10 больших, 100 малых делений) предназначена для получения одинаковых, заранее устанавливаемых отклонений или показаний гальванометра.

Верхняя шкала — неравномерная и имеет деления от 1,00 до 1,50. По этой шкале и отсчитывается величина  $\Phi_v$ , если предварительно показания гальванометра при штите были установлены на отметке  $\Phi_v = 1,00$ . Значение  $\Phi_v = 1,00$  совпадает с отметкой 10 по нижней шкале.

Полагая в формуле (2)  $N_0 = 1$ , получим зависимость между  $\Phi_v$  и  $N_v$ , на основании которой рассчитывалась шкала:

$$\Phi_v = \frac{1}{N_v}. \quad (5)$$

Расчетные данные для построения шкалы ветровых поправочных множителей при базе в 1000 мм даны в табл. 1.

В первой графе табл. 1 заданы значения  $\Phi_v$  (входные данные) через каждую сотую долю поправочного множителя. Во второй графе даны значения  $N_v$  при  $N_0 = 1,00$ . В третьей графе даны величины координат штрихов верхней шкалы при отсчете от исходной отметки  $\Phi_v = 1,00$ . Последние вычислены и нанесены с точностью до десяти долей миллиметра, что обеспечивает достаточную точность шкалы, которая фотографированием была уменьшена в 12 раз. В четвертой графе даны величины, характеризующие относительную величину делений верхней неравномерной шкалы по сравнению с равномерными делениями нижней шкалы. Эти данные, так же как и данные в пятой и шестой графах, необходимы для оценки погрешностей измерения ветрового множителя.

### Погрешности измерения $\Phi_v$

Полагая, что погрешностью расчета и нанесения шкалы можно пренебречь, оценим расчетным путем величину максимальной погрешности определения  $\Phi_v$  из-за действия основных причин, поддающихся учету.

Нетрудно заметить, что в эту погрешность входят следующие величины.

1. Максимальная погрешность в определении  $\Phi_v$  из-за ошибки в определении скорости воздушного потока ( $\Delta v$ ). Учитывая, что градуировка установки выполнялась с погрешностью  $\Delta v$ , не превышающей  $\pm 0,2$  м/сек., можно принять

$$\Delta v = \pm 0,008,$$

так как для выпускаемых балансомеров установлен допуск, согласно которому

$$\frac{\partial \Phi_v}{\partial v} < 0,04.$$

2. Максимальная погрешность в определении  $\Phi_v$  из-за непостоянства нуля у гальванометра-измерителя  $\Phi_v$  ( $\Delta_0$ ).

После принятия специальных предохранительных мер, обеспечивающих надежность показаний гальванометра ГЗП-47, и уменьшения вредных тепловых воздействий на балансомер эта погрешность не превосходит

$$\Delta_0 = \pm 0,001.$$

3. Погрешность в определении  $\Phi_v$  из-за неучета колебаний напряжения электрической сети ( $\Delta u$ ). Для уменьшения этой погрешности мотор питается от сети переменного тока через стабилизатор, а лампа — через два стабилизатора, включенных последовательно. Напряжение на лампе, кроме того, устанавливается на выбранном значении при помощи плавной регулировки накала лампы и контролируется с помощью вольтметра.

Если принять, что напряжение на лампе воспроизводится с погрешностью, не превышающей

$$\Delta u = \pm 0,1 \text{ в,}$$

то при  $u = 80$  в установка дает

$$\frac{\partial \Phi_v}{\partial u} = 0,02,$$

откуда

$$\Delta u = \pm 0,002.$$

Испытание установки подтвердило, что величина погрешности, полученная из опыта, не превосходит расчетную (указанную выше).

4. Погрешность в определении  $\Phi_v$  из-за неравномерности шкалы. Для учета влияния неравномерности шкалы необходимо умножить величину суммы погрешностей  $\Delta_0 + \Delta_u$  на коэффициент, характеризующий относительную величину делений шкалы. Как следует из графы 5 табл. 1, неравномерность шкалы заметно увеличивает погрешности  $\Delta_0$  и  $\Delta_u$ . Численно этот коэффициент равен  $\Phi_v^2$ .

Остальные причины, вызывающие погрешности в определении ветрового множителя, нами не рассматривались из-за малого влияния и трудностей их учета.

Таким образом, расчетная величина максимальной погрешности определения  $\Phi_v$  из-за рассмотренных выше ошибок равна

$$\Delta \Phi_v = \pm [\Delta_v + \Phi_v^2 (\Delta_0 + \Delta_u)] = (0,008 + 0,003 \Phi_v^2). \quad (6)$$

Как видно из табл. 1, где приведены численные значения  $\Delta \Phi_v$  (графа 6), расчетная величина этой погрешности не превышает 1,5% для единичных определений  $\Phi_v$ .

### Результаты исследования установки

В конце 1959 г. экспериментально-производственными мастерскими ГГО были изготовлены два экземпляра ВБУ-59.

Показания обеих установок были сравнены между собой, а также с результатами определения ветровых поправочных множителей балансомеров в аэродинамической трубе ГГО.<sup>1</sup> В качестве последних были использованы средние из десятикратных определений, выполненных И. А. Покровской [6].

Таблица 2  
Результаты определения  $\Phi_v$  для балансомера 3324/1 в двух ВБУ-59  
и в аэродинамической трубе ГГО

$v$ м/сек.	$\Phi_1$	$\Phi_2$	$\Phi_1 - \Phi_2$	$\bar{\Phi}_{тр}$	$\bar{\Phi}_{тр} - \Phi_1$	$\bar{\Phi}_{тр} - \Phi_2$	$\bar{\Phi}_{тр} - \Phi_{12}$
1	0,032	1,035	0,003	1,02	0,012	0,015	0,013
5	1,090	1,101	0,011	1,08	0,010	0,021	0,010
10	1,150	1,171	0,021	1,15	0,000	0,021	0,010
15	1,225	1,240	0,015	1,22	0,005	0,020	0,012

<sup>1</sup> Основная работа по испытаниям ВБУ-59 была выполнена младшим научным сотрудником Центральной лаборатории поверки ГГО В. А. Лурье.

Как следует из табл. 2, где приведены результаты этого сравнения, показания установок хорошо согласуются между собой и с показаниями аэродинамической трубы. Наибольшие расхождения не превышают 0,02 или 1,9%.

В табл. 3 представлены результаты испытаний, характеризующие случайные погрешности определения ветровых поправочных множителей в ветробалансомерной установке по результатам десятикратных измерений.

Таблица 3

Средние квадратичные погрешности определения ветровых поправочных множителей балансомеров (%) в ВБУ-59 при различных скоростях воздушного потока

Балансомер		Скорость воздушного потока (м/сек.)				Дата измерения	№ установки	Примечание
№ прибора	сторона	1	5	10	15			
3816	1	0,27	0,34	0,14	0,31	16/XII-59	2	
3816	2	0,15	0,02	0,09	0,03	29/XII-59	2	
3816	1	0,30	0,27	0,20	0,06	4/VIII-60	2	
3816	2	0,19	0,03	0,15	0,14	6/VIII-60	2	
3324	1	0,45	0,16	0,10	0,06	31/X-59	2	Балансомер 3324 устанавливался при каждом определении $\Phi_v$ заново
3812	1	0,13	0,02	0,10	0,03	14/XII-59	2	
3812	2	0,10	0,19	0,42	0,35	14/XII-59	2	
3812	1	0,20	0,31	0,38	0,09	11/XII-59	1	
3812	2	0,23	0,02	0,02	0,12	11/XII-59	1	

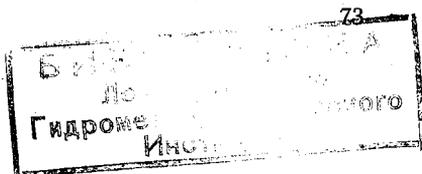
Из данных, приведенных в табл. 3, следует, что средняя квадратичная погрешность определения ветрового поправочного множителя в ветробалансомерной установке, осредненная по всем балансомерам и скоростям воздушного потока, составляет 0,17%. Эта же величина при определении ветрового поправочного множителя в аэродинамической трубе [6] равна 1,6%.

Таким образом, средние значения случайных погрешностей определения ветровых поправочных множителей в ветробалансомерной установке на порядок меньше, чем в аэродинамической трубе.

Максимальные погрешности, соответствующие тройному значению средней квадратичной погрешности (случайных погрешностей, превосходящих  $3\sigma$ , не наблюдалось), не превосходят 1,4% при скорости воздушного потока 1 м/сек., 1% при скорости 5 м/сек., 1,4% при скорости 10 м/сек. и 1,1% при скорости 15 м/сек. Максимальные погрешности в ВБУ-59 примерно в 4—5 раз меньше, чем в аэродинамической трубе.

Из изложенных выше данных следует, что одно измерение ветрового поправочного множителя в ветробалансомерной установке в отношении случайных погрешностей равноценно примерно двум десяткам его определений в аэродинамической трубе.

Из табл. 3 также следует, что при перемещении балансомера (№ 3812) из одной установки в другую и установке его (№ 3324) заново, при каждом определении ветрового поправочного множителя и при повторных определениях множителя через 7 месяцев (№ 3816) случайные погрешности не увеличиваются.



Как уже отмечалось выше, каждая установка для контроля за постоянством ее показаний имеет специальный контрольный балансмер с известными величинами ветровых поправочных множителей. Балансмер № 3816 является контрольным прибором для установки № 2. Результаты определения его ветровых поправочных множителей при изготовлении установки и после ее эксплуатации представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты 10-кратного определения ветрового поправочного множителя для контрольного балансмера 3816 в установке № 2

v м/сек.	1-я сторона			2-я сторона		
	1959 г.	1960 г.	разность	1959 г.	1960 г.	разность
1	1,021	1,021	0,000	1,029	1,029	0,000
2	1,040	1,047	0,007	1,050	1,050	0,000
3	1,051	1,063	0,012	1,060	1,060	0,000
4	1,064	1,079	0,015	1,070	1,070	0,000
5	1,078	1,092	0,014	1,080	1,081	0,001
6	1,091	1,103	0,012	1,090	1,091	0,001
7	1,100	1,112	0,012	1,100	1,101	0,001
8	1,111	1,125	0,014	1,110	1,111	0,001
9	1,120	1,138	0,018	1,120	1,121	0,001
10	1,130	1,149	0,019	1,130	1,131	0,001
11	1,140	1,160	0,020	1,140	1,141	0,001
12	1,151	1,169	0,018	1,150	1,150	0,000
13	1,161	1,179	0,018	1,160	1,162	0,002
14	1,170	1,187	0,017	1,170	1,173	0,003
15	1,177	1,190	0,013	1,180	1,181	0,001

Эти данные показывают, что максимальное изменение величины ветрового поправочного множителя для первой стороны не превосходит 0,02, а для второй — 0,003.

Полученные расхождения были подвергнуты анализу. Причины их могут быть объяснены следующим образом. Градуировка установки по скоростям воздушного потока производилась в декабре 1959 г. при температуре воздуха помещения +18°. При контроле правильности этой градуировки в августе 1960 г. при температуре 22—23° скорости воздушного потока на верхнем их пределе повысились на 0,5 м/сек. Это можно объяснить влиянием температуры на керамическое градуировочное сопротивление в цепи тахогенератора.

Для проверки правильности этого предположения установка была помещена в комнатный термостат и в этих условиях была выполнена скоростная градуировка при скоростях воздушного потока от 12 до 15 м/сек. Нагреву воздуха на 20° соответствовало увеличение скорости воздушного потока на 1,5 м/сек.

Таким образом, изменение температурных условий градуировки на 4—5° объясняет ее смещение на 0,3—0,4 м/сек. и соответствующее этому увеличение ветровых поправочных множителей у контрольного балансмера на 0,2—0,3%, наблюдавшееся для второй стороны балансмера № 3816.

Для значительного уменьшения влияния температуры на показания установки необходимо керамическое сопротивление  $R_1$  заменить манганиновым.

С учетом изложенных выше соображений можно заключить, что скоростная градуировка установки, а вместе с ней и величины ветровых поправочных множителей второй стороны контрольного балансомера хорошо согласуются между собой и подтверждают, что показания установки полностью сохранились.

Показания первой стороны контрольного балансомера с учетом описанного выше влияния температуры оказываются изменившимися на величину до 1,7%. Это изменение показаний балансомера № 3816 в ветробалансомерной установке могло произойти за счет внутренних изменений в режиме передачи тепла у первой стороны балансомера, изготовленного в конце 1959 г.

Дальнейшие длительные наблюдения за работой установки и поведением балансомеров позволят уточнить замеченное нами явление.

При определении ветровых поправочных множителей в ветробалансомерной установке затраты времени уменьшаются более чем в 2 раза по сравнению с определением их в аэродинамической трубе ГГО. При этом установка потребляет в 20 раз меньше электроэнергии. Для ее работы не требуется специального отдельного помещения.

### Выводы

1. Разработаны метод и аппаратура для определения поправочных множителей, учитывающих влияние ветра на показания термоэлектрических балансомеров.

2. Разработанная аппаратура позволяет определять ветровой поправочный множитель балансомера автоматически без какой-либо обработки результатов измерений, вследствие чего затраты времени на поверку балансомеров значительно уменьшаются.

3. Максимальные величины случайных погрешностей определения ветровых поправочных множителей балансомеров описываемым методом не превосходят 1,4% вместо 5—6% в аэродинамической трубе ГГО.

4. Описываемая аппаратура может быть рекомендована для определения ветровых поправочных множителей балансомеров, используемых на сети станций Гидрометслужбы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Янишевский Ю. Д. Актинометрические приборы и методы наблюдений. Гидрометеиздат, Л., 1957.
2. Покровская И. А. Метод определения поправочных множителей, учитывающих влияние ветра на показания термоэлектрических балансомеров и эффективных пиранометров. Труды ГГО, вып. 43, 1954.
3. Руководство по поверке метеорологических приборов. Гидрометеиздат, Л., 1956.
4. Шляндин В. М. Основы автоматики. Госэнергоиздат, М.—Л., 1958.
5. Дьяченко П. В. Установка для поверки ручных анемометров. Труды ГГО, вып. 61, 1956.
6. Покровская И. А. Погрешности поверки термоэлектрических балансомеров. Труды ГГО, вып. 101, 1959.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
П. В. Дьяченко. О причине неоднозначности показаний волосного гигрометра.	3
П. В. Дьяченко и Б. Л. Сущинский. Полуавтоматический гигростат	12
П. В. Дьяченко и А. И. Каменева. Аэродинамическая труба малых скоростей	30
П. В. Дьяченко и А. И. Каменева. Установка для поверки вентиляционных анемометров АСО-3	41
П. В. Дьяченко и В. А. Парнищев. Установка для поверки термографов	47
П. В. Дьяченко и В. А. Парнищев. Термостат для испытаний часовых механизмов самописцев	53
П. В. Дьяченко. Износоустойчивые цапфы анемометров	56
П. В. Дьяченко. О лентах для гелиографов	59
П. В. Дьяченко. Метод и аппаратура для определения поправочных множителей, учитывающих влияние ветра на показания термоэлектрических балансомеров	61

Редактор *В. С. Протопопов*

Техн. редактор *А. Н. Сергеев*

Корректоры: *З. В. Будатова* и *В. В. Мамедова*

---

Сдано в набор 16/1 1961 г.	Подписано к печати 16/IV 1961 г.	Бумага 70×108 <sup>1/16</sup> .
Вум л. 2,38	Печ. л. 6,51. Уч.-изд. л. 6,35.	Тираж 1000 экз. М-08261. Индекс МЛ-213.
Гидрометеорологическое издательство.	Заказ № 38.	Ленинград, В-53, 2-линия, д. № 23.
	Цена 44 коп.	

---

Типография № 8 Управления полиграфической промышленности Ленсовнархоза  
Ленинград, Прачечный пер., д. № 6.