

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

06
Т78

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

ВЫПУСК 83

ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Под редакцией
канд. физ.-мат. наук
М. С. СТЕРНЗАТА

БИБЛИОТЕКА
Ленинградского
Гидрометеорологического
Института



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЛЕНИНГРАД • 1958

АННОТАЦИЯ

Сборник посвящен работам, выполненным главным образом в 1956—1957 гг. В нем дано описание приборов для измерения температуры и влажности воздуха, концентрации радиоактивных примесей в воздухе, определения фазового состояния облака и др.

В сборнике помещена статья, дающая обоснование для выбора интервала осреднения при определении средней скорости ветра.

Сборник рассчитан на научных работников и других лиц, занимающихся приборостроением и метеорологическими измерениями.

НОВЫЙ АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНДЕНСАЦИОННЫЙ ГИГРОМЕТР

Точное определение влажности воздуха представляет большой практический интерес. Однако до сего времени нет еще надежного прибора для измерения влажности воздуха при отрицательных температурах. Острая нужда ощущается и в дистанционных приборах для измерения и регистрации влажности при положительных температурах. В настоящей статье описывается новая конструкция гигрометра, пригодного для дистанционных измерений и регистрации влажности воздуха как при положительных, так и при отрицательных температурах.

В основу действия гигрометра был положен метод точки росы, обладающий рядом преимуществ перед другими методами измерения влажности воздуха.

В обычных гигрометрах точки росы в процессе измерения охлаждаются какую-либо гладкую металлическую поверхность и за температуру точки росы принимают температуру этой поверхности в момент появления или исчезновения на ней следов влаги, сконденсировавшейся из прилегающего слоя воздуха. Однако точное определение температуры точки росы в таких гигрометрах связано с техническими трудностями, поскольку условия конденсации (или испарения) на металлической поверхности могут значительно отличаться от условий конденсации пара в природе и, в частности, над поверхностью воды или льда.

Наиболее точным и физически правильным методом измерения точки росы является такой, при котором слой конденсата на охлаждаемой поверхности, достигнув определенной величины, автоматически поддерживается при температуре равновесного состояния, т. е. когда процессы испарения и конденсации на поверхности конденсата взаимно компенсируются и масса его при постоянной влажности не изменяется [1, 2, 5]. В этом случае процессы конденсации значительно меньше зависят от свойств металлической поверхности, уменьшаются ошибки в определении момента появления росы, ошибки из-за инерционности системы, размера капелек, кристаллов и т. д. и обеспечивается высокая однородность полученных результатов измерений. В автоматическом гигрометре точки росы легче определить фазу конденсата при отрицательных температурах (когда конденсат может существовать в виде слоя воды или слоя льда, упругость водяного пара над которым будет различна). При постоянном наличии пленки конденсата фазовое состояние может быть определено по внешнему виду конденсата или по скорости его испарения после отключения холодильника (скорость испарения воды во всех случаях значительно превосходит скорость испарения льда с той же поверхности).

Метод точки росы в настоящее время применяется при решении целого ряда научно-технических задач, особенно в тех случаях, когда содер-

жание водяного пара в атмосфере очень мало. Это объясняется следующими основными преимуществами метода:

1. Метод точки росы является абсолютным способом измерения влажности; показания гигрометра точки росы практически не зависят от изменения атмосферного давления, скорости ветра и температуры среды. Поэтому конденсационные гигрометры не требуют систематического сличения их с образцовыми гигрометрами и могут сами применяться в качестве эталонов.

2. Гигрометры точки росы обладают большой чувствительностью и являются наиболее пригодными для определения малых количеств влаги, в особенности при отрицательных температурах (вплоть до -70°). Особые преимущества имеет автоматический гигрометр точки росы. Погрешность измерения температуры точки росы в нем может быть сведена к минимальной величине вплоть до $0^{\circ},1$. При низких отрицательных температурах эта погрешность возрастает незначительно.

Таким образом, автоматический конденсационный гигрометр может служить в качестве универсального гигрометра для достаточно точных измерений влажности, меняющейся в широком диапазоне (в атмосфере от 20 до 0,01 мб).

3. Инерционность автоматического гигрометра даже при отрицательных температурах может быть небольшой и определяется в несколько секунд или десятков секунд.

Недостатком существующих конструкций автоматического гигрометра точки росы следует считать относительную сложность и ненадежность системы регулирования температуры конденсационной поверхности вблизи точки росы, а также наличие громоздких или неудобных в эксплуатации охлаждающих систем.

В описываемой конструкции автоматического гигрометра применен новый способ безконтактного и плавного регулирования температуры зеркала гигрометра в сочетании с электронной системой охлаждения, что дало возможность надежно и с большой точностью поддерживать постоянство толщины слоя конденсата и определять температуру термодинамического равновесия водяного пара на его поверхности. При разработке нового гигрометра были рассмотрены три основных вопроса:

1. Изыскание наиболее простой и эффективной конструкции охлаждающей системы, которая позволила бы легко автоматизировать процесс измерения.

2. Разработка рациональной схемы регулирования температуры охлаждаемой поверхности вблизи точки росы.

3. Изыскание и разработка измерителя температуры конденсационной поверхности.

Для решения первой проблемы были использованы достижения современной физики в области полупроводников, позволившие применить принципиально новый способ охлаждения в гигрометре — термоэлектрический холодильник.

При разработке системы регулирования температуры в качестве индикатора росы был выбран фотоэлемент. В качестве регулятора температуры точки росы в первом варианте использовалось чувствительное поляризованное реле [3]. Затем была разработана схема плавного и безконтактного регулирования температуры с применением магнитного усилителя, которая и легла в основу конструкции прибора.

При разработке измерителя температуры точки росы были рассмотрены термометры сопротивления и термопары и в результате применено полупроводниковое микротермосопротивление.

Термоэлектрический холодильник (краткая теория, конструкция, технология изготовления)

Теория термоэлектрического охлаждения впервые была развита академиком А. Ф. Иоффе и в настоящее время подробно описана в литературе [3, 4].

Принцип действия термоэлектрического холодильника основан на эффекте Пельтье, который особенно сильно проявляется в полупроводниках и кратко сводится к следующему. Если в цепи, состоящей из двух разнородных полупроводников (термопаре), протекает электрический ток I , то на одном из ее спаев в течение времени t выделяется, а на другом поглощается некоторое количество тепла Q_{Π} (теплота Пельтье)

$$Q_{\Pi} = \pm Pit, \quad (1)$$

где P — коэффициент Пельтье, характеризующий данную пару и связанный с коэффициентами термоэлектродвижущей силы ветвей термопары α_1 и α_2 и абсолютной температурой спаев T_1 соотношением

$$P = (\alpha_1 - \alpha_2) T_1. \quad (2)$$

Если спай термопары, на котором выделяется тепло, соединить с теплоотводящим радиатором и таким образом поддерживать его путем интенсивного теплообмена при температуре окружающей среды T_0 , то второй спай, на котором поглощается тепло, будет охлаждаться до такой температуры T_1 , при которой теплота, поступающая на него из окружающей среды и по ветвям термопары, скомпенсирует поглощающуюся теплоту Пельтье, и система будет находиться в равновесии.

Обозначим приток тепла от окружающей среды через Q_0 , суммарную теплопроводность ветвей термопары через K и сопротивление термопары, учитывающее теплоту Джоуля, — через R . Тогда оптимальный ток и максимальная разность температур на термоэлементе будут:

$$I_0 = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2) T_1}{R}, \quad (3)$$

$$(T_0 - T_1)_{\max} = \frac{1}{2} T_1^2 \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)}{KR} - \frac{Q_0}{K}. \quad (4)$$

Полагая для простоты, что ветви термопары имеют одинаковую удельную электропроводность σ , теплопроводность χ , одинаковое сечение и длину, и вводя обозначение $\alpha = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}$ для условий идеальной теплоизоляции холодного спаев ($Q_0 = 0$), получим

$$\Delta T_{\max} = (T_0 - T_1)_{\max} = \frac{1}{2} T_1^2 Z, \quad (5)$$

где $Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\chi}$ величина, характеризующая эффективность термопары как холодильника. Практически эта величина будет несколько меньше рассчитанной, так как в реальных условиях $Q_0 \neq 0$.

В Институте полупроводников АН СССР была разработана технология изготовления термоэлементов, имеющих $Z \approx 1,7 \cdot 10^{-3}$ град. $^{-1}$ и обеспечивающих снижение температуры, например при $T_0 = 328^\circ$ до $\Delta T_{\max} = 60^\circ$. На этой основе были разработаны различные конструкции микрохолодильников к гигрометру, показанные на рис. 1 а, 1 б. Холодильная пара составляется из двух разнородных образцов, спрессованных в виде прямоугольных брусков. Один образец характеризуется электронной проводимостью, другой — дырочной проводимостью. С одного конца

образцы спаиваются перемычкой, другие концы припаиваются к массивным медным пластинам — радиатору. К этим же концам подключается источник тока. Если необходимо увеличить мощность холодильника и повысить перепад температур ΔT_{max} , то такие пары соединяются последовательно и из них составляется двухкаскадная батарея. Нижний каскад делается более мощным и вся его охлажденная поверхность с помощью медной пластины (коллектора) используется для отвода тепла с горячего спая верхнего, менее мощного каскада.

В последнее время в содружестве с указанным институтом была разработана более рациональная и эффективная конструкция двухкаскадного холодильника, показанная на рис. 1 б.

Образцы для второго каскада были выбраны меньшего сечения и горячими концами для отвода тепла припаяны непосредственно к холодным спаям нижних, более мощных пар. Сечения образцов рассчитываются так, что по обеим параллельным ветвям протекают токи, близкие к оптимальным значениям для верхнего и нижнего каскадов. Отсутствие

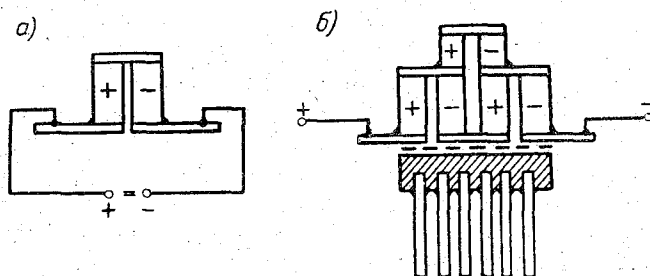


Рис. 1. Конструкции термоэлектрического холодильника.

каких-либо изоляционных перемычек, перекрывающих потоки тепла, значительно увеличивает эффективность работы термобатареи. К радиатору такая батарея приклеивалась тонким слоем клея БФ-2 (на рис. 1 б показан пунктиром).

Для изготовления образцов обеих ветвей в определенной пропорции и составе используются исходные вещества: теллур, сурьма, селен, свинец и висмут. Прессовка, сборка и проверка образцов связана с известной спецификой и, по методике Института полупроводников, кратко сводится к следующему. Исходное синтезированное вещество размельчается до крупинок размером $0,1 \text{ мм}^3$ (консистенция песка). Затем в зависимости от требуемых размеров образцов приготавливаются соответствующие навески. Так как готовые образцы плохо лудятся, то к торцам их впрессовывают тонкие медные или никелевые пластинки, к которым легко припаиваются металлические пластинки. Перед прессовкой пластины, предназначенные для торцов образца, залуживаются тонким слоем висмута. Толщина пластинок $1-1,5 \text{ мм}$, ширина на $0,1 \text{ мм}$ меньше ширины окна прессформы. Две пластины закладываются в торцы окошка прессформы лужеными поверхностями внутрь. Между ними засыпается навеска размельченного вещества и производится спрессование. Прессовка производится при температуре 370° и давлении $3-5 \text{ т/см}^2$ в течение 3 минут.

Можно производить прессовку и без контактных пластинок. После прессовки боковые грани пластин или торцы образцов лудятся с помощью паяльника сплавом висмут — олово ($\text{Bi} - 80\%$, $\text{Sn} - 20\%$) при температуре не выше $150-160^\circ$. Флюсом служит чистый стеарин. Лужение можно производить и чистым висмутом, используя для этой цели паяльник с жалом из никеля.

Для контроля спрессованных образцов применяется специальная измерительная установка, позволяющая определять величины, которые входят в параметр Z , характеризующий эффективность термопары.

Готовые и проверенные образцы с лужеными торцами собираются в батареи или пары. В батарее последовательно чередуются электронные (—) и дырочные (+) образцы. Между образцами клеим «Рapid» или БФ-2 проклеиваются изолирующие прокладки из бумаги или картона. Для создания ровной поверхности производится притирка поверхности батареи на притирочной плите мелким наждачным порошком. Чистка батареи производится ацетоном или бензолом. Конструктивно охлаждающийся спай термопары гигрометра выполнен в виде металлического зеркала и одновременно служит в качестве конденсационной поверхности.

При вентиляции приемника разность температур на термопаре будет несколько ниже максимальной величины вследствие усиленного теплообмена спая с окружающей средой. Поток тепла на холодный спай Q_0 будет пропорционален поверхности зеркала, скорости вентиляции и депрессии точки росы ($T_0 - \tau$).

Если эти величины будут чрезмерно велики, то вследствие большого притока тепла к спая, термопара может не обеспечить понижения температуры зеркала до самого низкого значения точки росы, которое нужно измерить. Чтобы избежать этого и повысить эффективность работы холодильника в гигрометре, необходимо уменьшать отношение $\frac{Q_0}{K}$, как это видно из уравнения (4), т. е. уменьшать приток тепла к спая и увеличивать теплопроводность термохолодильника. Выбор оптимальных значений этих величин определяется рациональной конструкцией термоэлектрического холодильника и камеры гигрометра. Камеру целесообразно устроить так, чтобы исследуемый воздух направлялся с помощью сопла тонкой струей только к поверхности спая. Было установлено, что скорость воздушного потока должна лежать в пределах 0,5—2 м/сек.

Для увеличения теплопроводности охлажденной пары необходимо увеличивать сечение ее ветвей и уменьшать их длину. Это приводит обычно к увеличению оптимального тока, что в большинстве случаев нежелательно. Кроме того, с увеличением площади холодильника увеличивается приток тепла к нему от окружающей среды. Можно полностью удовлетворить обоим требованиям, т. е. обеспечить достаточную теплопроводность K при небольшом рабочем токе и малом сечении холодного спая, если применить рассмотренную выше конструкцию двухкаскадного холодильника, составленного в нижней части из ряда тонких термопар, соединенных последовательно, и в верхней — из одной пары, к которой в качестве перемычки припаивается медное хромированное зеркало. Нижняя часть может быть теплоизолирована и скреплена путем заливки эпоксидной смолой или гудроном.

Следует отметить, что эффективность работы термоэлектрического холодильника несколько снижается (на 5—10°) при отрицательных температурах воздуха. Это объясняется тем, что параметр Z , характеризующий свойства полупроводников, зависит от температуры среды и уменьшается с ее понижением. Однако это обстоятельство не имеет существенного значения, так как с понижением температуры максимально возможная депрессия точки росы будет значительно меньше, чем при положительных температурах.

На рис. 2 показаны кривые охлаждения термоэлектрического холодильника, примененного в гигрометре. Как видно из этих кривых, однокаскадная термопара (кривая I) обеспечивает понижение температуры воздуха на 25—30°. Двухкаскадная термопара дает снижение до 40° (кривые II, III). Кривые снимались при температуре воздуха $T_0 = 20^\circ$ и ско-

рости обдува $v \approx 0,5$ м/сек. Легко видеть, что указанный перепад температур $\Delta T = T_0 - T_1$, создаваемый термопарой, вполне достаточен для достижения точки росы при любой встречающейся в атмосфере влажности. Наибольший перепад температур ΔT на спаях холодильника по-

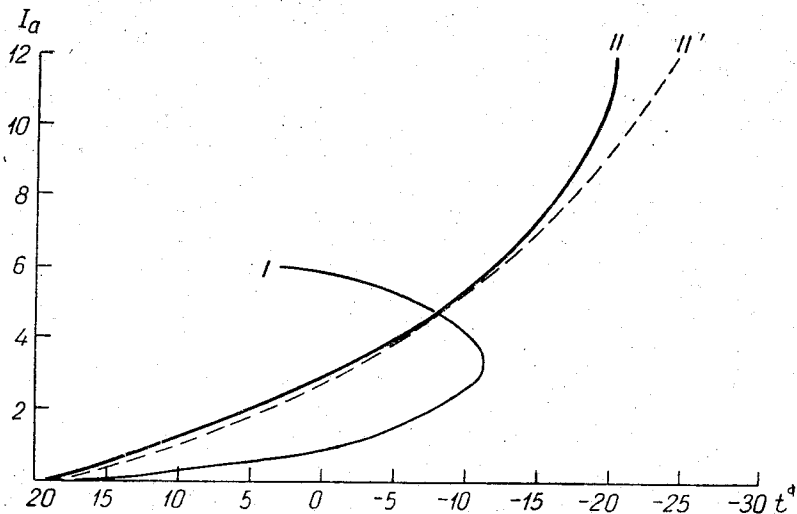


Рис. 2. Зависимость температуры зеркала гигрометра от величины питающего тока для одно- и двухкаскадного холодильника.

требуется при самом сухом воздухе и высоких положительных температурах. Так, например, при относительной влажности $f = 20\%$ и температуре воздуха $t^\circ = 50^\circ$ точка росы будет равна $\tau = 20^\circ$. Следовательно,

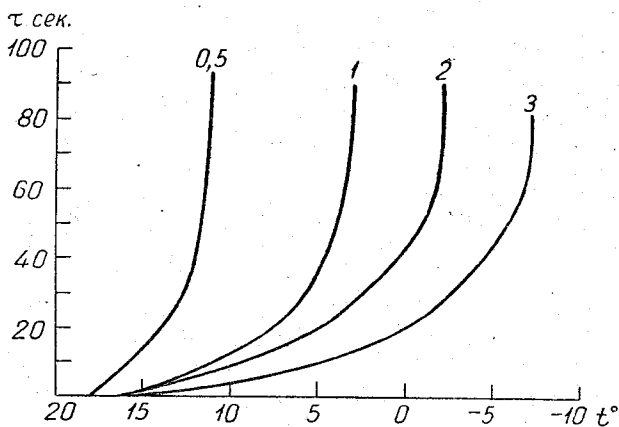


Рис. 3. Зависимость степени охлаждения зеркала гигрометра от времени для однокаскадного холодильника при значениях питающего тока 0,5, 1, 2 и 3 а.

депрессия точки росы и необходимая величина перепада температур на холодильнике в этом случае будет

$$\Delta T = T_0 - \tau = 30^\circ.$$

Другой важной характеристикой холодильника является его инерционность, т. е. время установления стационарного состояния на спаях после подключения к источнику тока. Из теории термоэлектрического

охлаждения следует, что инерционность пары обратно пропорциональна квадрату ее длины [3].

На рис. 3 приведены кривые охлаждения термоэлектрического холодильника, характеризующие поведение его во времени. Как видим, время установления на спае самой низкой температуры лежит в пределах 60—100 сек.

Система регулирования температуры зеркальца

Применение нового принципа охлаждения позволило значительно упростить конструкцию гигрометра и сравнительно просто осуществить автоматическое регулирование температуры зеркальца вблизи точки росы.

Действие новой системы регулирования температуры основано на использовании полупроводникового охладителя в сочетании с синхронно следящей системой, состоящей из фотоэлектрического индикатора «толщины» слоя конденсата и одноканального магнитного усилителя (см. рис. 4). В данной системе величина тока, питающего термопару, может плавно изменяться в соответствии с изменениями точки росы τ окружающего воздуха. При этом на спае термопары поддерживается перепад температур $\Delta T = T_0 - \tau$, при котором тонкий слой конденсата на зеркальце находится в равновесии с водяным паром воздуха.

Наибольший перепад температур ΔT будет при низких значениях точки росы τ (см. рис. 2), наименьший — при высоких значениях τ . Процесс регулирования происходит следующим образом. В установившемся состоянии луч света, направленный от осветителя на зеркальце, отразившись от поверхности конденсата, попадает на фотоэлемент и с помощью усилителя преобразуется в управляющий сигнал. Величина управляющего сигнала определяется интенсивностью светового потока, которая в свою очередь зависит от рассеивающих свойств конденсата и его толщины. Управляющий сигнал приводит в действие магнитный усилитель тока, питающий холодильник, и устанавливает величину питающего тока в соответствии с выбранным значением толщины конденсата на зеркальце. При этом температура на зеркальце должна автоматически устанавливаться равной температуре равновесного состояния на поверхности осадка.

При всех условиях следящая система вначале настраивается на максимальную чувствительность, т. е. на минимальную толщину слоя конденсата. Это осуществляется с помощью регулятора толщины, в качестве которого служит потенциометр R в цепи смещения усилителя фототока.

Сразу после включения прибора через полупроводниковый холодильник протекает максимальный ток и зеркальце быстро охлаждается. При появлении следов конденсата на зеркальце произойдет затемнение фотоэлемента, что в свою очередь вызовет резкое уменьшение тока в цепи термопары. В результате начнется повышение температуры зеркальца вследствие притока тепла от окружающего воздуха и увеличение испарения с поверхности конденсата. Толщина слоя конденсата уменьшится до величины, соответствующей пороговой чувствительности следящей системы. Величина тока в цепи термопары при этом примет определенное значение, необходимое для поддержания температуры конденсата, равной температуре подвижного равновесия, когда процессы конденсации и испарения на его поверхности взаимно компенсируются и толщина конденсата остается неизменной.

При изменении упругости водяного пара над зеркальцем (при изменении влажности воздуха) произойдет изменение толщины слоя конден-

сата (начнется испарение или конденсация). Это вызовет изменение величины управляющего сигнала и тока через термопару так, что система снова будет балансироваться при той же толщине конденсата, но уже при другом значении равновесной температуры на зеркальце. Температура подвижного равновесия измеряется с помощью электротермометра, смонтированного в зеркальце. По ней находится влажность из таблиц или по шкале заранее проградуированного измерительного прибора:

При достаточно большой чувствительности следящей системы схема может реагировать на малейшие изменения толщины слоя конденсата и регулировать (подгонять) температуру зеркальца при точке росы с большой точностью. Как показал опыт, по самым грубым подсчетам такая схема дает возможность регулировать температуру точки росы на зеркальце с точностью более чем $\pm 0,2 \div 0,3$.

Очевидно, еще большую точность регулирования можно получить, используя балансную схему фотоэлектрического измерителя толщины конденсата с фазочувствительным выходом [5], реагирующим на направление изменения толщины конденсата относительно определенного уровня, и применением более сложной двухтактной схемы магнитного усилителя, питающего термопару.

Любопытно отметить, что предложенная схема может иметь самостоятельный интерес в технике автоматического регулирования температуры, если вместо фотоэлектрического индикатора росы на вход магнитного усилителя включить, например, измерительную схему с термистором, служащим в качестве эталона температуры.

Измерение температуры зеркальца

Чувствительный элемент для измерения температуры поверхности зеркальца должен иметь большую стабильность градуировки, обладать достаточной механической прочностью при небольших габаритах и иметь хороший тепловой контакт с зеркальцем гигрометра. Лучше всего поставленным требованиям удовлетворяет термопара, составленная, например, из тонких проволочек манганина и константана. Один спай такой термопары укрепляется на поверхности или в теле зеркальца, а другой помещается в термостат.

Единственным недостатком такого способа измерения является необходимость применять очень чувствительный измерительный прибор или электронный усилитель, так как коэффициент термоэлектродвижущей силы (термо-э. д. с.) термопары составляет всего 41 мкв/град. Практически термопару удобно применять в комплекте с автоматическим потенциометром. С целью увеличения чувствительности измерения были использованы полупроводниковые термопары, имеющие коэффициент термо-э. д. с. от 150 до 400 мкв/град.

Хрупкость материала, не позволяющая сделать достаточно тонкие и длинные ветви и тем самым устранить большие потоки тепла по ветвям термопары, а также неудобство градуировки заставили отказаться от этого метода. Были сделаны попытки также применить миниатюрный термометр сопротивления, изготовленный из платины, никеля или вольфрама и укрепленный вблизи зеркальца или на его поверхности. Однако изготовление и установка миниатюрного проволочного термометра на небольшой поверхности зеркальца ($\sim 0,3 \text{ см}^2$) связаны с техническими трудностями.

Очевидно, что применение даже очень совершенных и простых чувствительных элементов и устройств для измерения температуры зеркальца гигрометра всегда связано с усложнением конструкции прибора. Поэтому были начаты изыскания способа измерения точки росы t на

зеркальце, основанного на использовании термометрических свойств самих охлаждающих термопар. Задача по существу сводилась к измерению разности температур спаев термопары ($\Delta T = T - \tau$) при наличии росы (льда) на одном из ее спаев (зеркальце) с помощью этой же термопары. Были установлены две возможности непосредственного измерения величины $T - \tau$:

1) измерение $T - \tau$ по величине термо-э. д. с., возникающей в цепи охлаждающей термопары при наличии разности температур на ее спаях;

2) измерение $T - \tau$ по величине электрического тока, питающего термопару.

Первый способ основан на обратимости явлений Пельтье и термоэлектричества. Это приводит к тому, что одновременно с поглощением и выделением теплоты Пельтье на спаях термоэлемента, подключенного к источнику тока, на зажимах источника возникает термо-э. д. с. обратной полярности, пропорциональная разности температур $T - \tau$. Используя различие в полярности источника тока и термо-э. д. с., последнюю можно выделить и измерить каким-либо способом. Проще, однако, для этой цели отключать термопару от источника тока в момент появления росы на холодном спае и подключать ее к измерительному прибору — милливольтметру. Тогда по максимальному отклонению стрелки-указателя можно судить о величине $T - \tau$.

Сравнительные наблюдения и анализ показывают, что отсчеты точки росы по милливольтметру могут быть достаточно точными лишь при условии идеального отвода тепла с горячего спая полупроводниковой термопары, когда $\Delta T' = T - T_0 = 0$ и его температура равна температуре воздуха. Практически же $\Delta T'$ не равна нулю и изменяется при различных внешних условиях в пределах $0^\circ,5$. Кроме того, при таком способе отсчета могут быть ошибки вследствие забрасывания (на 2—3 деления) стрелки милливольтметра при подключении к нему охлаждающей термопары.

Второй способ измерения перепада температур $T - \tau$ на термопаре по величине питающего тока может быть применен лишь в системе плавного регулирования с магнитным усилителем. Для измерений $T - \tau$ в цепь питания термопары должен быть включен амперметр или миллиамперметр с шунтом. Шкала амперметра градуируется по температуре точки росы путем сравнения с показаниями какого-либо измерителя температуры на зеркальце.

Точность измерения точки росы этим способом также определяется условиями теплообмена на горячем спае термопары и может зависеть от ряда других факторов, степень влияния которых учитывать трудно.

Таким образом, применение последних двух рассмотренных методов, хотя и представляет большой практический интерес, но требует дополнительных исследований. В результате дальнейших изысканий целесообразной конструкции термочувствительного элемента оказалось, что наиболее приемлемыми по простоте конструкции и обеспечению необходимой точности измерений температуры зеркальца гигрометра являются полупроводниковые микротермосопротивления (микротермисторы).

Микротермисторы уже с успехом используются в медицине, биологии и других отраслях науки и техники. В настоящее время разработана технология, позволяющая выпускать микротермисторы с различными параметрами и с высокой стабильностью их во времени. Срок службы их практически безграничен; диапазон измеряемых температур лежит в пределах $-60, +120^\circ$.

Микротермисторы изготавливаются герметизированными с относительно небольшим разбросом по параметрам и принципиально могут быть взаимозаменяемыми.

В новой конструкции гигрометра использовались микротермисторы

типа МТ-54, разработанные в Агрофизическом институте АН СССР. Сопротивление термистора изменяется от 1000 до 30 000 ом в диапазоне температур $+30, -60^\circ$. Постоянная времени в спокойном воздухе составляет 1,5 сек.; мощность рассеивания в воздухе $-20, -30$ мквт. В данном случае мощность рассеивания микротермистора может быть несколько увеличена, так как чувствительный элемент смонтирован в тело металлического зеркальца гигрометра, с которого интенсивно отводится тепло.

Чувствительный элемент выполнен в виде шарика диаметром 0,5 мм, защищенного тонкой стеклянной оболочкой (50 мк). Шарик укреплен на конце стеклянной трубки-держателя, через которую проходят подводящие провода. Для устранения потоков тепла со стороны держателя между чувствительным элементом и трубкой помещается теплоизоляция. Контакт микротермистора с зеркальцем осуществляется путем заливки припоем чувствительного элемента в гнезде, сделанном на поверхности зеркальца. Такой способ крепления чувствительного элемента у поверхности зеркальца обеспечивает надежный тепловой контакт. Влияние стеклянной оболочки на точность измерений, как показал опыт, пренебрежимо мало. Для измерений температуры микротермистор включается в мостовую измерительную схему. Из-за малой допустимой мощности рассеяния микротермистора обычные мостовые схемы требуют применения высокочувствительного гальванометра (чувствительностью не менее 10^{-7} а/дел.). Поэтому оказалось целесообразным применить мостовую схему с более грубым прибором и усилителем постоянного тока в измерительной диагонали. В качестве усилителя использовался более надежный и простой по конструкции магнитный усилитель.

Описание прибора

Разработанный на основе изложенного материала прибор предназначен для дистанционных измерений или регистрации точки росы и температуры окружающего воздуха. Относительная влажность определяется по показаниям прибора в пределах от 20 до 100% с помощью таблиц. Прибор позволяет определять относительную влажность при положительных температурах с точностью 2—3% и при отрицательных температурах (до -60°) с точностью 2—7%. Конструктивно гигрометр выполнен в виде двух отдельных блоков: приемной части (рис. 4, 5) и измерителя, или регистратора с блоком питания (рис. 6). Блоки соединяются между собой электрическим кабелем. Приемная часть (рис. 4) состоит из холодильника с зеркальцем, вентиляционного устройства, системы регулирования температуры зеркальца и индикатора настройки.

Термоэлектрический холодильник — полупроводниковый термоэлемент $ПТ$, холодный спай которого выполнен в виде медного хромированного зеркальца с смонтированным в него микротермистром R_t . Холодильник рассчитан на оптимальный ток до 2,5 а и максимальный перепад температур 25—30°. Конструктивно он выполняется в виде одной пары (см. рис. 1 а) или двухкаскадной термобатареи (см. рис. 1 б); в последнем случае при сухом воздухе к точкам а, б схемы (рис. 4) можно подключить аккумулятор. Холодильник устанавливается в заборной камере зеркальцем вниз и радиатором наружу. Радиатор защищается от воздействия прямых солнечных лучей и механических повреждений тенью экраном или жалюзийной защитой в виде колец. Защита может сниматься вместе с крышкой. Для повышения эффективности отвода тепла с ребер радиатора целесообразно применить искусственную вентиляцию. В этом случае радиатор можно поместить в вентиляционном канале внутри корпуса прибора.

Устройство для подвода и протягивания воздуха вблизи поверхности зеркала состоит из заборной трубки-сопла, впаянной в камеру, и вентилятора. Вентилятор выполнен в виде турбинки, установленной в рукаве камеры, и приводится во вращение электрическим моторчиком постоянного тока. С помощью реостата R_5 в цепи питания мотора можно регулировать скорость вращения вентиляции зеркала в пределах $0,5 + 3$ м/сек. Воздух к камере может подводиться также с помощью длинной резиновой трубки, одеваемой на заборную трубку.

В систему регулирования температуры входит осветитель O , фотоэлемент Φ , ламповый усилитель L и магнитный усилитель тока Y_1 . Осветитель состоит из электрической лампочки и конденсатора, создающего узкий пучок света на зеркальце. В качестве фотоэлемента выбран вакуум-

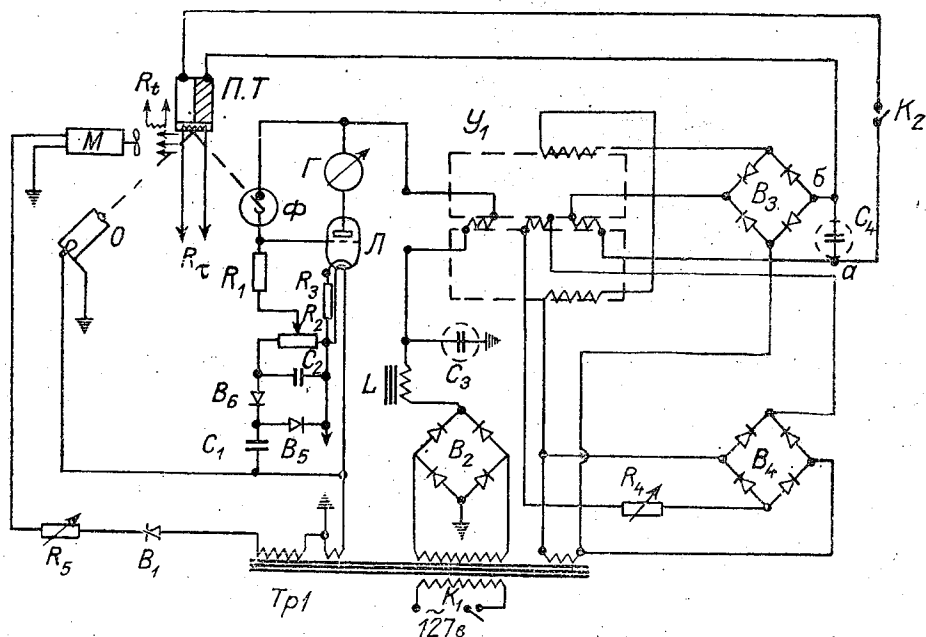


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема приемной части гигрометра.

ный типа СЦВ-3, обладающий высокой стабильностью своих характеристик по времени и в широком диапазоне температур.

Осветитель и фотоэлемент жестко смонтированы в нижней части камеры так, что луч света направляется под небольшим углом к вертикали вверх на зеркальце и, отразившись от его поверхности, попадает в окно фотоэлемента. Для повышения чувствительности и надежности системы регулирования необходимо иметь достаточно большую величину управляющего сигнала, снимаемого с фотоэлемента. Поэтому здесь применена комбинация лампового и магнитного усилителя фототоков. Ламповый усилитель фототока собран на лампе 6Ж4, работающей в триодном режиме. Для повышения стабильности работы каскада включено катодное сопротивление R_3 , создающее отрицательную обратную связь.

Отрицательное смещение на сетку лампы подводится от цепи накала через сухой выпрямитель, собранный по схеме удвоения напряжения. Режим работы и параметры усилителя выбраны так, что при образовании достаточно толстого слоя осадка на зеркальце лампа запирается и анодный ток ее уменьшается до нуля. Настройка усилителя на оптимальную чувствительность производится путем изменения смещения на сетке

лампы вращением движка потенциометра R_2 , который служит регулятором толщины конденсата.

Магнитный усилитель собран на двух тороидальных сердечниках из высококачественного пермаллоя. Каждый сердечник состоит из набора

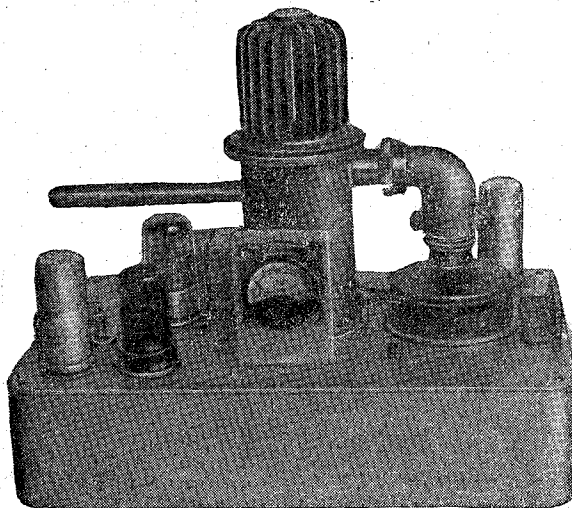


Рис. 5. Общий вид приемной части гигрометра (без крышки).

тонких, изолированных друг от друга пластин кольцевой формы. Набор пластин помещается в алюминиевую оправу и заливается гудроном. При

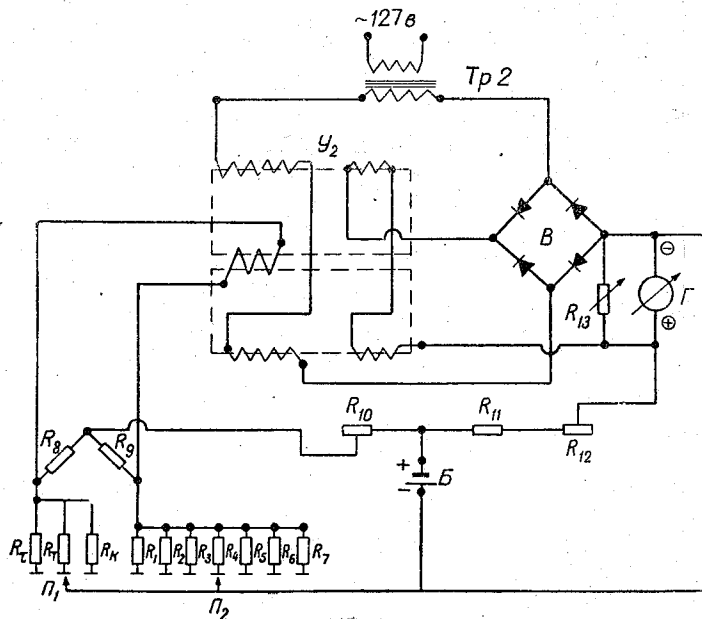


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема измерительной части прибора.

такой конструкции сердечников магнитный усилитель не боится ударов и толчков. Снаружи сердечники покрываются лако-тканью, и на них укладываются обмотки. Обмотки обратной связи, подмагничивания и нагрузочная располагаются симметрично на обоих сердечниках. Управляющая

обмотка, состоящая из большого числа витков, наматывается сразу на оба сердечника. Симметричные обмотки соединяются так, что магнитные потоки в обоих сердечниках направлены навстречу друг другу и переменная составляющая в управляющей обмотке практически отсутствует. Коэффициент усиления магнитного усилителя по току равен $4000 \div 5000$, постоянная времени — 0,2 сек. Магнитный усилитель рассчитан для питания от сети переменного тока частотой 50 гц. Параметры усилителя подобраны так, что при изменении входного сигнала (сигнала на выходе лампового усилителя) от нуля до 500 мка величина тока, питающего термомоделю, изменяется от 0,01 до 2,5 а.

В качестве индикатора настройки и контроля режима работы гигрометра служит миллиамперметр Γ , включенный на выходе лампового усилителя последовательно, с управляющей обмоткой магнитного усилителя.

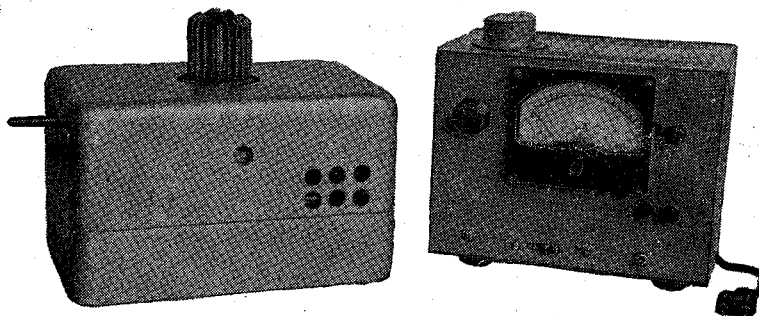


Рис. 7. Общий вид прибора.

Микротермистор R_t , установленный в канале заборника, служит для измерения температуры воздуха.

Измерительная часть (рис. 6) представляет собой неравновесный мост, состоящий из проволочных сопротивлений R_k, R_1, R_2, R_3 и т. д. до R_{13} . Переключатель моста Π_1 служит для переключения измерителя на отсчет температуры точки росы, температуры воздуха и на контроль. Переключатель Π_2 предназначен для переключения диапазонов измерений. Сопротивление R_{10} служит для регулировки чувствительности моста, R_{12} — для регулировки нуля измерителя. Измерителем служит микроамперметр Γ , проградуированный в значениях температуры точки росы.

Магнитный усилитель $У_2$ служит для усиления сигнала в диагонали измерительного моста.

Выпрямитель B — мост обратной связи усилителя.

Батарея питания моста B служит одновременно и для компенсации постоянной составляющей в измерительной цепи усилителя.

Блок питания гигрометра состоит из трансформаторов Tr_1 и Tr_2 и фильтра LC_3 (Tr и LC_3 для удобства обозначены на схеме приемной части). Данные схемы гигрометра приведены на рис. 4, 6.

Общий вид установки показан на рис. 7. Питание установки осуществляется от сети переменного тока напряжением 110—127—220, стабилизированным с точностью $1 \div 1,5\%$. В качестве регистратора к гигрометру может быть присоединен самописец с падающей дужкой типа МСЦ, самопишущие гальванометры типа СГ-17, электронные мосты и потенциометры типа ЭПП-09, ЭМ и др.

Анализ ошибок измерения

Погрешность в определении влажности гигрометром точки росы может быть найдена из уравнения Клаузиуса — Клапейрона, характеризующего зависимость точки росы от упругости водяного пара. Согласно этому выражению, абсолютная ошибка в определении упругости водяного пара будет зависеть от погрешности $\Delta\tau$, допущенной при измерении температуры точки росы, величины определяемой упругости пара e и квадрата абсолютной температуры точки росы T_τ^2 , т. е.

$$\Delta e = e \frac{\Delta\tau}{T_\tau^2} \frac{L}{AR}.$$

Из формулы можно видеть, что относительная ошибка в определении упругости водяного пара $\frac{\Delta e}{e}$ с уменьшением температуры возрастает незначительно. Это обстоятельство выгодно отличает метод точки росы от всех других методов и позволяет с успехом использовать его также при низких отрицательных температурах. Погрешность в определении относительной влажности будет складываться из ошибок в определении упругости водяного пара воздуха e и максимальной упругости пара E . Последняя в свою очередь определяется погрешностью определения температуры воздуха и может быть найдена из таблиц. Погрешность в определении относительной влажности f , вызванная только неточностью определения упругости пара e , может быть вычислена по формуле

$$\Delta f = \frac{\Delta e}{E} \cdot 100 = f \frac{L}{AR} \frac{\Delta\tau}{T_\tau^2}.$$

Наибольшая погрешность Δf получается при $f \simeq 100\%$ и при низких температурах. Погрешности, вычисленные для различных значений f и $\Delta\tau$, приведены ниже. Как видим, при одной и той же точности измерения точки росы τ погрешность Δf при $\tau = -80^\circ$ только вдвое превышает величину погрешности при $\tau = 0^\circ$.

$\Delta\tau$	$f\%$	τ	
		0°	-80°
0,1	100	0,82	1,64
0,4	100	3,3	6,6
0,4	10	0,33	0,66

Даже при относительно грубом определении точки росы ($\Delta\tau = 0^\circ,4$) погрешность определения влажности не превышает 7%.

В случае автоматического гигрометра точка росы определяется с точностью 0,1—0°2. Поэтому можно ожидать, что ошибки в определении влажности Δf % даже при температуре $\tau = -80^\circ$ не превышают 2—3,5%.

Кроме этих основных ошибок, в гигрометре могут возникнуть погрешности вследствие: а) адиабатического расширения воздуха в камере гигрометра при протяжке воздуха, б) влияния кривизны капель (размеров кристаллов) конденсата и в) инерционности гигрометра.

Понижение давления из-за разрежения в камере гигрометра, как показал опыт, не может быть более 10 мб и поправка к показаниям прибора в общем невелика. Она может быть вычислена из уравнения Клаузиуса — Клапейрона.

При изменении давления в камере на величину ΔP упругость водяного пара изменится на величину Δe , причем

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta e}{e},$$

следовательно:

$$\Delta \tau = \frac{AR}{L} T^2 \frac{\Delta P}{P}.$$

Из этой формулы видно, что погрешность в определении точки росы $\Delta \tau$ мало зависит от ΔP . Так, например, при изменении атмосферного давления даже на 500 мб при $t^\circ = -40^\circ$ $\Delta \tau$ составляет всего $0^\circ,4$.

Погрешность из-за кривизны капель конденсата обусловлена тем, что упругость водяного пара над выпуклой поверхностью выше, чем над плоской. Поэтому при допущении, что с исследуемым воздухом соприкасается плоская поверхность зеркала, будет некоторая ошибка в измерении точки росы. Опыт, однако, установлено, что эти величины ошибок очень малы и при максимально возможном радиусе капель 1 мк не превышают сотых долей градуса. А самые мелкие капельки на конденсате имеют размеры ~ 7 мк. В автоматических гигрометрах эта погрешность практически отсутствует.

Инерционность гигрометра можно уменьшить следующими методами:

- 1) увеличением скорости вентиляции приемника до 2 м/сек., что особенно важно при низких значениях точки росы (в случае сухого воздуха). При этом в камере лучше устанавливать сопло, подводящее струю воздуха непосредственно к зеркальцу гигрометра;
- 2) увеличением темпа охлаждения;
- 3) уменьшением массы зеркала и массы полупроводника);
- 4) увеличением чувствительности следящей системы с тем, чтобы она реагировала на малейшее изменение «толщины» слоя конденсата. В гигрометре описанной конструкции при скорости вентиляции 1 м/сек. инерция составляет 10 сек. при температуре от -10 до 12° и менее 2—3 сек. при положительных температурах. Таким образом, точность измерения влажности прибором определяется инструментальными ошибками в определении температуры точки росы, которые складываются из ошибок измерительной системы (приемной части), и ошибок измерителя или регистратора, зависящих от класса точности прибора.

Кроме рассмотренных ошибок в автоматическом гигрометре, могут быть ошибки, вызванные наличием постоянной пленки конденсата на зеркальце. Эти ошибки вызываются градиентом температуры в слое между поверхностью конденсата и микротермистором, а также различием свойств пленки воды или льда на зеркальце и свойств плоской поверхности химически чистой воды или льда. Первым источником ошибок можно пренебречь, так как слой конденсата очень тонок и размеры микротермистора малы. Второй источник ошибок может приниматься во внимание лишь в случае очень запыленного воздуха, когда конденсат может иметь очень высокую концентрацию аэрозолей, что вызовет заметное понижение равновесной упругости водяного пара над его поверхностью и вследствие этого завышение показаний гигрометра.

Эксплуатационные особенности и некоторые результаты испытаний нового автоматического гигрометра

Для измерений приемная часть гигрометра устанавливается на метеорологической площадке или в помещении, где определяется влажность. Перед измерениями производится настройка работающего гигрометра на

минимальную толщину слоя конденсата и поверка нуля измерителя. Обычно настройка делается один раз в течение всего периода измерений и лишь время от времени может контролироваться. Для настройки вращают движок потенциометра смещения в цепи фотоэлемента и по индикатору устанавливают анодный ток усилителя на 1—1,5 ма. После этого включают K_2 (рис. 4) холодильник, и прибор начинает балансироваться в точке росы.

Затем переключателем P_2 (рис. 6) устанавливают нужный диапазон температур, а переключателем P_1 — контроль, точку росы, температуру воздуха и делают отсчеты.

Влажность находят из таблиц. Если гигрометр вносится в холодильную камеру, где поддерживается отрицательная температура, то настройка его не меняется и наблюдения производятся в том же порядке. Какого-либо специального присмотра со стороны наблюдателя прибор не требует. Расход мощности на гигрометр не более 50 вт.

В июне 1956 г. была проведена первая серия наблюдений при положительных (до $+30^\circ$) и отрицательных (до -13°) температурах.

При положительных температурах показания гигрометра сравнивались с показаниями аспирационного психрометра. Результаты наблюдений приведены в табл. 1 и 2. По психрометру делалось три отсчета через 15 мин. и в таблицу вносился средний. Наблюдения велись в течение нескольких дней 3 раза в сутки. В табл. 1 представлено около 60 измерений. Разность в показаниях гигрометра и психрометра во всех случаях (кроме одного) не превышала 4%, причем на 50 случаев падает разница в $0 \div 2\%$.

Таблица 1

Величины отклонений при положительной температуре

$f_n - f_r \%$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Число случаев	12	25	13	6	3	1	—	—	—

Таблица 2

Величины отклонений при отрицательной температуре

$f_n - f_r \%$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Число случаев	14	15	20	12	7	6	3	2	—

В ноябре — декабре 1956 г. была проведена вторая серия параллельных наблюдений по гигрометру и аспирационному психрометру, охватывающая как положительные, так и отрицательные температуры (до -10°). Приборы устанавливались на стойке высотой 1,5 м от поверхности земли. Измерительная часть гигрометра находилась в помещении. Отсчеты по приборам производились через 5-минутные интервалы в течение 15 мин. с перерывами между сроками. Для контроля применялись два психрометра. Из результатов наблюдений, приведенных в табл. 2, видно, что максимальное расхождение в показаниях гигрометра и психрометра не превышало 7%. Наибольшее количество наблюдений было при $\Delta f = 2\%$.

В заключение следует отметить, что разработанный гигрометр может найти применение на обсерваториях, особенно при отрицательных температурах воздуха. Большая чувствительность и малая инерция гигрометра позволяет применить его для изучения колебаний и распределения влажности как в приземном слое воздуха, так и при измерениях с самолета или аэростата. Кроме того, гигрометр целесообразно использовать для контрольных измерений влажности в Бюро поверки, для контроля

различных технологических процессов в промышленности и в других отраслях народного хозяйства.

Автор выражает признательность старшему научному сотруднику Института полупроводников АН СССР Л. С. Стыльбанс за ценные советы и помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коломоец Н. В., Стыльбанс Л. С., Стернзат М. С. и Фатеев Н. П. Измерение влажности воздуха с помощью полупроводниковых термопар. Журн. тех. физ. АН СССР, т. XXVI, № 3, 1956.
2. Усольцев В. А. Краткий обзор и оценка методов измерения влажности воздуха. Труды НИИ ГМП, вып. 4, 1957.
3. Иоффе А. Ф., Стыльбанс Л. С., Иорданишвили Е. И., Ставицкая Т. С. Термоэлектрическое охлаждение. Ак. книга. М.—Л. 1956.
4. Стыльбанс Л. С. Термоэлектрическое охлаждение, вып. 12—13, Ин-т полупроводников АН СССР. 1956.
5. Baggett Herndon An Improved electronic dew — point hygrometer. Journ. of Met. V. 8, № 1, 1951.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА ОСРЕДНЕНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА

Выбор времени осреднения скорости ветра при производстве метеорологических измерений представляет большой интерес, так как с ним связывается целый ряд вопросов методического характера. Кроме того, продолжительностью интервала осреднения определяются конструкции приборов для измерения, особенно для регистрации скорости ветра.

Производя выбор интервала осреднения скорости ветра при метеорологических измерениях, приходится учитывать два противоречивых условия осреднения скорости ветра по интервалу времени τ . Осредненная скорость ветра должна характеризовать: 1) как можно точнее скорость ветра в момент измерения, 2) достаточно надежно среднюю скорость ветра за большие промежутки времени (час и более), примыкающие к сроку наблюдения. Для выполнения первого условия необходимо уменьшать продолжительность интервала осреднения. Однако уменьшение интервала осреднения ниже некоторого предела невозможно, так как из-за турбулентной структуры воздушного потока измерения могут дать случайную величину скорости. Для выполнения второго условия необходимо увеличивать интервал осреднения скорости ветра. Увеличение же времени измерения приводит к методическим, организационным трудностям и к усложнению конструкции регистраторов скорости ветра.

Будем называть оптимальным такой интервал осреднения скорости ветра, который в практике метеорологических измерений позволит до некоторой степени сочетать эти два условия.

Настоящее исследование выполнено, как решение задачи о средних ошибках измерений скорости ветра, выполненных в различных интервалах осреднения τ , по отношению к среднечасовой скорости и ставит своей целью, определить ту наименьшую продолжительность интервала осреднения, при которой экстраполяция скорости на среднечасовое значение дает приемлемую ошибку.

Материалом для исследования послужили результаты регистрации скорости ветра за апрель 1948 г. и январь 1949 г. в Колтушах, материалы регистрации скорости ветра в условиях водной подстилающей поверхности, произведенные автором в шхерном районе Финского залива Балтийского моря в июле — августе 1952 г., и материалы регистрации скорости ветра в условиях Полупустыни, выполненные комплексной экспедицией Ташкентской геофизической обсерватории в июле 1952 г. Во всех случаях регистрация скорости ветра производилась с помощью контактных анемометров.

Общий объем материала, привлеченного к обработке, выражается

в следующем количестве часов регистрации скорости ветра: Колтуши 338, Залив 287, Полупустыня 210. Всего 835 часов.

Для каждого часа записи с лент регистратора были получены средние скорости ветра за интервалы времени τ , равные 60, 30, 20, 10, 5 и 2,5 мин., для которых вычислялись средние квадраты относительных отклонений от средней скорости за час по формуле

$$\mu_{\tau}^2 = \left(\frac{\sigma_{\tau}}{\bar{u}_{60}} \right)^2. \quad (1)$$

Здесь

$$\sigma_{\tau}^2 = \overline{(\bar{u}_{\tau} - \bar{u}_{60})^2},$$

\bar{u}_{τ} — средняя скорость ветра за интервал времени τ , \bar{u}_{60} — то же за один час. Черта сверху означает осреднение по числу интервалов внутри часа $n = \frac{60}{\tau}$.

Полученные значения μ_{τ}^2 группировались по различным градациям средней скорости ветра за один час и вторично осреднялись по числу случаев для каждого пункта наблюдений. Результаты обработки приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения μ^2 при различном числе интервалов осреднения скорости ветра внутри часа

\bar{u}_{60} м/сек.	n				
	24	12	6	3	2

Колтуши

1,5—2,5	0,0263	0,0204	0,0150	0,0060	0,0026
2,6—4,0	0,0142	0,0088	0,0059	0,0033	0,0017
4,1—6,0	0,0113	0,0080	0,0056	0,0036	0,0026
6,1 и более	0,0096	0,0064	0,0040	0,0036	0,0026

Залив

1,5—2,5	0,0532	0,0435	0,0342	0,0181	0,0123
2,6—4,0	0,0226	0,0180	0,0139	0,0089	0,0038
4,1 и более	0,0120	0,0089	0,0060	0,0034	0,0022

Полупустыня

1,5—2,5	(0,0430)	0,0346	0,0256	0,0160	0,0112
2,6—4,0	(0,0320)	0,0276	0,0186	0,0103	0,0069
4,1 и более	(0,260)	0,0216	0,0154	0,0080	0,0058

Примечание. Величины, полученные путем экстраполяции, взяты в скобки.

Как видно из табл. 1, зависимость μ^2 от числа интервалов осреднения n можно аппроксимировать прямой линией в полулогарифмических координатах

$$\mu^2 = \alpha \ln n + \mu_0^2, \quad (2)$$

где μ^2 — квадрат систематической ошибки регистрации и обработки. Систематическая ошибка исключена из значений μ^2 , приведенных в табл. 1.

Возможность подобной аппроксимации подтверждается рис. 1, построенным по материалу, осредненному по всем группам среднечасовых скоростей ветра.

Угловой коэффициент α в формуле (2), являющийся структурной характеристикой потока, представляет собой некоторую функцию средней скорости ветра \bar{u}_{60} и шероховатости подстилающей поверхности z_0 . Зависимость α от средней скорости ветра видна из табл. 1.

Зависимость от величины z_0 можно видеть, сравнивая графики (рис. 1) и значения z_0 , оказавшиеся равными в Колтушах 0,12 см, Заливе 0,37 см и Полупустыне 3,00 см. Структурная характеристика α растет вместе с шероховатостью z_0 .

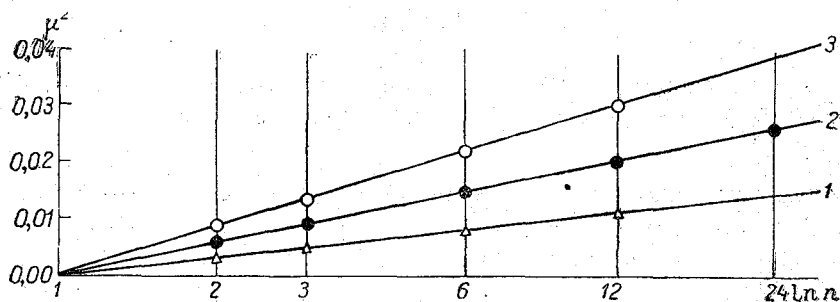


Рис. 1. Зависимость μ^2 от числа интервалов осреднения внутри часа.
1 — Колтуши. 2 — Пролив, 3 — Полупустыня.

Корреляционная связь между структурной характеристикой α , средней часовой скоростью \bar{u}_{60} и параметром шероховатости z_0 установлена и имеет вид

$$\alpha = 0,59 \left(\frac{z_0}{\bar{u}_{60}^3} \right)^{\frac{1}{4}}. \quad (3)$$

С учетом этой зависимости формула (2) может быть переписана так:

$$\mu^2 = 0,59 \left(\frac{z_0}{\bar{u}_{60}^3} \right)^{\frac{1}{4}} \ln n + \mu_0^2, \quad (4)$$

т. е. величина среднего относительного квадрата отклонения скорости ветра, осредненной по различным интервалам времени внутри часа, от средней часовой скорости растет вместе с ростом шероховатости и убывает при увеличении средней скорости ветра.

Переходя от значений μ^2 к среднеквадратичным относительным ошибкам ($\pm \mu\%$) среднечасовой скорости ветра, при определении ее путем осреднения в разных интервалах времени, меньших часа, используя данные рис. 1, получаем значения $\pm \mu\%$, составляющие содержание табл. 2.

Из табл. 2 видно, что ошибка убывает при увеличении интервала осреднения.

Выбирая интервал осреднения скорости ветра, необходимо учитывать два противоречивых момента: усложнения конструкции прибора или методики измерений, связанные с увеличением интервала осреднения, и увеличение ошибки экстраполяции, связанное с уменьшением продолжительности измерения, и на основе этого выбрать оптимальный интервал для осреднения скорости. Таким будет являться интервал осреднения, для которого вероятная ошибка определения средней часовой скорости

по ее значениям (для районов с различной шероховатостью) в среднем не будет превышать $\pm 10\%$. В отношении вероятной ошибки можно утверждать, что при повторных наблюдениях будут случайные ошибки, половина которых по абсолютной величине меньше вероятной, а половина больше ее.

Таблица 2

Значения среднеквадратичных относительных ошибок часовой скорости ветра (в $\%$)

Пункт	n				
	24	12	6	3	2
Колтуши	12,3	10,5	8,9	6,9	5,6
Залив	15,9	14,4	12,5	9,7	7,8
Полупустыня	19,6	17,4	14,7	11,3	9,4

Производя переход от среднеквадратичных ошибок, приведенных в табл. 2, к вероятным ошибкам, равным

$$\rho_{\text{отн}} = 0,6745\mu \approx \frac{2}{3}\mu, \quad (5)$$

получаем для 10-минутного интервала осреднения следующие значения $\rho_{\text{отн}}$: Колтуши $\pm 5,9\%$, Залив $\pm 8,3\%$, Полупустыня $\pm 9,8\%$, т. е. для трех пунктов с сильно различающейся шероховатостью при 10-минутном интервале осреднения скорости ветра среднее значение вероятной ошибки экстраполированной величины u_{60} не превышает $\pm 10\%$. Такая вероятная погрешность вполне приемлема, и введение 10-минутного интервала осреднения скорости ветра для получения скорости ветра в длительных промежутках времени является целесообразным.

Проведенная автором обработка лент регистратора скорости ветра М-12 показала, что в условиях малой шероховатости скорость ветра, осредненную по 10-минутному интервалу, можно экстраполировать до 4-часовых промежутков, при этом вероятная ошибка остается менее $\pm 10\%$.

Десятиминутный интервал осреднения скорости ветра решением Всемирного Метеорологического Объединения (ВМО) (1947 г.) признан достаточным для определения средней скорости ветра, соответствующей определенному сроку наблюдений. Исследованию этого вопроса посвящена работа Грунова [1], опубликованная в 1955 г., в которой определено отклонение скорости ветра, осредненной за 5, 2, 1 и 0,5 мин. от средней за 10 мин. для 22 случаев регистрации скорости ветра на обсерватории Хоемпайсенберг, расположенной на высоте 975 м над ур. моря. Средние 10-минутные скорости при этом составляли 15—20 м/сек. По определению Грунова, максимальное отклонение средней скорости за 5 мин. от средней за 10 мин. составляет $\pm 6\%$, то же для 0,5 мин. $\pm 35\%$. На основании этого сделан вывод о том, что без особых оснований не следует уменьшать 10-минутный интервал осреднения скорости ветра при метеорологических измерениях, т. е. 10-минутный интервал является удобным для получения характеристики скорости ветра в заданный срок.

Таким образом, согласно исследования автора, для получения средних величин скорости ветра за большие промежутки времени не следует увеличивать интервал осреднения более 10 мин. Согласно исследования Грунова, для получения надежной характеристики скорости ветра в заданный срок не следует интервал осреднения выбирать менее 10 мин.,

т. е. 10-минутный интервал является тем оптимальным интервалом, который удовлетворяет поставленным условиям.

Внедрение в настоящее время на метеорологическую сеть самописцев ветра М-12 [2], рассчитанных на автоматическое осреднение скорости ветра за 10-минутный интервал, представляет шаг вперед в деле совершенствования методики и практики метеорологических измерений, удачно решает вопрос о выборе интервала осреднения скорости ветра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Grunow I. Repräsentative Zeitabschütte zur Erfassung der mittlern Windgeschwindigkeit. Meteorol. Rundschau, 1955, 8, № 3/4, 57—58.
 2. Стернзат М. С., Протопопов Н. Г., Шадрина Е. Н. Стационарный электромеханический самописец ветра. Труды ГГО, вып. 52 (114). 1955.
-

К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ ТУМАНА

Туманы наблюдаются как при положительных, так и при отрицательных температурах воздуха. При отрицательных температурах по агрегатному состоянию туманы представляют собой или переохлажденные капли воды, или кристаллы льда, или смесь жидких капель воды и льдинок.

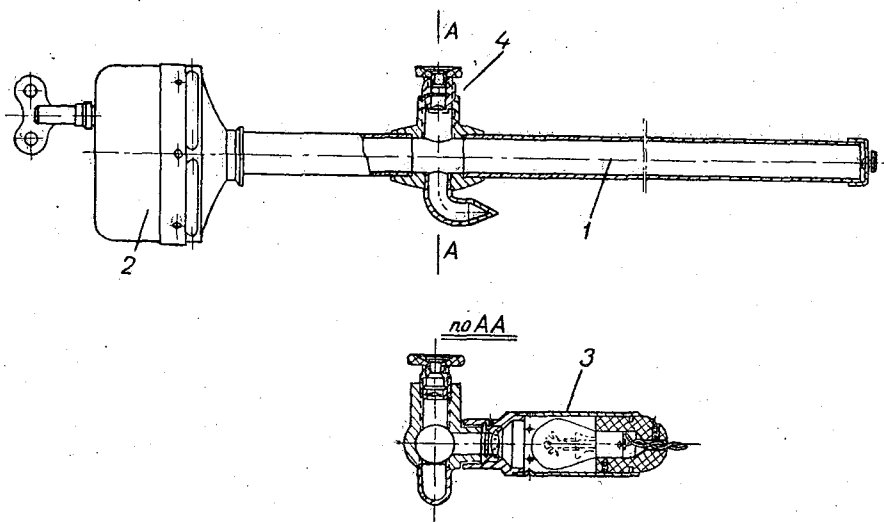


Рис. 1.

Чисто кристаллические ледяные туманы в большинстве своем обнаруживаются при весьма низких температурах — ниже -40° . Смешанные же туманы наблюдаются в широком диапазоне отрицательных температур. Так как смешанные туманы неустойчивы, существенно определять присутствие в переохлажденных капельно-жидких туманах кристалликов льда, хотя бы и в небольшом количестве. Это позволяет предопределять дальнейшие изменения в состоянии тумана. Имеющиеся микрофотографические методы исследования туманов, несомненно, могут способствовать исследованию его структуры при отрицательных температурах. Но эти методы малооперативны. Поэтому необходим прибор для непосредственного наблюдения за наличием кристаллов в тумане.

Для обнаружения в переохлажденном тумане ледяных частиц построен специальный прибор — кристаллоотметчик.

В основу прибора положен принцип наблюдения за кристалликами льда в проходящем пучке света.

Кристаллики льда как среди капелек (смешанный туман), так и при отсутствии капель в тумане (кристаллический ледяной туман) ярко сверкают в луче света, что дает возможность надежно устанавливать их наличие в тумане.

Причиной повышенной яркости кристалликов льда в пучке света является их относительно большая поверхность (по сравнению с каплями), вследствие чего количество света, зеркально отражаемое от ледяных частиц, значительно больше, чем от соседних капель. Кроме этого, особо существенным является мерцание освещенных взвешенных льдинок, обусловленное меняющимся отражением света от колеблющихся частиц.

В случае однородной среды тумана, когда капли отсутствуют и с ними сравнение не может быть произведено, ледяные кристаллы все равно могут быть обнаружены, поскольку именно в этих условиях слабых пере-сыщений ко льду образуются полные, отчетливо мерцающие кристаллы.

Исходя из этих принципиальных положений, и была разработана конструкция прибора (рис. 1).

Прибор состоит из корпуса-трубы 1, предназначенного для движения через нее тумана.

Для обеспечения движения тумана в приборе на одном из концов его корпуса укреплен головка аспиратора от психрометра 2. Для пропуска проходящего луча света в корпусе сделано отверстие, напротив которого укреплен осветитель 3. Осветитель состоит из самостоятельного корпуса, в котором размещены тепловой фильтр и электрическая лампочка.

В перпендикулярной плоскости к проходящему лучу света в корпусе сделано второе отверстие, в которое вставлена лупа, состоящая из наглазника, оправы и линзы 4 сечением 20 мм.

Прибор держится наблюдателем в горизонтальном положении в руке за корпус осветителя, оформление которого выполнено с этой целью в виде ручки 5.

Испытание прибора позволило установить кристаллизацию тумана в начале процесса, т. е. при появлении среди жидких капель отдельных кристалликов.

Для пользования этим прибором в полевых условиях целесообразно батареи элементов для питания лампочки поместить в брезентовой сумке, которую наблюдатель может носить на себе, при этом прибор будет соединен с питанием коротким проводом.

Такой прибор с небольшими конструктивными изменениями изготовлен и для наблюдений за наличием кристаллов льда в переохлажденных облаках с самолета. В нем исключен аспиратор, поскольку прохождение облачных элементов через прибор, укрепленный у наружной стенки самолета, обеспечивается струей воздуха, образующейся вблизи летящего самолета.

ПОЛЕВОЙ РАДИОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДИОАКТИВНОЙ ПРИМЕСИ В ВОЗДУХЕ

Метод меченых атомов находит все большее применение в различных областях науки и техники. Он позволяет производить непосредственные количественные измерения там, где раньше требовались отбор проб с последующим их анализом или применение косвенных методов измерений.

Метод меченых атомов нашел применение и в метеорологии, в частности для определения коэффициента турбулентности. Наблюдения за распространением (диффузией) нейтральной субстанции (дым, газ и т. п.), взвешенной в воздухе, позволяют не только проследить весь механизм турбулентного перемешивания, но и определить характеристики турбулентного обмена [1, 2, 3]. Однако сложность отбора проб и их анализа позволяла пользоваться этим методом лишь для получения качественных характеристик.

Развитие работ по изучению и применению радиоактивных изотопов, а также современное состояние техники измерений интенсивности ионизирующих излучений открывают возможности использования методов, основанных на измерении изменения концентрации радиоактивной примеси, для получения количественных характеристик турбулентного обмена.

Измерение концентрации радиоактивной примеси в воздухе можно осуществить, определяя интенсивность излучения в разных точках пространства при условиях [4], что:

- 1) геометрические размеры сравниваемых объемов, в которых распределена радиоактивная примесь, равны;
- 2) радиоактивные ядра распределены равномерно или одинаковым образом в сравниваемых объемах;
- 3) при радиоактивном распаде одного ядра в сравниваемых объемах испускается одинаковое число β -частиц;
- 4) радиоактивный препарат, распределенный в сравниваемых объемах, имеет одинаковый энергетический спектр β -частиц;
- 5) сравниваемые объемы сохраняют тождественное расположение по отношению к счетчикам.

Очевидно, что благодаря ограниченной величине максимального пробега β -частиц, газоразрядные счетчики с одинаковыми характеристиками, помещенные в одно и то же радиоактивное облако, обладают одинаковыми и тождественно расположенными относительно счетчиков счетными объемами, если размеры облака значительно превышают размер счетного объема.

Предполагаем, что равномерное распределение радиоактивных частиц в сравниваемых объемах может иметь место: а) если радиоактивная при-

мель введена в воздух в виде мелкодисперсного аэрозоля, в котором скорость оседания частиц незначительна по сравнению со скоростью естественной диффузии; б) если сами объемы настолько удалены от источника примеси, что ошибкой за счет неравномерного распределения частиц можно пренебречь. И, наконец, если применяется радиоактивный изотоп, свободный от примесей и не дающий дочерних элементов с иными периодом и энергией β -распада, что может привести к изменению энергетического спектра β -частиц и количества β -частиц на один акт распада, то все необходимые условия будут выполнены. Следовательно, при соответствующем выборе радиоактивного препарата и мощности источника радиоактивного облака можно измерять относительную концентрацию радиоактивной примеси.

Аппаратура для измерения относительной концентрации радиоактивной примеси должна быть удобной для применения в полевых условиях, достаточно чувствительной к β -излучению при наличии естественного γ -фона, регистрирующей результаты измерений одновременно в нескольких точках и надежной в работе.

Разработанный радиометр состоит из трех основных частей: собственно радиометра, блока питания и регистратора (рис. 1).

При измерениях могут одновременно применяться несколько радиометров, в зависимости от необходимого числа точек измерений.

В основу радиометра положена широко применяемая схема застопоренного мультивибратора [6] с одним устойчивым состоянием, являющегося стандартизатором импульсов, к которому добавлен усилительный каскад (рис. 2), собранный на лампе 6Ж4. Мультивибратор собран на двух лампах 6Ж7 и имеет в анодной цепи выходной лампы интегрирующую цепочку с двумя постоянными времени $\tau_1 = 10^{-5}$ сек. и $\tau_2 = 0,2$ сек., переключение которых осуществляется тумблером K_2 .

Тумблер K_1 служит для включения анодного питания. На корпусе радиометра расположены клеммы А, Б, В и З, которые служат соответственно для соединения с анодной батареей +250 в, батареей смещения -60 в, высоковольтной батареей +425 в и с землей (рис. 2). С регистратором и аккумуляторной батареей 5НКН-60 радиометр соединяется с помощью штепсельного разъема и четырехжильного кабеля, что позволяет относить радиометр от регистратора на расстояние до 200 м. В качестве регистратора могут служить: осциллограф МПО-2 с вибраторами типа VIII, осциллографы К-4-51, К-4-21.

Любой стрелочный прибор со шкалой до 750 или 1500 мка, проградуированный в числе импульсов в секунду, может использоваться для непосредственного отсчета.

На корпусе радиометра сверху с помощью стойки устанавливается газоразрядный счетчик, рассчитанный для регистрации β -излучений, с энергией верхней границы спектра от 0,4 Мэв и выше.

Попавшая в рабочий объем газоразрядного счетчика β -частица вызывает начальную ионизацию газа, которая переходит в лавинный процесс (под влиянием электрического поля в счетчике) длительностью 10^{-7} сек.

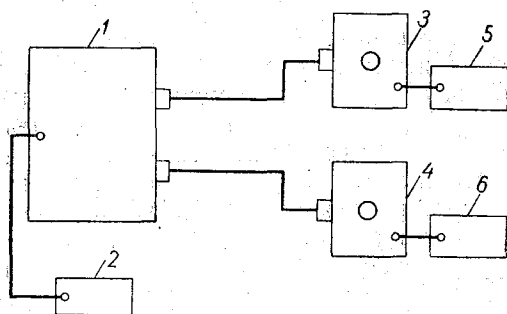


Рис. 1. Схема соединений комплекта радиометров.

1 - регистратор, 2 - аккумуляторная батарея, 3 - радиометр № 1, 4 - радиометр № 2, 5, 6 - сухие батареи.

Процесс деионизации пространства вокруг нити счетчика осуществляется в течение $3 \cdot 10^{-4}$ сек. Общий ионный поток образует положительный импульс напряжения с амплитудой порядка 5—6 в. Время деионизации определяет «мертвое время» счетчика, т. е. время нечувствительности к следующему импульсу [4], [7].

Импульсы со счетчика поступают на вход усилителя, который одновременно с усилением выравнивает их по амплитуде. Отрицательный импульс поступает на управляющую сетку первой лампы мультивибратора и запирает ее, при этом напряжение на аноде лампы повышается. Положительный перепад напряжения поступает на управляющую сетку второй лампы мультивибратора и отпирает ее. При отсутствии импульсов эта лампа заперта отрицательным напряжением, поданным на ее

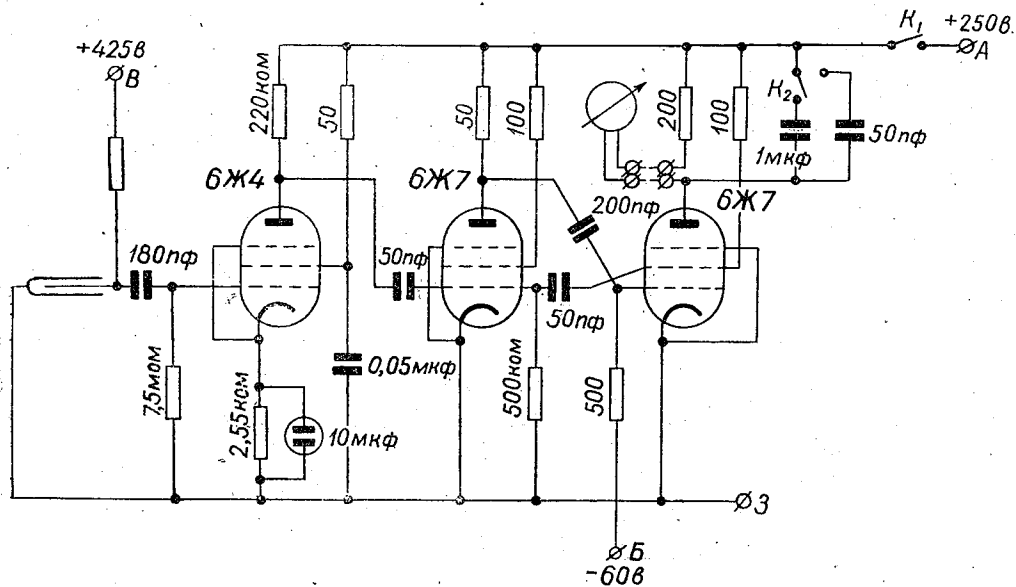


Рис. 2. Схема радиометра.

управляющую сетку. В анодной цепи выходной лампы мультивибратора протекает приблизительно прямоугольный импульс тока, амплитуда которого не зависит от амплитуды входного сигнала. По окончании стартового импульса мультивибратор возвращается в исходное положение.

Если постоянная времени τ интегрирующей цепочки больше длительности импульса t , то при действии на входе радиометра n -импульсов в секунду ток через регистрирующий прибор (микроамперметр, гальванометр или вибратор) в анодной цепи выходной лампы будет линейно связан с числом импульсов n , поступающих в одну секунду [6]:

$$n = \frac{1}{i_a t} i_R, \quad (1)$$

где i_a — среднее значение тока в импульсе, i_R — ток через измерительный прибор.

Относительная вероятная ошибка в определении среднего числа импульсов, питающих цепь RC , равна [6]

$$\varepsilon = \frac{0,67}{\sqrt{2n\tau}}, \quad (2)$$

где τ — постоянная времени интегрирующей цепочки, \bar{n} — средняя скорость прихода импульсов.

Характеристики радиометра исследовались с помощью генератора сдвинутых импульсов ГИС-2, осциллографа ЭО-6 и препарата Tl^{204} .

Частотная характеристика усилительного каскада в диапазоне от 2 до 20 000 имп/сек. не имеет завалов. Коэффициент усиления усилителя равен 10, что при амплитуде импульсов от газоразрядного счетчика на

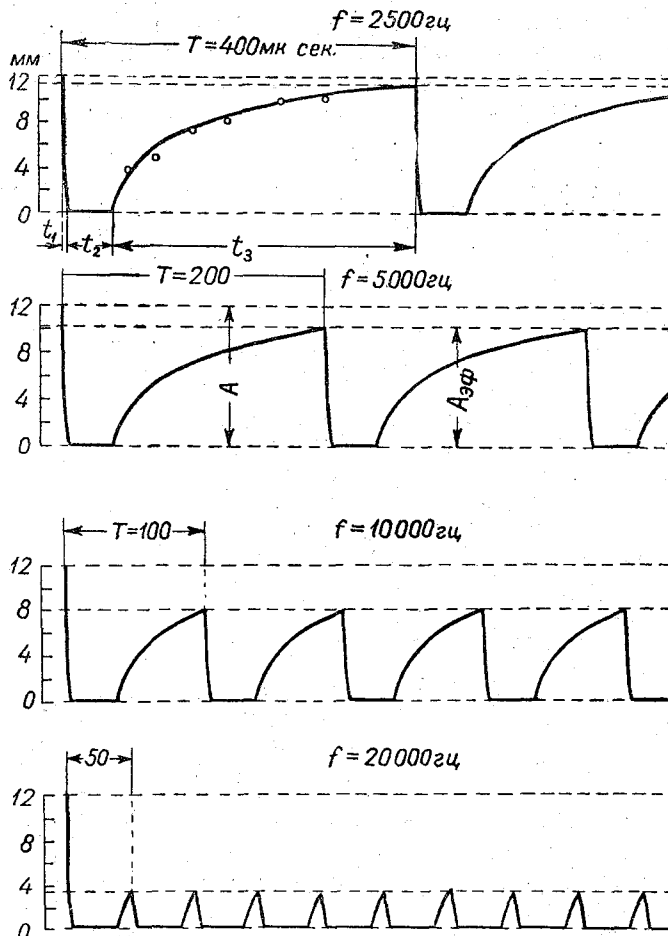


Рис. 3. Форма импульсов на выходе мультивибратора в зависимости от частоты.

входе усилителя $A_{вх} = 5 \div 6$ в и минимальной амплитуде стартового импульса $A_{ст} = 48$ в обеспечивает устойчивую работу мультивибратора. Переход амплитудной характеристики усилительного каскада в область насыщения, начиная с амплитуды входных импульсов $A_{вх} = 6$ в и выше, предохраняет последующие каскады от перегрузки.

Мультивибратор вырабатывает стандартизированные импульсы амплитудой $A = 215$ в в пределах от 2 до 2500 имп/сек., шириной больше 250 мксек.¹ (рис. 3), причем нарастание импульса до его ампли-

¹ Так как ширина импульса превышает максимальную величину диапазона отметок времени ЭО-6, равную 250 мксек., то действительную ширину импульса измерить не удалось.

тудного значения происходит в течение $t_1 = 10$ мксек., ширина плоской вершины импульса $t_2 = 40$ мксек. в пределах от 2 до 6000 имп/сек., а спад заднего фронта импульса происходит в течение времени $t_3 > 250$ мксек.

Начиная с частоты $f = 2500$ имп/сек. ($T = 400$ мксек.), видно, что время спада заднего фронта импульса становится равным, а затем больше промежутка между импульсами $t' \geq t_3$, что приводит к наложению каждого последующего импульса (рис. 3) на задний фронт предыдущего импульса и, следовательно, к уменьшению эффективной амплитуды прямоугольных импульсов на выходе мультивибратора.

На рис. 4 представлена частотная характеристика мультивибратора (кривая 1) и зависимость ширины плоской вершины импульса t_2 (кривая 2) от частоты следования импульсов. Частотная характеристика мультивибратора до частоты 2500 имп/сек. построена по действительной, а для частот выше 2500 имп/сек. — по эффективной амплитуде импульсов, отсчитываемой от точки пересечения заднего фронта предыдущего

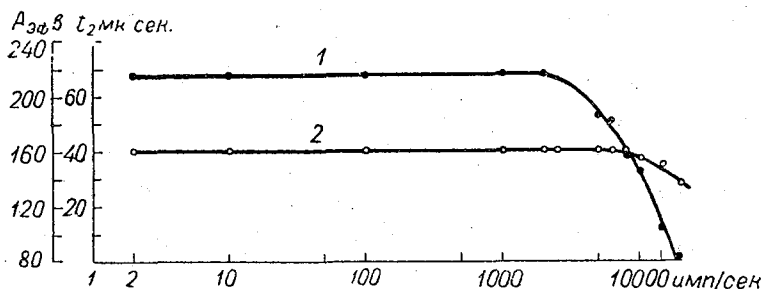


Рис. 4. Частотная характеристика мультивибратора.

импульса и переднего фронта последующего, так как только переменная составляющая тока в импульсе интегрируется интегрирующей цепочкой.

Как видно из рис. 4, $A_{эфф}$ стремится к нулю с увеличением частоты. И действительно, при частоте следования импульсов 25 000 имп/сек. период T становится равным $t_2 = 40$ мксек. и $A_{эфф}$ должно стать равным нулю. Поэтому t_2 следует считать «мертвым временем» мультивибратора.

Но, так как, начиная с частоты 6000 имп/сек. (кривая 2) t_2 начинает уменьшаться, что приводит к замедлению темпа уменьшения $A_{эфф}$ с увеличением частоты, то мертвое время мультивибратора уменьшается, а $A_{эфф}$ становится равным нулю при более высоких частотах.

Таким образом, мертвое время системы усилитель — мультивибратор $t_2 \leq 40$ мксек. $< t_c = 3 \cdot 10^{-4}$ сек., где t_c — мертвое время газоразрядного счетчика. Поэтому мертвое время всего радиометра определяется мертвым временем газоразрядного счетчика. Система усилитель — мультивибратор следует за счетчиком без просчетов [8], а эффективность радиометра зависит от величины мертвого времени счетчика

$$\frac{n}{N} = \frac{1}{1 + Nt_c} \quad (3)$$

Отсюда истинное число частиц, прошедших через счетчик в единицу времени, можно определить по числу сосчитанных радиометром частиц

$$N = \frac{n}{1 - nt_c} \quad (4)$$

где n — сосчитанное число импульсов в единицу времени, а N — истинное число частиц, попадающих в счетчик в единицу времени.

Тарировка радиометра была произведена с помощью генератора ГИС-2, имитирующего на входе усилителя импульсы газоразрядного счетчика. Длительность тарировочных импульсов была 0,5 мксек., амплитуда — 6 в, а частота следования импульсов изменялась от 2 до 20 000 имп/сек.

Тарировочные кривые на диапазоне II для постоянной времени интегрирующей цепочки $\tau_2 = 0,2$ сек. (рис. 5) получены при использовании в качестве регистратора:

- 1) осциллографа МПО-2 с вибратором типа VIII (с помощью увеличителя П10, имеющего 5-кратное увеличение),
- 2) указывающего прибора М-82.

Линейность тарировочных кривых сохраняется до частоты следования импульсов 1400 имп/сек., затем начинается загиб тарировочной кривой

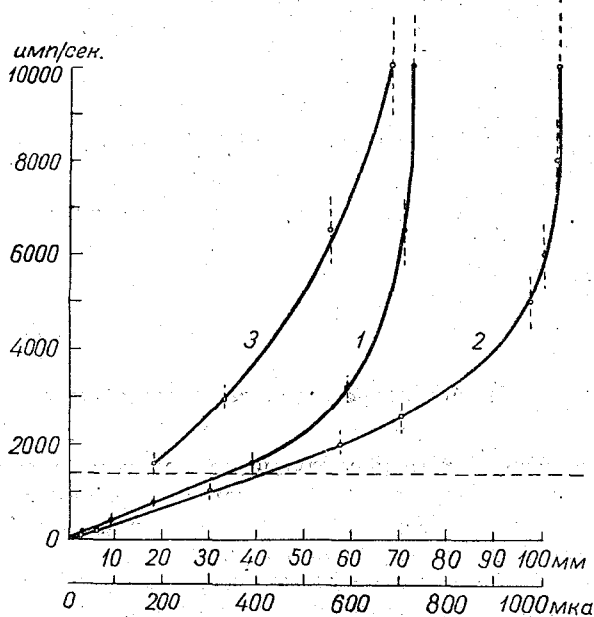


Рис. 5. Тарировочные кривые
 1 — $\tau = 0,2$ сек., регистратор типа МПО-2, вибратор типа VIII;
 2 — $\tau = 0,2$ сек., регистратор типа М-82; 3 — $\tau = 10^{-5}$ сек., регистратор типа МПО-2, вибратор типа VIII.

в область «насыщения», которая достигается практически при частоте около 20 000 имп/сек.

Ход полученной тарировочной кривой соответствует ходу частотной характеристики мультивибратора (кривая 1, рис. 4), завал которой объясняется наложением импульсов на задний фронт предыдущего импульса. Поскольку загиб тарировочной кривой начинается с 1400 имп/сек., то полная ширина импульса t на выходе мультивибратора получается равной 714 мксек.

Точность отсчета ординаты кривой интенсивности излучения на экране увеличителя П10 составляет $\pm 0,25$ мм, что соответствует ошибкам в счетности на линейном участке тарировочной кривой $\pm 11,1$ имп/сек., а в нелинейной части — ошибкам в пределах от $\Delta n = \pm 11,1$ имп/сек. для счетности $n = 1400$ имп/сек. до $\Delta n = \pm 100$ имп/сек. для счетности $n = 7500$ имп/сек.

Отсюда относительная вероятная ошибка радиометра $\left(\varepsilon + 0,85 \Sigma \frac{\Delta n}{n} \right)$

в линейной части тарировочной кривой при изменении счетности от 10 до 1400 имп/сек. изменяется соответственно от 128,0 до 3,2%. В нелиней-

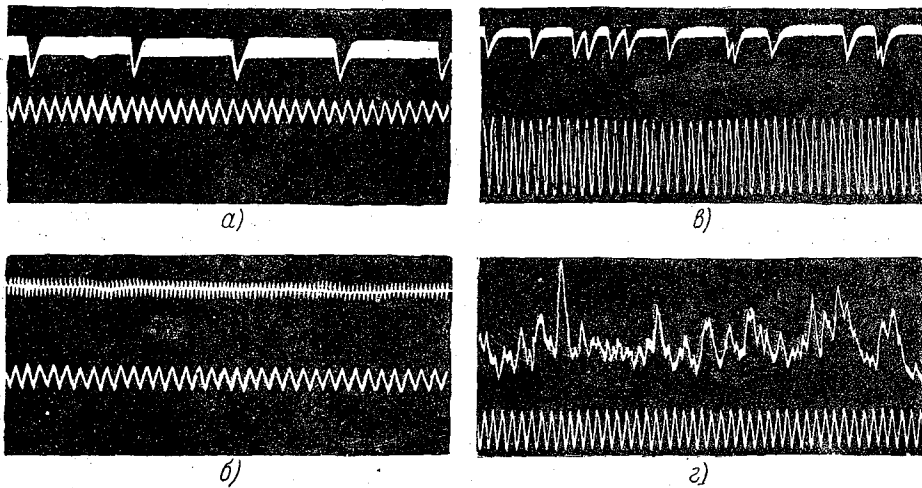


Рис. 6. Образцы записи тарировки радиометра по генератору ГИС-2 ($\tau = 10^{-5}$ сек.) на частотах.

а) 62,5 имп/сек., б) 2544,1 имп/сек.

Образцы записи измерений β -излучения в зависимости от расстояния:

в) $r = 70$ см, $\bar{n} = 135,4$ имп/сек. г) $r = 9$ см, $\bar{n} = 1208,3$ имп/сек.

Нижняя кривая — запись отметчика времени с частотой 500 имп/сек.

ной части тарировочной кривой при изменении счетности от 1400 до 7500 имп/сек., несмотря на рост абсолютной ошибки, относительная ошибка радиометра изменяется соответственно от 3,2 до 2,4%, достигая минимального значения 2,0% при счетности 6000 имп/сек. Поэтому начальные концентрация и активность радиоактивного препарата для получения минимальных ошибок измерений должны подбираться таким образом, чтобы рабочий диапазон счетности изменялся в пределах от 1400 до 7500 имп/сек.

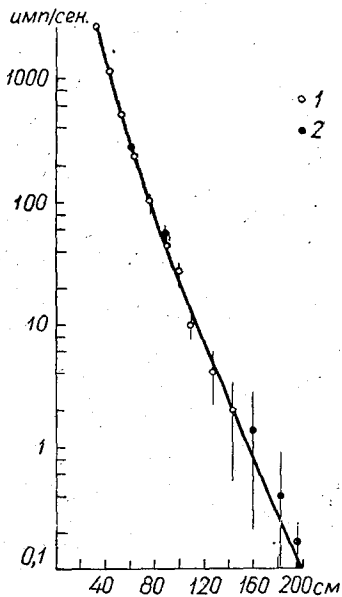


Рис. 7. Определение слоя полного поглощения для β -излучения Tl^{204} в воздухе.

Тарировочная кривая на диапазоне I для постоянной времени интегрирующей цепочки $\tau_1 = 10^{-5}$ сек. при использовании в качестве регистратора осциллографа МПО-2 и вибратора типа VIII начинается по существу с частоты 1600 имп/сек. Для частот от 2 до 1600 имп/сек. на ленте осциллографа отчетливо видна запись вначале отдельных импульсов, затем они переходят в кривую, число пиков которой соответствует числу импульсов, и при частоте выше 1600 имп/сек. запись сливается в плавную кривую (рис. 6), по которой уже возможно построить тарировочную кривую (рис. 5, кривая 3). Такой характер записи объясняется тем, что постоянная времени интегрирующей цепочки на диапазоне I меньше, чем длительность

импульса $\tau_1 < t \cong 10^{-3}$ сек., поэтому до частоты 1600 имп/сек. имеем запись в виде отдельных импульсов, а затем благодаря недоста-

точной скорости развертки (250 мм/сек.) запись сливается в плавную кривую. Увеличивая скорость протяжки ленты, можно сохранить пиковый характер записи до более высоких частот. Хотя характер записи при переходе к измерению интенсивности излучения радиоактивного препарата на этом же диапазоне становится аperiодическим (рис. 6), но вплоть до $\bar{n} = 1200$ имп/сек. количество зарегистрированных импульсов также можно определить без просчетов по отчетливо видимым пикам кривой. Точность тарировки радиометра с помощью ГИС-2 уступает точности абсолютной тарировки по радиоактивному препарату с известным числом распадов в единицу времени, поскольку относительная ошибка генератора ГИС-2 равна $\pm 10\%$, а относительная ошибка в определении активности, определяемая как $\frac{\sqrt{n}}{n} \%$, составляет $\pm 8,6\%$ для $n = 135,4$ имп/сек. и $\pm 2,9\%$ для $\bar{n} = 1208,3$ имп/сек.

Для измерений, не претендующих на большую точность, все же можно пользоваться тарировочной кривой, полученной с помощью генератора ГИС-2. Например, кривые поглощения β -излучения препарата Tl^{204} , измеренные радиометром № 2 (рис. 7 точки 1) и установкой Б-2 (точки 2), в пределах средней квадратичной ошибки совпадают, а пересечение полученной кривой с осью абсцисс дает величину слоя воздуха полного поглощения, равную в данном случае 200 см. Расчетное значение, полученное на основании закона поглощения, дает величину 193 см.

Выводы

1. Разработан радиометр с двумя рабочими диапазонами, пригодный для измерения концентрации радиоактивных примесей в воздухе в полевых условиях, путем регистрации интенсивности их излучения.

2. Наличие двух рабочих диапазонов позволяет производить тарировку радиометра без помощи эталонных радиоактивных препаратов и стандартного радиометра. Это достигается поочередной регистрацией излучения от радиоактивного препарата произвольной активности на двух диапазонах при различных его удалениях от радиометра, так как на диапазоне I регистрируются отдельные импульсы, а на диапазоне II — интегральная кривая, ордината которой пропорциональна интенсивности излучения.

3. На диапазоне I ($\tau_1 = 10^{-5}$ сек.) можно регистрировать концентрации радиоактивной примеси в воздухе, которые создают счетности от 100 до 2500 имп/сек., с вероятной относительной погрешностью соответственно от 6,7 до 1,3%.

4. На диапазоне II ($\tau_2 = 0,2$ сек.) можно регистрировать концентрации радиоактивной примеси в воздухе, которые создают счетности от 100 до 1400 имп/сек., с вероятной относительной погрешностью соответственно от 9,9 до 3,2% и от 1400 до 7500 имп/сек. с вероятной относительной погрешностью соответственно от 3,2 до 2,4%.

5. Для уменьшения величины вероятной относительной ошибки на диапазоне II, обусловленной статистическим распределением импульсов во времени, можно увеличить постоянную времени в 10 или 100 раз, что уменьшит ϵ соответственно в 3, 16 и 10 раз при одновременном увеличении инерционности радиометра и уменьшении ошибки отдельного отсчета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ляпин Е. С. Изучение коэффициента перемешивания воздуха при помощи опытных дымопусков. Труды НИУ ГУГМС, сер. I, вып. 34. 1946.
2. Берлянд М. Е. Определение горизонтальной составляющей коэффициента турбулентной диффузии. Изв. АН СССР, сер. геогр. и гесфиз., т. VIII, № 1. 1944.
3. Будыко М. И. и Ляпин Е. С. Условия образования термической конвекции в нижних слоях атмосферы. Метеорол. и гидрол., № 5. 1946.
4. Райский С. М., Смирнов В. Ф. Физические основы метода радиоактивных индикаторов. Изд. ГТТЛ, М. 1956.
5. Уэкслер Х., Мэчта Л., Пэк Д. Х., Уайт Ф. В. Атомная энергия и метеорология. Доклады иностранных ученых на международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Дозиметрия ионизирующих излучений. М. 1956.
6. Бонч-Бруевич А. М. Применение электронных ламп в экспериментальной физике. ГТТЛ, М. 1956.
7. Спицын В. И., Кадочигов П. Н., Голутвина М. М., Кузина А. Ф., Соколова З. А. Методы работы с применением радиоактивных индикаторов. Изд-во АН СССР. М. 1955.
8. Векслер В., Грошев Л., Исаев Б. Ионизационные методы исследования излучений. Изд. 2. ГТТЛ. М. 1950.

УСТАНОВКА ДЛЯ АКТИНОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

В настоящее время все метеорологические станции производят актинометрические измерения, используя стандартные приборы: термоэлектрический актинометр АТ-50, пиранометр, термоэлектрический балансомер и гальванометр ГСА-1 [1]. Хорошо известно, насколько важна одинаковая установка приборов. Однако до настоящего времени стандартных подставок для актинометрических приборов промышленность не выпускает. На метеорологических станциях актинометрические приборы обычно устанавливаются на деревянных подставках, изготовляемых на местах. Эти подставки в большинстве случаев различны как по высоте, так и по характеру размещения на них приборов. Кроме того, деревянные подставки обычно недолговечны. Возникают трудности при установке балансомера и теневого экрана, так как используемые шарниры быстро выходят из строя и недостаточно жестко держат приборы. В связи с этим в последнее время было предложено несколько приспособлений для расположения актинометрических приборов. Установка, разработанная в Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова, представляет собой комплект измерительных приборов и вспомогательных приспособлений, обеспечивающих возможность единообразного проведения актинометрических измерений. В комплект входят термоэлектрический актинометр АТ-50, термоэлектрический балансомер М-10, головка пиранометра ГП 3×3 , подставка для их установки и затенения, гальванометры ГСА-(1—2) с подставкой для них и переключателем. Для измерения скорости ветра используется индукционный анемометр АРИ-49. Установка обеспечивает головке пиранометра и балансомеру постоянное положение одной и той же стороной к солнцу путем вращения кронштейна с приборами по азимуту (рис. 1), при этом угол затенения приемников остается постоянным ($10^\circ \pm 30'$).

Специальные исследования показали, что изменение угла затенения приемников в пределах 1° не отражается на результатах измерений радиации. Установка имеет специальное приспособление для сохранения горизонтального положения приемных поверхностей головки пиранометра и балансомера с точностью $\pm 1^\circ$ и дает возможность производить проверку приборов в естественных условиях без специальных приспособлений. В комплект установки, кроме стандартных актинометрических приборов, входят приспособления для их крепления, установки затенения и т. д. Подставка для гальванометров служит также для установки на ней контрольных приборов при проверке приборов установки в естественных условиях. Подставка для приемников состоит из вертикальной металлической трубы со сферической опорой на конце, нижний конец трубы закапывается в землю на глубину 80 см и головки, которая при помощи

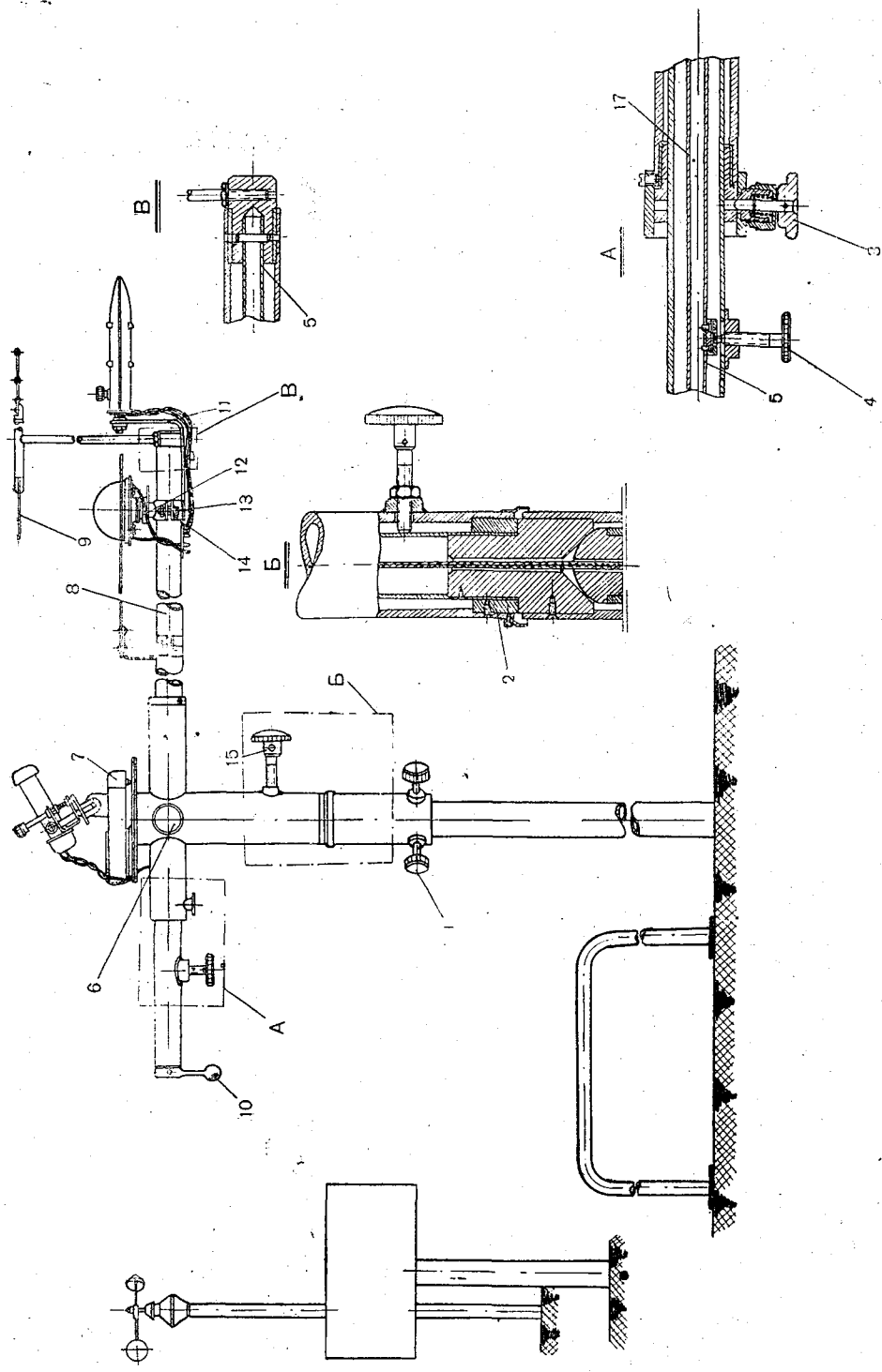


Рис. 1.

винтов 1 закрепляется на сфере вертикальной трубы. Головка имеет горизонтальную трубу 8, на которой крепятся приемники. В вертикальном отростке головки закреплены подшипники скольжения 2, и она свободно вращается по азимуту вокруг вертикальной оси. В нужном положении головка крепится винтом 15. Сверху головка подставки имеет горизонтальную площадку 7, на которой устанавливается актинометр. Головка пиранометра и балансомер устанавливаются на горизонтальной трубе 8. Головка пиранометра устанавливается горизонтально по ее уровню с помощью винтов 1 и хомута 14 путем вращения его вокруг горизонтальной трубы 8 при ослабленных винтах 13.

Балансомер устанавливается горизонтально по уровню при вращении его в кронштейне 11. Горизонтальная труба с приборами поворачивается ручкой 10 вокруг своей оси, при этом она автоматически стопорится пружинным стопором 3 при положении приборов (головки пиранометра и балансомера) приемниками вверх и вниз. При отводе стопора 3 труба может быть закреплена в любом положении винтом 6. Это дает возможность установить головку пиранометра и балансомер нормально к солнечным лучам при проверке в естественных условиях.

Для предохранения пиранометра от влаги применяется специальная металлическая сушилка, наполняемая селикагелем. Сушилка ввертывается в головку пиранометра и притягивается вместе с головкой пиранометра к хомуту 14 накидной гайкой 12. Внутри горизонтальной трубы 8 вращается стержень 5, на конце которого закреплены теневые экраны 9. Стержень вместе с экранами фиксируется в нужном положении прижимной колодкой 4.

Провода от приборов проведены внутри труб подставки. Внутри вертикальной трубы провода подпаиваются к кабелю, который под землей подводится к подставке с гальванометрами. Для удобства наблюдений к подставке придается скамья, устанавливаемая с северной стороны у стойки с приемниками. Гальванометры и переключатель устанавливаются в деревянном ящике, укрепленном на металлической трубе, нижний конец которой закапывается в землю на глубину 80 см. В качестве переключателя в данной установке используется щеточный переключатель МПТ или вилочный.

При подборе переключателей для установки было проведено испытание нескольких видов переключателей: ртутного, многоточечного щеточного типа МПТ, переключателя с врубающимися контактами и вилочного.

Переключателей типа МПТ испытывалось два, причем один из них был залит трансформаторным маслом. Переключатели были помещены в деревянный ящик. Измерение переходного сопротивления производилось периодически с помощью двойного моста. Испытания показали, что при самых неблагоприятных погодных условиях переходное сопротивление на контактах переключателей не превышало 0,05 ом, причем сопротивление такого порядка было очень редко. У щеточных переключателей переходное сопротивление достигало больших величин, но после нескольких поворотов щеток оно падало до 0,02 ом и ниже.

Испытания показали, что при обеспечении соответствующего ухода любой из переключателей может быть применен для актинометрических наблюдений.

Для предотвращения значительного изменения переходного сопротивления из-за возможного окисления контактов переключатели следует периодически чистить, а щетки переключателя перед измерением несколько раз провертывать (при этом контакты самозачищаются).

Порядок измерения на установке не имеет принципиальных отличий от существующего на сети.

Перед измерениями проверяется горизонтальность приборов по уровню головки пиранометра и в случае нарушения горизонтальность восстанавливается с помощью винтов 1 и поворота хомута 14 вокруг горизонтальной трубы 8. После этого трубу с приборами поворачивают по азимуту так, чтобы она располагалась перпендикулярно направлению на солнце. В этом положении, поворачивая в трубе 8 стержень с экранами, затеняют одновременно оба приемника. Актинометр нацеливается на солнце, как обычно. Поворот балансомера и головки пиранометра приемными поверхностями вниз и обратно производится одновременно ручкой 10, при этом теневые экраны откидываются в сторону. В остальном порядок измерения не отличается от установленного в настоящее время на сети.

Установка в течение нескольких месяцев использовалась при срочных актинометрических наблюдениях на метеорологической станции Воейково и оказалась достаточно удобной в эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Янишевский Ю. Д. Актинометрические приборы и методы наблюдений. Гидрометеоздат, 1957.

ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Существующие в настоящее время приборы позволяют производить дистанционный контроль и измерения температуры в весьма широком интервале.

Наиболее распространенными датчиками температуры являются термомпары и термосопротивления, причем в качестве последних используются как специальные полупроводниковые термосопротивления, так и термосопротивления, изготовленные из чистых металлов.

Несмотря на то что полупроводниковые термосопротивления имеют гораздо больший температурный коэффициент, применение их пока ограничено из-за больших разбросов как по величине, так и по температурному коэффициенту. В тех же случаях, когда необходимо производить измерение температуры во многих точках одним прибором и, следовательно, требуются термометры сопротивления, одинаковые по величине и температурному коэффициенту, применение полупроводниковых термосопротивлений встречает значительные затруднения.

В описываемом приборе были использованы термометры сопротивления, изготовленные из медной проволоки.

Как правило, определение температуры по термосопротивлению производится путем измерения величины последнего в мостовых схемах.

Использование мостовых схем позволяет определять температуру с точностью до десятых долей градуса.

Питание мостовых схем осуществляется как постоянным, так и переменным током, причем преимущества на стороне схем с питанием от переменного тока, так как это позволяет применить усилители переменного тока и тем самым получить большую точность измерения.

Применение же усилителей постоянного тока нецелесообразно ввиду их хронического недостатка, выражающегося в виде так называемого «дрейфа нуля».

В настоящей статье дается описание прибора, предназначенного для измерения температуры в диапазоне от -45 до $+45^\circ$ с ценой деления $0^\circ,1$ при погрешности не более $\pm 0^\circ,1$.

Прибор позволяет производить отсчет температуры простым сложением показания индикаторного прибора (отградуированного в градусах Цельсия) с указателем ручки диапазона.

Хотя приборы, работающие с питанием от переменного тока, разрешают получить большую точность отсчета, они, как правило, или привязаны к питанию от сети, или имеют собственные генераторы, которые потребляют значительную мощность от источников питания.

В настоящее время наличие полупроводниковых триодов позволяет сделать прибор со значительно меньшим потреблением.

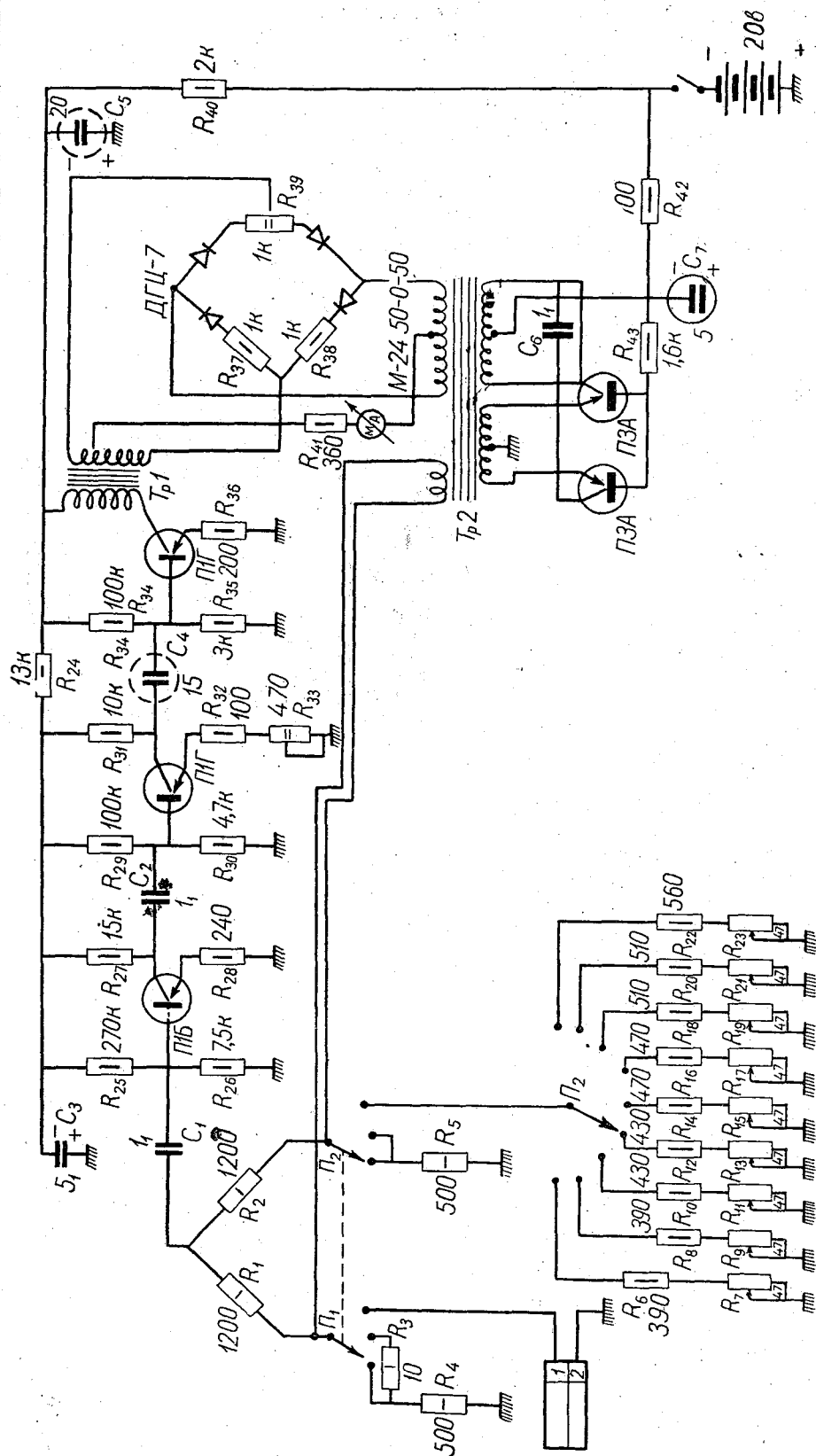


Рис. 1.

Питание прибора осуществляется сухими батареями от карманного фонаря в количестве 4—5 шт., т. е. напряжением около 15—18 в при токе потребления около 30 ма, при этом комплекта питания хватает на 20 часов непрерывной работы.

Принципиальная схема прибора (рис. 1) показывает, что основным элементом является мост, состоящий из сопротивлений, питаемый переменным током. Верхних два плеча моста состоят из двух проволочных сопротивлений R_1 и R_2 величиной 1200 ом.

Два нижних плеча переключаются переключателем Π_1 в следующем порядке: при установке нуля в нижние плечи моста включаются два одинаковых сопротивления R_4 и R_5 по 500 ом.

При установке (проверке) шкалы индикаторного прибора в одно из плеч моста вводится дополнительно 10 ом, что соответствует разбалансу моста на 2% или изменению сопротивления термометра на 5° .

При работе в одно плечо включается термометр сопротивления, в другое в зависимости от диапазона измерений — то или иное переменное сопротивление.

Для подстройки шкалы все девять потенциометров выведены (под шлиц) на переднюю панель.

Индикатором моста служит усилитель переменного напряжения, включенный в диагональ моста через конденсатор связи C_1 .

Усилитель собран на полупроводниковых триодах по схеме с заземленным эмитером и насчитывает три каскада.

Нагрузками первых двух каскадов являются активные сопротивления. В цепь коллектора последнего каскада включен выходной трансформатор, вторичная обмотка которого нагружается на балластный модулятор, работающий как синфазный детектор.

Детектирование усиленного сигнала разбаланса моста производится балластным модулятором, собранным на четырех полупроводниковых диодах типа ДГЦ-7. Опорное напряжение к нему снимается с обмотки трансформатора генератора Tr_2 . Обмотка питания моста размещена на этом же трансформаторе, что обеспечивает хорошее фазовое согласование.

Генератор переменного напряжения собран на полупроводниковых триодах типа ПЗА по схеме с общей базой, частота генератора около 1 кГц.

Чтобы уменьшить проникновение частоты генератора в усилитель, через цепи питания введены развязывающие фильтры R_{24} , C_3 , R_{40} , C_5 и R_{42} , C_7 .

Включение прибора осуществляется тумблером, после чего при положении переключателя «уст. нуля» подстраивается нуль потенциометром R_{38} , выведенным с задней стороны кожуха прибора (рис. 2).

Затем, переведя переключатель в положение «уст. чувств.», устанавливается потенциометром стрелка индикаторного прибора на деление -5° .

После этого устанавливается переключатель на положение «работа» и вращением переключателя Π_2 устанавливается стрелка прибора в пределах шкалы.

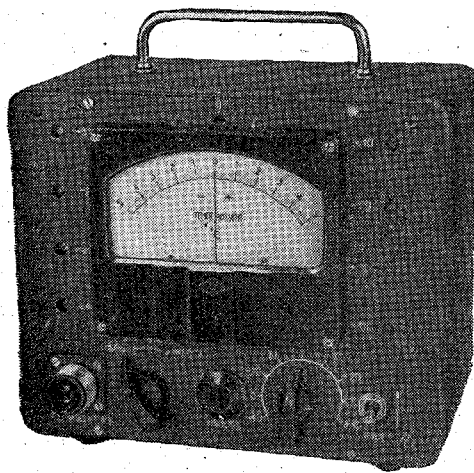


Рис. 2.

ПРИБОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ БОЛЬШИХ СКОРОСТЕЙ И ПОРЫВИСТОСТИ ВЕТРА

За последние годы все большее значение приобретает изучение структуры ветра. Для научных и практических целей необходимы данные о пульсации скорости, максимальных порывах и других элементах ветра. Для получения данных по структуре ветра нужна соответствующая аппаратура. В этой области проделана большая работа как по теоретическим исследованиям, так и по созданию отдельных образцов приборов [1, 2, 3, 4, 5]. Существуют отдельные образцы, а также разрабатывается и испытывается ряд новых конструкций приборов для измерения и регистрации больших скоростей и порывистости ветра [6 и 7]. Однако разработанные до настоящего времени приборы полностью не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к приборам для широкого использования в условиях гидрометеорологических станций, и пока нет простого и надежного прибора для измерения скорости и порывистости ветра. Автором даны обоснование и описание конструкции нового прибора, позволяющего регистрировать большие скорости и порывистость ветра до 60 м/сек. и более.

В основу конструкции датчика положена маятниковая система с пластинчато-шаровым приемником на карданном подвесе. Эта система была испытана, и на ее основе оказалось возможным разработать простой по конструкции и удобный в эксплуатации дистанционный прибор.

Для дистанционной передачи отклонения маятника под действием ветра в приборе применена неравновесная мостовая схема, позволяющая измерять сопротивление датчика при отклонении маятника. При выборе схемы особое внимание обращалось на надежное измерение весьма малых изменений сопротивления датчика, которые пропорциональны углу отклонения маятника.

Благодаря большой величине сопротивления датчика и возможности значительной подачи питания на мост удалось избежать применения усилительных устройств, что упростило схему прибора. В датчике использовано сопротивление с ртутным контактом. Как показали результаты исследования, такой датчик обладает большой чувствительностью и малой инерционностью, обеспечивает изменение сопротивления в пульсирующем воздушном потоке.

Аэродинамика приемника в маятниковой системе играет особую роль, приемник должен быть симметричным и независимым от изменения направления ветра. Лучше всего этому требованию удовлетворяет шар. Но так как коэффициент сопротивления шара сохраняет постоянство только до определенных скоростей ветра, а при достижении критической скорости значительно уменьшается и почти не реагирует на дальнейшее увеличение ее, то пришлось отказаться от шарового приемника. Был раз-

работан и исследован новый тип приемника пластинчато-шаровой формы, который обладает постоянным аэродинамическим сопротивлением, не зависящим от направления воздушного потока. Новый тип приемника с маятниковой системой был испытан при различных скоростях и пульсациях воздушного потока и показал хорошие результаты. Основные параметры приемника и его аэродинамические характеристики в потоке воздуха определялись по известной формуле [8]

$$Q = C_x F \frac{\rho v^2}{2},$$

где Q — сопротивление приемника, C_x — аэродинамический коэффициент, F — площадь приемника, ρ — плотность воздуха, v — скорость потока воздуха.

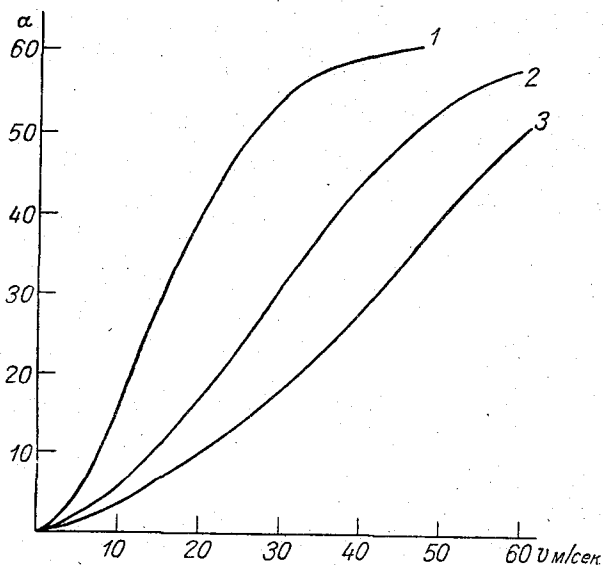


Рис. 1

Угол отклонения приемника в зависимости от скорости потока воздуха для трех диаметров приемников (45, 60, 75 мм) приведен на рис. 1, где кривая 1 соответствует диаметру приемника 75 мм, 2 — 60 мм и 3 — 45 мм.

При рассмотрении кривых видно, что для измерения больших скоростей ветра лучше всего подходит приемник диаметром 45 мм.

Для выяснения лучшей формы приемника были испытаны три типа приемников диаметром 45 мм каждый. Результаты испытания до скорости 60 м/сек., которые проводились в аэродинамической трубе Ленинградского политехнического института им. М. И. Калинина 8/III 1956 г., показаны на рис. 2, где кривая 1 — результаты поверки пластинчато-шарового приемника без сферического основания, 2 — то же со сферическим основанием и 3 — результаты поверки пластинчато-цилиндрического приемника со сферическим основанием.

Результаты экспериментальных исследований показали, что наиболее целесообразной формой приемника для прибора является пластинчато-шаровая со сферическим основанием. Этот тип приемника (рис. 3) наилучшим образом сохраняет постоянство аэродинамического коэффициента в диапазоне скоростей до 60 м/сек. На основании проведенных исследований приемника (его маятниковой системы, контактного устрой-

ства и других узлов) был разработан прибор для регистрации больших скоростей и порывистости ветра.

В комплект прибора входят датчик, пульт управления, регистратор, соединительный кабель.

Датчик (рис. 4) состоит из корпуса 1 и маятниковой системы 2. В датчик в верхней части маятника укреплен приемник 3 пластинчато-шаровой формы. Маятниковая система 2 благодаря кардановому подвесу 4 позволяет отклоняться приемнику в любом направлении на угол до 60° .

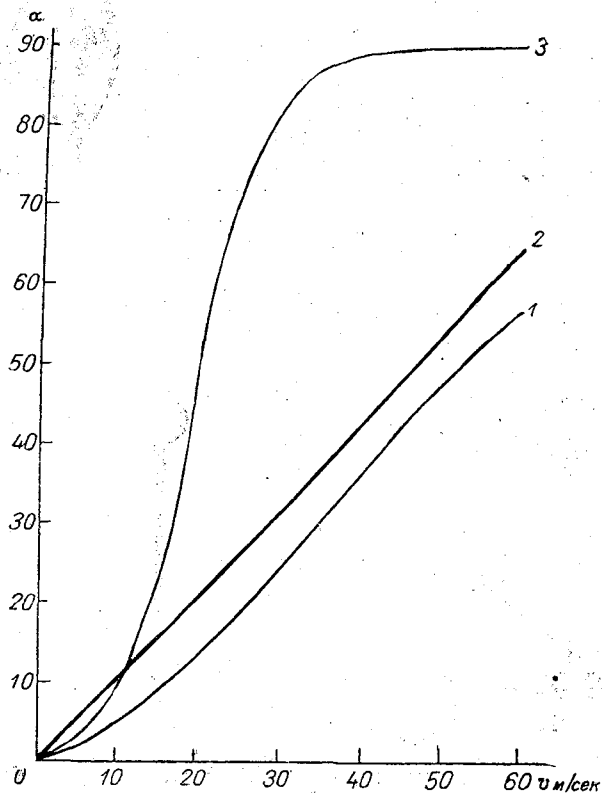


Рис. 2.

На нижнем конце маятника, который находится внутри корпуса прибора, укреплен металлический стаканчик 5 с грузом 6, служащий противовесом маятника. В стаканчике на каркасе 7 намотано проволочное переменное сопротивление, представляющее четвертое плечо неравновесной мостовой схемы.

Силой ветра приемник с маятниковой системой отклоняется. Наклон маятника вызывает перемещение ртути 8 в стаканчике, замыкая сопротивление, благодаря чему сопротивление датчика изменяется пропорционально скорости ветра. Угол отклонения маятника достаточно хорошо следует за изменениями (порывистости) скорости ветра, так как собственные колебания маятника в значительной степени гасятся демпфирующей жидкостью (глицерин), которой заполнена нижняя часть корпуса прибора 9. Общий вид датчика показан на рис. 5.

На рис. 6 показан пульт, в корпусе которого на передней панели смонтирован микроамперметр М-24, шкала его отградуированная в м/сек., позволяет производить непосредственно отсчет максимальной скорости

ветра. В пульте имеется галетный переключатель, служащий для включения питания постоянного или переменного тока, и две клеммы для подсоединения регистратора.

С левой стороны пульта закреплены два тумблера, позволяющие включать питание и сопротивление датчика или контрольное сопротивление, разъем для подключения кабеля от датчика, две клеммы для подключения питания постоянного тока, шнур с вилкой для подключения переменного тока и реостат для регулировки питания мостовой схемы. Внутри пульта размещены: трансформатор, выпрямитель от ДМС и все сопротивления мостовой схемы. Регистратор (рис. 7) состоит из гальванометра от СГ-23, барабана с часовым механизмом и специального капиллярного пера. Чувствительность гальванометра $1,2 \pm 0,1$ ма на всю шкалу. Барабан диаметром 120 мм расположен горизонтально. Он вращается часовым механизмом самолетного метеорографа СМ-43. Барабан может вращаться со скоростями 0,5, 1 и 2 об/час. Перо регистратора фиксирует порывы ветра чернилами на ленте барабана. Перо регистратора выполнено в виде капиллярной трубочки, один конец которой

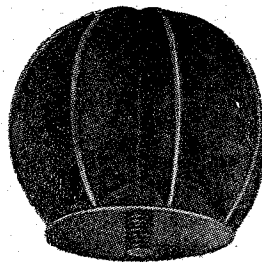


Рис. 3.

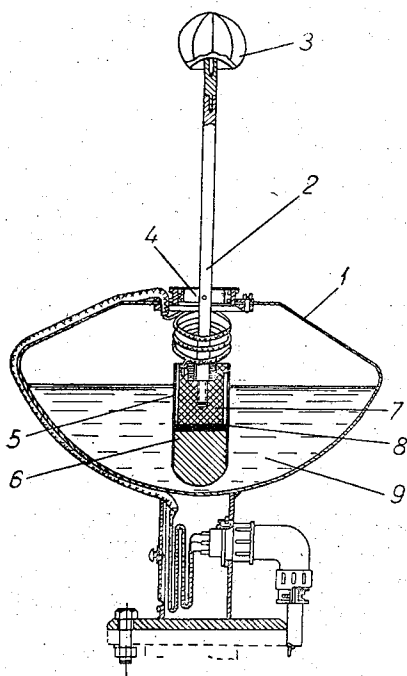


Рис. 4.

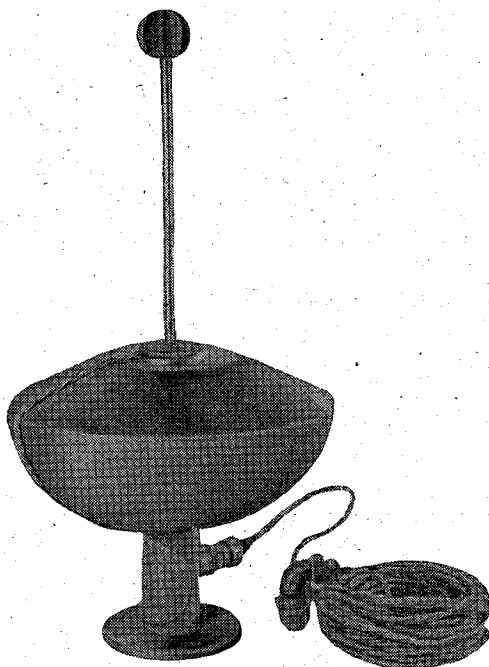


Рис. 5.

спущен в чернильницу, а другой касается ленты. Регистрация может производиться как непрерывно, так и в течение 15—30 мин. в определенные сроки. Однако для непрерывной регистрации лучше применять регистратор СГ-17.

Электрическая схема прибора показана на рис. 8. Она состоит из измерительного моста с постоянными сопротивлениями R_1 и R_4 из манганиновой проволоки, переменного сопротивления датчика R_3 из плати-

новой проволоки, расположенного в нижней части маятника, сопротивления R_2 из медной проволоки, выполняющего роль температурного компенсатора. Контрольное сопротивление R_k позволяет проверять работу схемы в момент включения его тумблером T_1 вместо сопротивления R_3 датчика. Кроме того, схема содержит подгоночные сопротивления $R_5, R_6,$

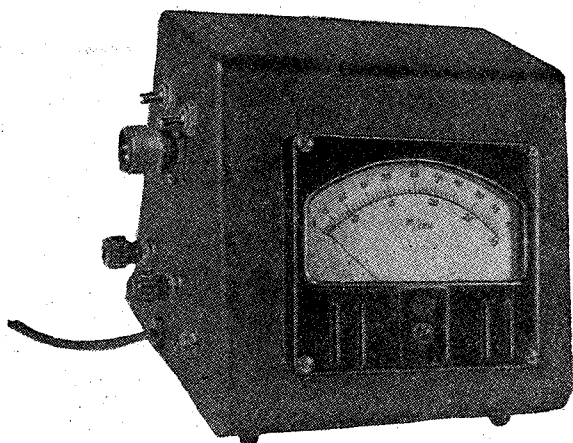


Рис. 6.

R_9, R_{10}, R_{11} и регулировочное сопротивление питания R_7 . Галетный переключатель Gn , трансформатор с селеновым выпрямителем, служащий для подачи питания от сети переменного напряжения 127—220 в. Источник постоянного тока 26 в подключается к клеммам K_1 . В рабочую диа-

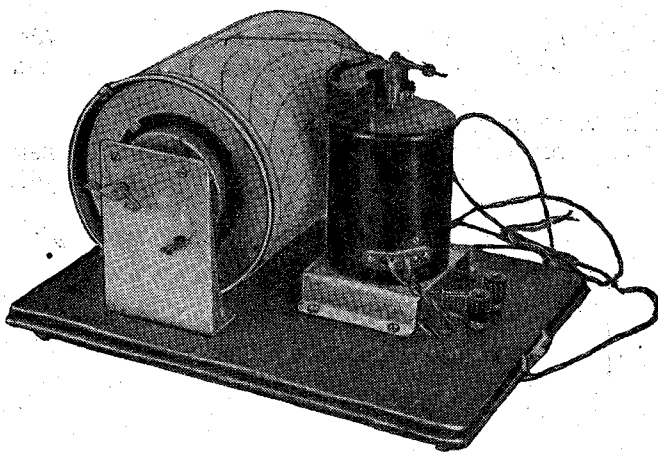


Рис. 7.

гональ моста включены измерительный прибор микроамперметр M (М-24) и регистратор Pz .

Датчик прибора устанавливается на столбе или мачте на высоте 10—12 м. При выборе места установки датчика руководствуются общими положениями, существующими для установки сетевых приборов этого типа. Регистратор и указывающий пульт устанавливаются в помещении метеорологической станции. Для соединения датчика с пультом служит трехжильный кабель, который подсоединяется посредством разъемов

к датчику и пульту. Кабель от датчика проводится по столбу до поверхности земли, а затем на столбиках высотой 50 см до здания метеорологической станции вводится в помещение и присоединяется к пульту.

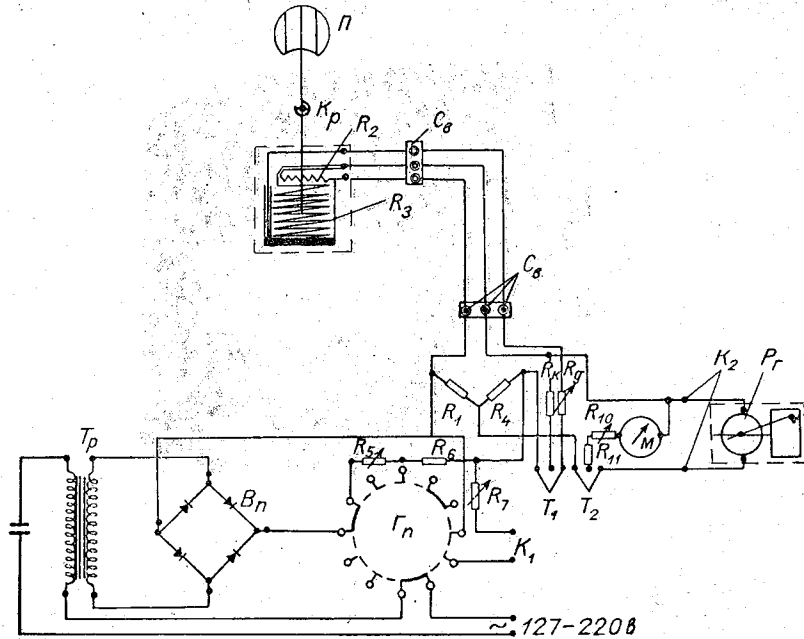


Рис. 8.

Проверка прибора проводилась в аэродинамической трубе Ленинградского политехнического института им. М. И. Калинина дважды: 12/III и 8/V 1957 г.

Результаты проверки показаны на графике (рис. 9).

На графике по оси ординат отложены деления шкалы измерительного прибора, а по оси абсцисс скорость потока воздуха в трубе. Как видно

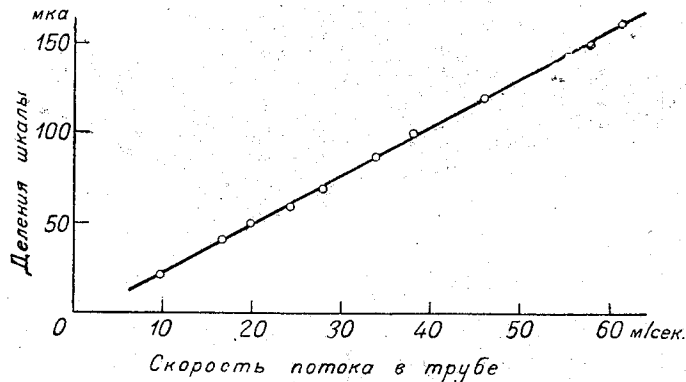


Рис. 9.

из графика, угол отклонения маятника находится в линейной зависимости от скорости. Сравнение результатов первой и второй проверок показывает, что прибор сохранил постоянство тарировки.

Для выяснения надежности работы прибора в естественных условиях он был установлен на гидрометеорологической станции Мархотский перевал, около г. Новороссийска. Результаты испытания показали, что прибор может обеспечить измерения и регистрацию больших скоростей ветра. Так, например, 9/XII 1957 г. им была зарегистрирована скорость 46 м/сек.; 13/XII 1957 г. — 49 м/сек., 1/I 1958 г. — 55 м/сек.

Выводы

1. В результате выполненной работы был создан простой по конструкции, удобный в эксплуатации опытный образец прибора для измерения больших скоростей и порывистости ветра.

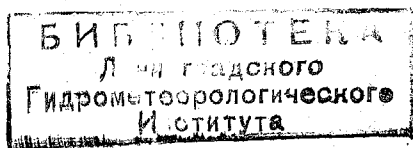
2. Для использования прибора в районах с низкими температурами ртутный контакт следует заменить на контакт ртутно-талиевый.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сабинин Г. Х. Вращающиеся анемометры и измерение ими действительной скорости ветра. Бюлл. Моск. ин-та космич. физ., вып. 1. 1923.
2. Сабинин Г. Х. Зависимость показаний анемометров от структуры ветра. Журн. геофизики, т. VII, вып. 2—3. 1937.
3. Подтягин М. Е. Анемометры и анемографы (Экспериментальное исследование). Труды ЦКБ ГУГМС, вып. 2. 1947.
4. Гольцман М. И. Основы методики аэрофизических измерений ГТТИ. М.—Л. 1950.
5. Третьяков В. Ф. Труды ЦКБ ГУГМС, вып. 2. 1947.
6. Кедроливанский В. Н. и Стернзат М. С. Метеорологические приборы. Гидрометеоиздат. Л. 1955.
7. Труды научно-исследовательского института гидрометеорологического приборостроения, вып. 5. М. 1957.
8. Юрьев В. И. Экспериментальная аэродинамика. Оборонгиз. М.—Л. 1939.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Н. П. Фатеев. Новый автоматический конденсационный гигрометр	3
И. Д. Андреев. Выбор оптимального интервала осреднения скорости ветра	20
В. Я. Никандров. К методике определения агрегатного состояния тумана	25
Н. Н. Александров. Полевой радиометр для измерения относительной концентрации радиоактивной примеси в воздухе	27
И. Ф. Скачкова. Установка для актинометрических измерений	36
В. С. Александров. Прибор для измерения температуры	40
В. Н. Сварчевский. Прибор для регистрации больших скоростей и порывистости ветра	43



Редактор *М. М. Ясногородская.*

Техн. редактор *А. Н. Сергеев.*

Корректор *Ф. И. Межиковская.*

Сдано в набор 22/V 1958 г.

Подписано к печати 20 VIII 1958 г.

Бумага 70 × 108.

Бум. л. 1,57.

Печ. л. 4,29.

Уч.-изд. л. 3,64.

Тираж 1350 экз.

М-20965.

Индекс МЛ-24.

Гидрометеорологическое издательство. Ленинград, В-53, 2-я линия, д. № 23.

Заказ № 257

Цена 2 руб. 55 коп.

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