

Т Р У Д Ы ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

имени А. И. Воейкова

ВЫПУСК 51 (113)

Методика аэрологических исследований
нижнего километрового слоя атмосферы

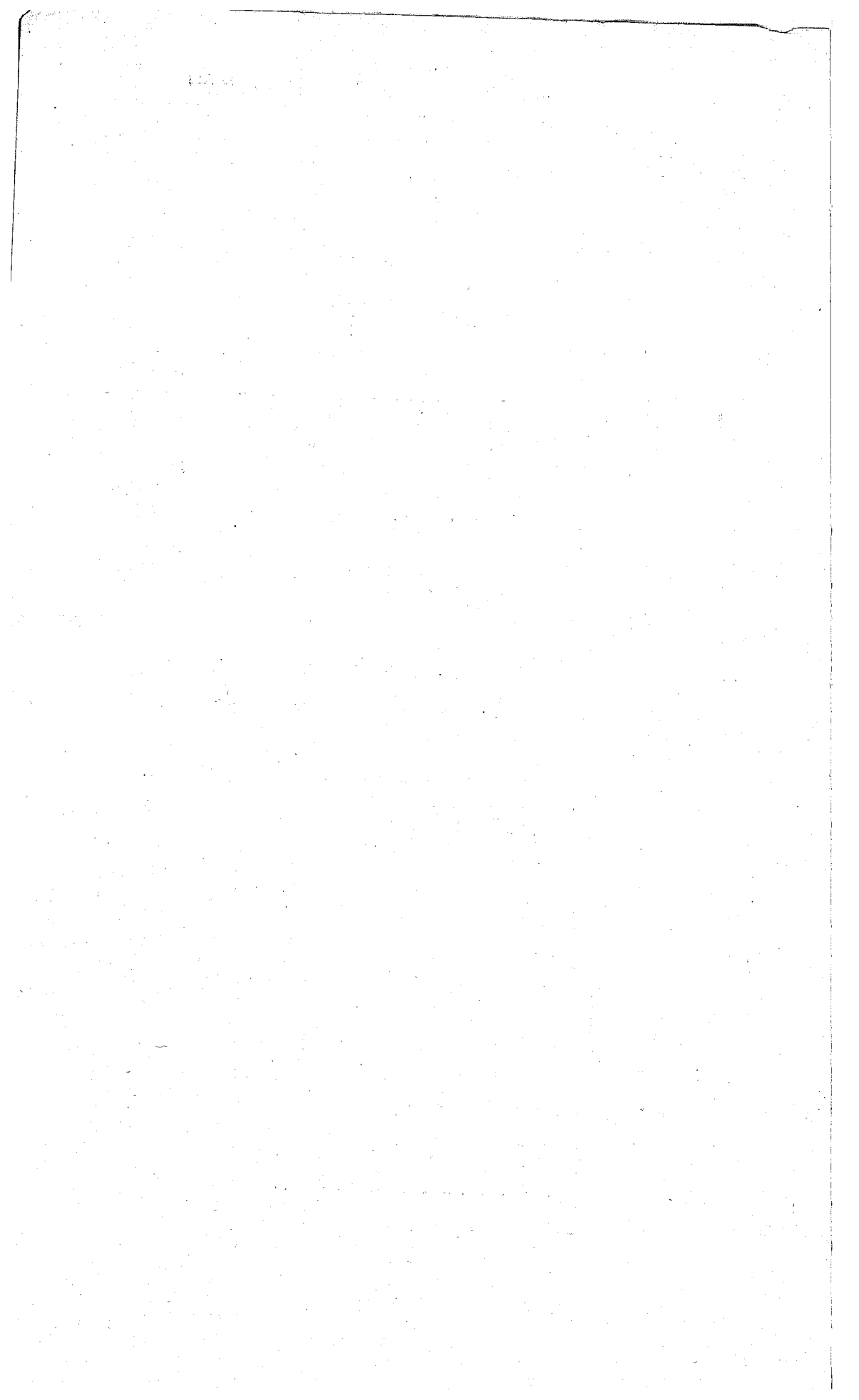
Под редакцией
канд. физ.-мат. наук
Е. С. СЕЛЕЗНЕВОЙ

Б И Б Л И О Т Е К А
Ленинградского
Гидрометеорологического
Института



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЛЕНИНГРАД • 1955



МЕТОДИКА АЭРОСТАТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

Детальные исследования нижнего километрового слоя атмосферы представляют большой научный и практический интерес для современной метеорологии.

В данной работе изложен разработанный в Главной геофизической обсерватории метод аэростатного зондирования, включая описание применяемого метеорографа, методику его подъема, способы поверки и первичную обработку метеорограмм.

Ниже дано описание аэростатного метеорографа образца 1953 г. с некоторыми ольшими изменениями по сравнению с рабочим макетом прибора, опубликован- и ранее [1].

ОПИСАНИЕ АЭРОСТАТНОГО МЕТЕОРОГРАФА

Применяемый в Главной геофизической обсерватории аэростатный метеорограф истрирует пять метеорологических элементов: атмосферное давление, температура и влажность воздуха, среднюю скорость и порывистость ветра. На рис. 1 общий вид аэростатного метеорографа.

Приемники метеорографа смонтированы на двух алюминиевых платах, соединенных стойками. Вблизи нижней платы расположено неподвижное фиксированное перо проведения нулевой линии. Второе перо связано с приемником давления и смещается вверх при понижении давления. Приемник давления состоит из гырех anerоидных коробок, репленных на нижней плате прибора в виде столбика. Применение нескольких коробок, единенных системой из двух равноплечных рычагов с пером, позволило получить среднюю чувствительность 2,5—0 мб на 1 мм ординаты. Для уменьшения влияния температуры на показания барокорректора установлен термокомпенсатор.

Третье снизу перо записывает относительную влажность воздуха. Приемником влажности является „гитарка“ из обезжиренных волос. Чувствительность приемника влажности 2,0—4,0‰ на 1 мм ординаты.

Для измерения температуры (четвертое перо снизу) применяются две биметаллические пластинки, расположенные одна над другой ребром к потоку. Изменение

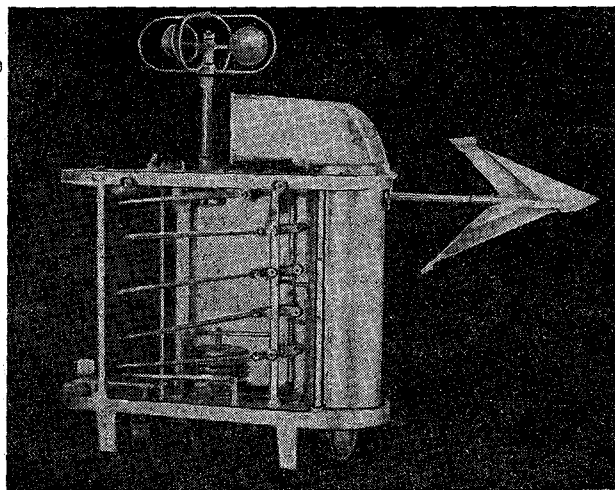


Рис. 1. Вид аэростатного метеорографа.

изгиба пластинок посредством рычагов и тяги передается на ось пишущего пера. При понижении температуры перо идет вниз. Чувствительность приемника температуры $0,3-0,4^\circ$ на 1 мм ординаты.

Два верхних пера регистрируют ветер. Второе перо сверху записывает порывистость ветра. Приемник порывистости ветра, построенный по принципу, разработанному П. А. Молчановым, состоит из двух симметрично расположенных на оси лопастей в виде пропеллера. От свободного вращения под давлением ветра лопасти удерживаются плоской пружиной, упирающейся в стопорное приспособление, и при порывах ветра лишь поворачиваются на определенный угол, зависящий от скорости ветра и сопротивления пружины. При этом перо прочерчивает дугобразные штрихи, длина которых пропорциональна величине скорости ветра. Средняя линия записи порывистости может дать среднюю скорость ветра, а частота штрихов — период порывов.

Для регистрации средней скорости ветра над корпусом метеорографа располагается приемник в виде вертушки с тремя полушариями. Ось полушарий связана с вращающейся передачей соединенная с осью эксцентрика, на который опирается перо (перо сверху). При вращении вертушки перо прочерчивает пилообразную кривую. Средняя скорость ветра определяется по расстоянию между ее зубцами. Полушария начинают вращаться при скорости воздушного потока $1,0-1,5$ м/сек.

Смещение всех перьев метеорологических элементов происходит в вертикальной плоскости. Перья укреплены на вращающихся осях.

Вся система приемник—перо сбалансирована, а на осях поставлены пружины для выбирания мертвого хода. Перья имеют прижимные винты, регулирующие степень их прижатия к барабану.

Перья устанавливаются в начальное положение в зависимости от изменений значений метеорологических элементов в следующей последовательности: 1 — перо давления при помощи регулирующего винта с контргайкой, расположенного на нижней плате прибора; 2 — перо температуры при помощи квадрата с контргайкой, расположенных в нижней части шахты; 3 — остальные перья путем поворота их на осях с предварительным освобождением стопорного винта.

Приемники температуры и влажности помещены в шахту диаметром 66 мм. Для увеличения вентиляции внутри шахты сверху на нее надевается специальная раструб, входное отверстие которого направлено по ветру. Снизу шахты установлена чашечка, обращенная отверстием к направлению потока. При скорости ветра до $2-3$ м/сек. на шахту вместо раструба надевается вентилятор с электромоторчиком для искусственной вентиляции.

Запись изменения метеорологических элементов производится на заклепочной бумаге, надеваемой на барабан, высотой $166-170$ мм и диаметром 70 мм. Время одного оборота барабана может устанавливаться на 2, 4 и 6 часов.

Для отведения перьев от барабана имеется арретир, который связан с пусковым механизмом часов. Одновременно с опусканием перьев на барабан включаются часы, при отведении перьев часы останавливаются и барабан перестает вращаться. Барабан вместе с часовым механизмом установлен на особых салазках и свободно вынимается из прибора.

Прибор помещается в металлический кожух, надеваемый обычно снизу. Между стенками шахты и кожухом имеется свободное пространство в $8-10$ мм для защиты приемников от нагревания лучами солнца. В кожухе сделано два щелевых отверстия: спереди — в нижней его части и сзади — в верхней части для свободной циркуляции воздуха внутри прибора и лучшей его вентиляции. Сбоку, против перьев, в кожухе сделано окошечко, закрытое светлым целлулоидом. Кожух скрепляется с прибором с помощью винтов. Вид прибора в кожухе дан на рис. 2.

Прибор помещается в легкую алюминиевую корзинку (рис. 3). В задней части корзинки сделана флюгарка в виде двух плоскостей размерами 135×200 мм, которая служит для ориентировки прибора по направлению ветра. Флюгарка жестко соединена с корзинкой, внизу которой прикреплен трубка со свободно перемещающимся в ней стержнем. На конце стержня имеется шайба, не дающая ему выходить из трубки. На другом конце стержня укреплен особой конструкции

с, при помощи которого корзинка с прибором крепится к тросу аэростата. В корзинке имеется дужка с кольцом. Для крепления корзинки с прибором служит специальная складная рамка в виде треугольника. Две вершины и крепятся при помощи хомутиков к тросу, а третья — к дужке корзинки прибором. Для того чтобы она не смещалась вниз, опирается в зажим, плот-акрепляемый на тросе. Таким образом, рамка вместе с корзинкой свободно скользит около троса аэростата и при помощи стабилизаторов флюгарки располагается по ветру (рис. 4). При помощи нижнего прибора под влиянием собственного веса автоматически устанавливается вертикально. Для защиты корпуса прибора от солнечных лучей с боков прибора устанавливается защитная защита из тонкого картона на расстоянии 10—15 мм от корпуса. Прибор имеет следующие размеры: высота 33,6 см, ширина 10,8 см. Размеры прибора с корзинкой: длина 73,0 см, высота 50,0 см. Вес прибора без корзинки 2385 г, вес прибора с корзинкой 3410 г, вес рамки для крепления прибора 472 г. Полный вес прибора с рамкой и корзинкой составляет 3882 г.

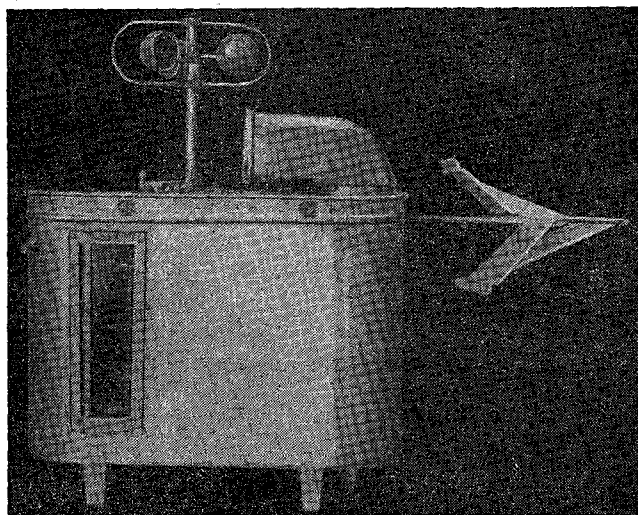


Рис. 2. Вид прибора в кожухе.

МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ

Подъем аэростатного метеорографа производится до высоты 500—800 м с пятиминутными выдержками на заданных высотах. В наших зондированиях за основные высоты приняты 25, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 700 и 1000 м, а при спуске — 300 и 100 м, но спуск в обработку обычно не берется. В Главной геофизической обсерватории

высота подъема прибора ограничена 500 м, так что вся операция подъема занимает 1 час. 15 мин. — 1 час. 20 мин. Поэтому удается производить повторные подъемы через полтора-два часа. В связи с детальным изучением структуры воздушных потоков в перерыв между двумя подъемами аэростатного метеорографа поднимается прибор для регистрации порывистости ветра с оборотом барабана 20 мин.

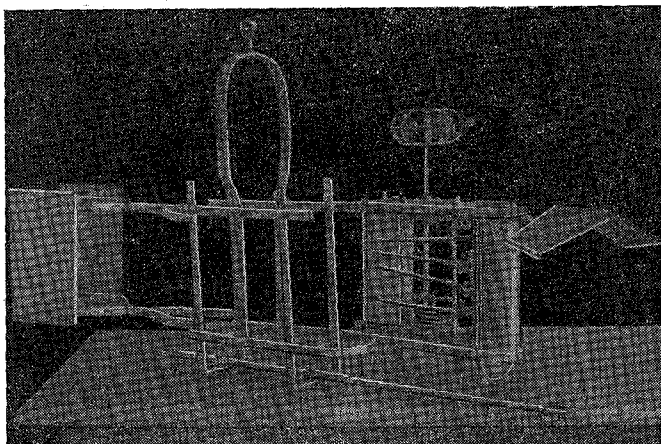


Рис. 3. Вид корзинки и прибора.

Перед подъемом и после спуска метеорографа производится его выдержка. Подготовленный прибор следует выносить из помещения за один-полтора часа до подъема.

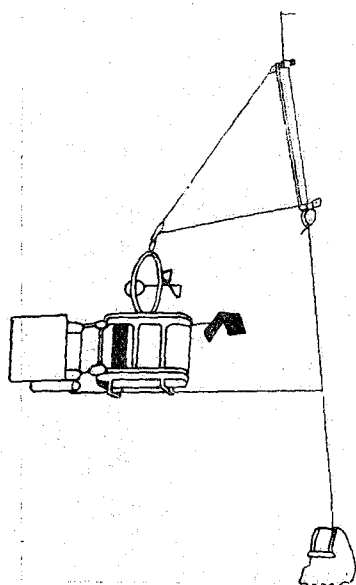


Рис. 4. Схема подвески метеорографа.

При двухчасовых промежутках между записями прибор в помещение не выносится; из прибора вынимается часовой механизм с барабаном и вносится в помещение для закрепления записи на закопченной ленте. Прибор выдерживается недалеко от автолебедки. Для выдержки прибора используется специальная защита в виде столба высотой в 2 м с легкой фанерной крышкой, которая поворачивается во все стороны. При скорости ветра меньше 6 м/сек. прибор вентилируется искусственно в продолжение 10—15 мин.

В протокол подъема записываются данные выдержки (как и по самолетному метеорографу), а также время начала и конца площадки, высота по тросу, натяжение троса, азимут и характеристика поведения аэростата. Если во время подъема аэростат достиг гравиты облаков, то в протоколе отмечается время вхождения прибора в облака и высота по тросу.

Пример записи аэростатного метеорографа Главной геофизической обсерватории дан на рис. 5.

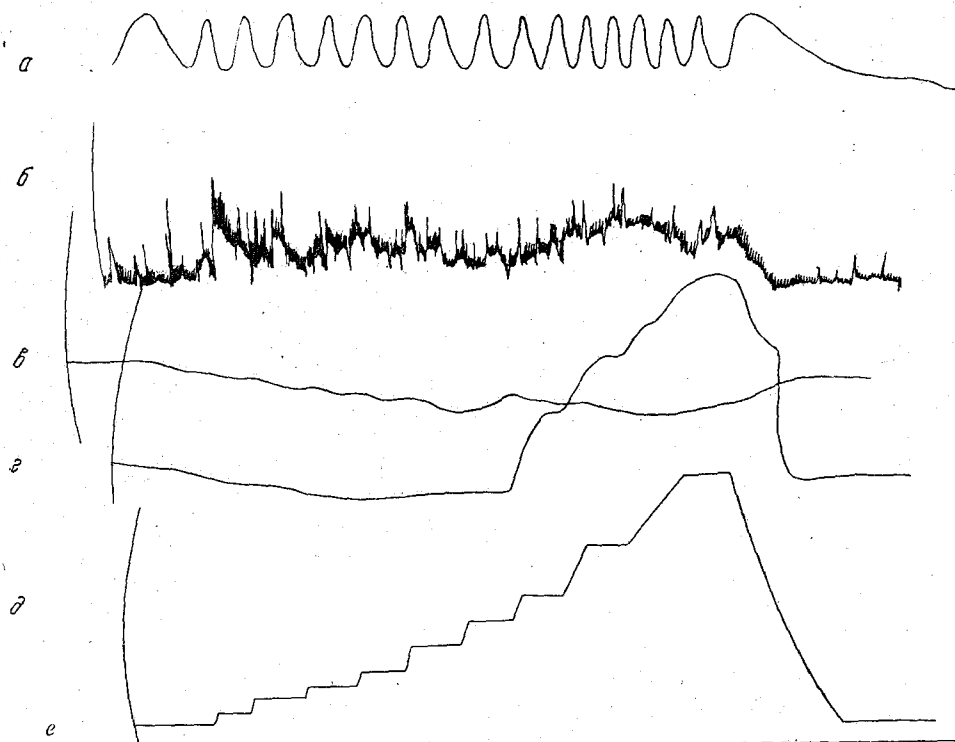


Рис. 5. Запись аэростатного метеорографа 2/IX 1954 г., 20 час. 12 мин. — 21 час. 28 мин., подъем № 38, метеорограф № 8.

Кривые записи: а — средней скорости ветра; б — порывистости ветра; в — температуры воздуха; г — влажности воздуха; д — давления атмосферы; е — постоянная фиксированная линия.

МЕТОДИКА ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ

Обработка метеорограмм производится в общем аналогично обработке соответствующих элементов самолетного зондирования [3], поэтому на процессе обработки остановимся лишь кратко.

После подъема закрепляют запись закопченной ленты и приступают к обработке записи. В обработку берутся следующие точки:

- 1) точки, соответствующие моменту снятия выдержки перед подъемом;
- 2) точки, соответствующие моменту снятия выдержки после спуска;
- 3) точки, соответствующие концам площадок с пятиминутными выдержками;
- 4) особые точки во время подъема (начало и конец инверсии, высота облаков и т. п.).

Одним из важных элементов обработки метеорограммы является синхронизация кривых, т. е. нахождение точек записей, соответствующих одному и тому же моменту времени. Как и при обработке других метеорограмм, синхронизация

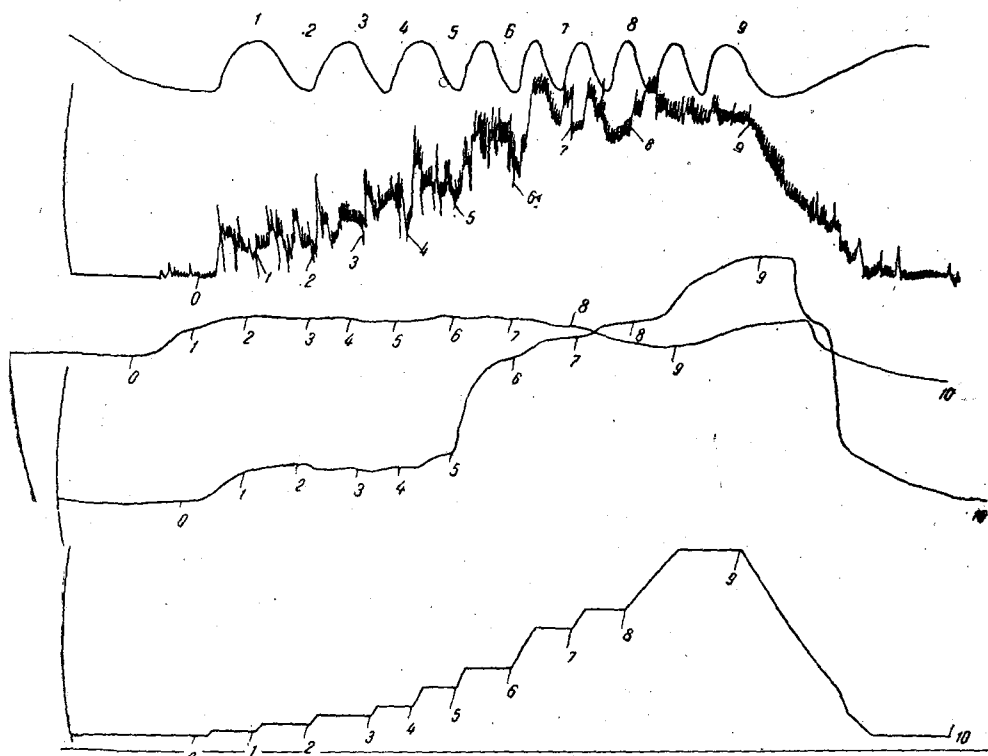


рис. 6. Запись метеорографа с размеченными синхронными точками, 25/VIII 1954 г., 19 час. 58 мин. — 21 час 27 мин., подъем № 15, метеорограф № 15.

Она производится с помощью планшета и целлулоидной пленки размером, соответствующим размеру метеорограммы. Метеорограмму кладут на планшет и закрепляют так, чтобы фиксированная линия оказалась на одной линии с линейкой планшета, затем накладывают на метеорограмму целлулоидную пленку. На пленке предварительно наносятся синхронные дуги температуры, давления, влажности воздуха, средней скорости и порывистости ветра. На кривой давления отмечают точки, соответствующие концам площадок, по которым и ведется обработка. Особые точки намечаются по кривым влажности и температуры.

После этого накладывают целлулоидную пленку на метеорограмму и совмещают дугу давления последовательно с каждой из отмеченных точек на кривой давления. Одновременно в точках пересечения дуг температуры, влажности воздуха, средней скорости и порывистости ветра с соответствующими кривыми на метеорограмме находят синхронные точки и намечают их. На рис. 6 приводится метеорограмма с размеченными синхронными точками.

Обработка значений метеорологических элементов для нанесенных на метеорограмме точек производится путем измерения расстояний от этих точек до фиксированной линии с помощью циркуля-измерителя или угольника.

Для получения значений метеорологических элементов необходимо иметь полный сертификат, содержащий кривые чувствительности приемников давления, температуры, влажности воздуха, средней скорости и порывистости ветра.

Обработка температуры

Прежде всего от фиксированной линии измеряются ординаты для момента выдержки и для особых точек и записываются в бланк ТАЭ-9 в графу „ординаты по прибору“. В нашем примере (см. рис. 6 и бланк обработки ТАЭ-9) ординаты для точек 0, 1, 2 и т. д. будут равны соответственно 38,6, 93,9, 96,3 мм.

Из ординаты при выдержке 88,6 мм вычитаются ординаты особых точек — 93,9, 96,3 мм и т. д., а разности 5,3, 7,7 и 7,5 мм записываются в графу „ордината по поверке“. Полученные разности умножают на коэффициент чувствительности, для нашего прибора равный $0,33^\circ$ на 1 мм изменения ординаты.

Таким образом, температура от точки 0 до точки 1 изменится на величину равную $5,3 \text{ мм} \times 0,33^\circ = 1,7^\circ$; от точки 0 до 2 — на величину $7,7 \times 0,33^\circ = 2,5^\circ$ и т. д. Эти значения записываются в графу „ордината по поверке“ знаменателем. Так как с повышением температуры перо в приборе идет вверх, что соответствует увеличению ординаты, то температура в точках 1, 2, 3 будет соответственно равна следующим значениям: $11,7^\circ$, $12,5^\circ$, $12,5^\circ$ и т. д. (см. графу „температура“).

Обработка давления

Так же, как и для температуры, измеряются от фиксированной линии ординаты для момента выдержки и для особых точек и записываются в графу „ординаты по прибору“ (ординаты 4,8, 5,2 мм и т. д.) бланка ТАЭ-9.

В первую строку графы „миллибары“ записывается снятое с барометра и приведенное к 0° значение давления с точностью до 0,1 мб, в нашем примере 788,4 мб.

По графику поверки отыскивается ордината, соответствующая полученному при выдержке значению давления, и записывается в первую строку графы „ордината по поверке“, в нашем примере 8,2 мм.

Из ординаты по поверке при выдержке, равной 8,2 мм, вычитается ордината по прибору при выдержке, равной 4,8 мм, и разность с ее знаком записывается над графой „ордината по прибору“. В нашем примере она равна 3,4 мм.

Найденная разность алгебраически складывается с выписанными ординатами по прибору для всех особых точек. Полученные суммы будут ординаты по поверке и записываются в эту графу на соответствующих строках. Для точек 1 и 2 получим ординаты 8,6 и 10,4 мм.

Согласно этим ординатам снимаются с графика поверки значения давления с точностью до 0,1 мб и записываются в графу „миллибары“.

В нашем примере для ординаты 8,6 мм снимаем давление 786,4 мб, для ординаты 10,4 мм — давление 783,6 мб.

В нашем приборе установлен термокомпенсатор, поэтому температурная поправка равна нулю. В тех случаях, когда температурная поправка отлична от нуля, необходимо ввести поправку к давлению, снятому с графика для всех точек. Для этого из температуры при выдержке вычитаются температуры особых точек и полученные разности с их знаком записываются в соответствующую графу.

Эти разности умножаются на поправочный коэффициент $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ и полученные произведения, являющиеся поправкой к давлению, записываются с их знаками в графу „поправка на t° “, причем знаки поправки будут те же, что и знаки разностей температур, найденных, как сказано, выше. Поправки округляются до 0,1 мб.

Найденные поправки алгебраически суммируются с давлениями, снятыми с графика поверки, и суммы записываются в графу „миллибары (исправ.)“.

По гипсометрической таблице для всех значений давления находятся высоты 0° и записываются в соответствующую графу. Для давления 788,4 мб высоту 1902 м, для 786,4 мб — высоту 1921 м и т. д.

Из каждой последующей высоты вычитается предыдущая и полученная разность знаком записывается в графу „толщина слоя“ (19, 30 м и т. д.).

Для каждого слоя должна быть введена температурная поправка. Для этого берутся значения средней температуры слоев и с их знаками записываются в виде итератора в графу „Средняя t слоя“.

По номограмме находятся значения температурных поправок и с их знаками записываются в ту же графу в виде знаменателей. Знаки поправок те же, что и знаки средних температур слоев.

Для точки 1 средняя температура слоя будет 10,8° и поправка равна 1, для точки 2 средняя температура слоя 12,1° и поправка равна 2.

Далее в первую строку колонки „абсолютная высота над уровнем моря“ записывается 0 (нуль). К нему алгебраически прибавляется исправленная на температурную поправку толщина первого слоя, полученная величина записывается в первую строку той же графы (20 м).

К этой высоте 20 м алгебраически прибавляется исправленная толщина второго слоя, например 32 м, и результат записывается в третью строку той же графы — 52 м и т. д.¹

Обработка влажности

Ординаты для момента выдержки и для особых точек измеряются от фиксированной точки и записываются в графу „ординаты по прибору“ (в нашем примере — 1, 62,8, 64,0 мм и т. д.).

В первую строку графы „влажность“ записывается влажность, полученная по расчету психрометра Ассмана при выдержке метеорографа (в нашем примере 91%).

По графику поверки отсчитывается ордината, соответствующая полученной при выдержке влажности, и записывается в первую строку графы „ордината поверки“. Влажности 91% соответствует по поверке ордината 45,0 мм.

Из ординаты по поверке при выдержке, равной 45,0 мм, вычитается ордината по прибору при выдержке, равная 56,1 мм, и разность с ее знаком записывается в графу „ордината по прибору“. Она равна — 11,1 мм. Найденная разность алгебраически складывается с записанными ординатами по прибору для всех точек. Получаем ординаты 51,7, 52,9 мм и т. д. Полученные суммы будут ординатами по поверке. По этим ординатам с графика поверки снимаются значения относительной влажности с точностью до 1% и записываются в графу „влажность“. Ординате 51,7 мм соответствует влажность 80%, 52,9 мм — влажность 79%. Весьма желательно вводить поправки на инерцию волоса, например, по методу, разработанному Центральной аэрологической обсерваторией [5].

Обработка средней скорости ветра

По метеорограмме снимается расстояние между двумя зубцами пилообразной кривой в миллиметрах и записывается в колонку „ордината по прибору“. По поверочному графику находится средняя скорость ветра и записывается на соответствующих строках графы „м/сек.“

На приведенной метеорограмме (рис. 6) для точек 1 и 2 расстояние между зубцами равно 20,0 мм, по поверочному графику находим соответствующее значение скорости ветра, равное 5,6 м/сек.; для третьей точки расстояние между зубцами равно 16,0 мм, а по графику значение скорости ветра будет 5,6 м/сек. и т. д.

Обработка порывистости ветра

Производят осреднение записи на метеорограмме максимальных и минимальных порывов для каждой площадки.

¹ В обработке высота указывается над поверхностью земли.

Пункт		Год	Дата	Час	Облачность							Синоптическая обстановка				
Терскол		1954	25,8	20,0	‰											
H м		2	25	50	100	150	200	300	400	500	700	900				
P мб		788	786	784	780	774	770	761	752	742	724	707				
t °		10,0	11,8	12,5	12,5	12,4	12,3	12,5	12,5	12,4	11,2	10,2				
f %		91	80	79	81	78	75	52	42	39	29	20				
q г/кг		8,9	8,8	9,0	9,2	9,5	9,2	6,7	5,0	4,7	3,5	2,2				
γ °		-7,20	-2,80	0,00	0,20	0,20	-0,20	0,00	0,10	0,60	0,50					
напр. °		315	338	292	292	315	315	338	338	338	338	338				
V м/сек.		4	6	6	6	7	7	9	10	11	11	11				
ΔV м/сек.		—	±0,3	±0,5	±1,3	±1,3	±0,9	±0,3	±0,4	±0,5	±0,5	±0,5				
Общий ход γ		Тип γ		Груп. обл.		Тип погоды		Примечание					№ п/л			

Ветер

нимают ординаты от фиксовой линии до соответствующих средних линий на той площадке и записывают в графу „q“ бланка ТАЭ-9.

По найденным значениям ординат с графика порывистости ветра снимают значения условной скорости ветра и записывают в графу „Td“.

Находят разность скорости ветра между максимальным и минимальным порывом для каждой площадки. Эта разность, деленная пополам, дает характеристику чины порыва в м/сек. и записывается в графу „q₀“.¹

По материалам обработки строят график распределения температуры, давления влажности по стандартным высотам. Данные зондирования после обработки вносятся в сводный бланк ТАЭ-7.

В дальнейшем на каждый подъем составляется отдельная карточка (стр. 10). Все основные величины в этих карточках заполняются из бланка ТАЭ-7. Заполнение граф „общий ход γ“, „тип γ“ и др. производится согласно принятой в ГГО методики аэроклиматической обработки аэростатных подъемов, изложенной в работе [2].

ПОВЕРКА АЭРОСТАТНОГО МЕТЕОРОГРАФА

Внешний осмотр

Перед проверкой прибор подвергается внешнему осмотру, основные требования которого следующие:

- 1) перья должны касаться поверхности барабана с надетой на него бумагой и передвигаться по бумаге с легким равномерным трением;
- 2) перья при своем движении не должны задевать друг за друга;
- 3) ось барабана должна быть прямой, а барабан должен вращаться плавно;
- 4) приемники температуры и давления не должны иметь погнутостей, царапин, трещин;
- 5) приемники температуры и давления должны быть никелированными;
- 6) волоски приемника влажности должны быть целы и равномерно натянуты;
- 7) полушария приемника средней скорости должны иметь правильную полуэллиптическую форму и быть уравновешенными;
- 8) рамка прибора, несущая приемники, барабан и все остальные детали, должна быть прочной и жесткой;
- 9) крыльчатка приемника порывистости не должна иметь погнутостей и должна быть надежно закреплена на оси.

Проверка приемника давления

Приемник давления аэростатного метеорографа проверяется при положительной температуре под колоколом воздушного насоса. Прибор устанавливается под колоколом так, чтобы удобно было производить отсчеты положения пера (если барабан наклеена миллиметровая бумага) или следить за записью на барабане (если барабан закопчен).

Проверка приемника давления производится от атмосферного давления у земли от наименьшего для данного типа метеорографа и обратно, ступеньками через 0 мб. На каждой из проверяемых точек выдержка длится 3—5 мин., а на точке, соответствующей наименьшему давлению метеорографа, — 30 мин.

Отсчет температуры по манометру производится с точностью до 0,1°, отсчет манометра дается с точностью до 0,1 мм, отсчет пера производится с точностью до 0,1 мм.

Отсчеты показаний манометра в миллиметрах переводятся в миллибары после введения инструментальной поправки, поправки на приведение к 0° и на широту места.

¹ Вычисление удельной влажности производится только для стандартных высот при составлении таблиц. Вычисление температуры точки росы и удельной влажности при полном насыщении нами не производится.

Результаты поверки приемника давления при положительной температуре наносятся на график. На горизонтальной оси откладываются миллиметры ординат ленте в масштабе 1 мм ординаты по ленте равен 5 мм бумаги, а на вертикальной оси откладывается давление по манометру в масштабе 1 мм давления равен 5 мм бумаги.

Поверка приемника давления при отрицательной температуре не производится ввиду того, что барокоробки близко расположены к часовому механизму и при погружении их в спирт неизбежно погружение подвижных сочленений указателя что нарушает их работу.

Определение температурной поправки метеорографа производится при естественном давлении и при перепаде температур 25—30°. При обработке поправки вводится со знаком плюс или минус в зависимости от температуры в момент подъема.

Поверка приемника температуры

Поверка приемника температуры производится в двухстенном металлическом бачке с охлажденным спиртом. Поверка начинается с низкой температуры и проводится в сторону ее повышения (в пределах от -40 до +40°).

Отсчеты производятся через каждые 10°. Погрузив прибор приемником в спирт нужно подождать до тех пор, пока перо прекратит свое движение, а на ленте получится прямая запись. После этого отсчитывают контрольный термометр с точностью до 0,1° и записывают его рядом с отметкой на ленте метеорографа.

Результаты поверки приемника температуры наносятся на график в масштабе 1° = 5 мм бумаги, 1 мм ординаты равен 5 мм бумаги.

Если в результате нанесения кривой график получится ломаный, то необходимо вычислить для каждого участка этой ломаной значение Δt и надписать его. График чертится на том же листе бумаги, где нанесены результаты поверки приемника давления.

При поверке приемника температуры гитарка из обезжиренных волос должна быть снята.

Поверка приемника влажности

Приемник влажности поверяется в гигростате. Влажность в гигростате определяется по аспирационному психрометру. Поверку начинают с влажности, близкой к 100%, после чего влажность последовательно понижают до 90—85, 60, 40 и, наконец, 30%. После того, как в гигростате получена нужная влажность, прибор выдерживается на каждой точке 5—7 мин.

Результаты поверки наносятся на график, который чертится на том же листе бумаги. По горизонтальной оси наносятся ординаты в миллиметрах, по вертикальной — влажность в процентах. Масштаб построения следующий: влажность 1% = 1 мм на бумаге, 1 мм ординаты по ленте равен 1 мм на бумаге.

Поверка приемника средней скорости ветра

Поверка приемника средней скорости ветра прибора производится в аэродинамической трубе. Прибор устанавливают в рабочем поле трубы на специальном штативе так, чтобы полушария находились в центре поля. Прежде чем приступить к поверке узла средней скорости ветра, определяют начальную чувствительность полушарий, для чего включают трубу и медленно повышают скорость потока. В тот момент, когда полушария прибора начнут вращаться, снимают отсчет микроманометра, соединенного с трубкой Пито. Переведя показания микроманометра в скорость ветра в м/сек., получают начальную чувствительность прибора.

Поверка приемника средней скорости ветра производится на следующих скоростях потока: первую точку необходимо брать близкой к начальной чувствительности прибора, а дальше по следующим ступеням 3, 5, 7, 9, 12, 15, 18 и 20 м/сек.

Включают часовой механизм прибора и по микроманометру устанавливают последовательно нужные скорости потока. При вращении вертушки перо прочер-

лет пилообразную кривую. Время, необходимое для получения нужной записи на ленте, уменьшается с увеличением скорости потока.

Во время работы приемника средней скорости на каждой скорости снимают 5 отсчетов микроманометра и берут среднее значение. По рабочей таблице определяют скорость потока в м/сек.

Проверка прибора производится дважды: с вытяжным раструбом и с работающим вентилятором.

Средняя скорость ветра определяется на основании тарировочной кривой, которая вычерчивается так: по горизонтальной оси откладывают скорость в м/сек., в масштабе 1 м/сек. = 2 см, а по вертикальной оси — расстояние между зубцами пилообразной кривой в масштабе 1 мм расстояния между зубцами равно 5 мм шага.

Проверка приемника порывистости ветра

Проверка приемника порывистости ветра метеорографа производится в аэродинамической трубе на тех же скоростях, что и приемника средней скорости

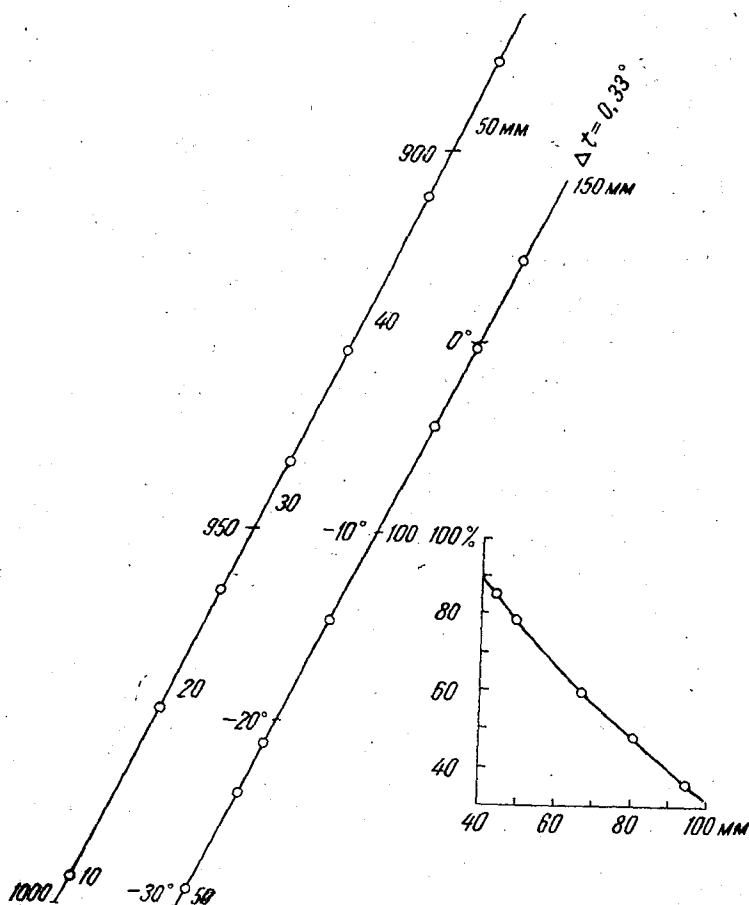


Рис. 7. Проверка аэростатного метеорографа.

ветра. Прибор устанавливают на специальном штативе или подвешивают на растяжках в центре рабочего поля трубы. Задается определенная скорость потока и делается выдержка пробора при этой скорости. На ленте получается ступенчатая запись. Обычно проводится 2—3 записи положений приемника порывистости в диапазоне скоростей 2—20 м/сек. По миллиметрам ординаты ступеньки, отсчи-

танной от фиксовой линии, и скорости потока в трубе в м/сек. строится тарировочная кривая в следующем масштабе: 1 м/сек. = 2 сек. и 1 мм ординаты равна 5 мм бумаги. Графики поверки аэростатного метеорографа приводятся на рис. 7 и Масштаб взят произвольный.

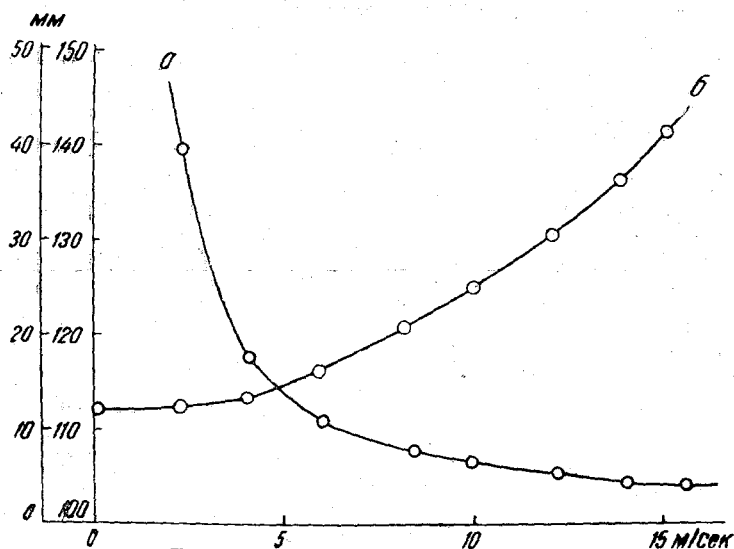


Рис. 8. Поверка средней скорости и порывистости ветра аэростатного метеорографа.

а — средняя скорость ветра; б — порывистость ветра.

Чувствительность приемников

1. Чувствительность приемника температуры должна быть $0,3-0,4^{\circ}$ на 1 мм смещения пера по ленте.
2. Чувствительность приемника давления должна быть $3,5-4,0$ мб давления на 1 мм ленты.
3. Температурная поправка не должна быть более $0,1$ мб на 1° изменения температуры.
4. Чувствительность приемника влажности должна быть от 3 до 4% на 1 мм смещения пера.
5. Приемник средней скорости ветра в виде полушарий работает при ветре от $1,0-1,5$ до 20 м/сек.
6. Приемник порывистости начинает регистрацию с $2,0$ до 20 м/сек.

Полная поверка прибора производится один раз в три месяца, контрольная поверка — раз в месяц [4].

ТОЧНОСТЬ АЭРОСТАТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Полученные при обработке метеорограммы значения метеорологических элементов включают в себя совокупность погрешностей как инструментальных, так и возникающих в процессе обработки.

К инструментальным погрешностям относятся: инерция приемников, трение в передаточном механизме и гистерезис. К погрешностям обработки относятся погрешности в снятии ординат с метеорограмм, в отсчете ординат по поверке и в отсчете значений измеряемых элементов по поверке.

При оценке порядка ошибки принимается, что ошибки поверки метеорографа и отсчетов по абсолютным приборам при выдержке равны нулю. Погрешность, вызываемая влиянием прямой солнечной радиации, здесь не рассматривается, так как этой ошибки при вентиляции приемников и двойной защите кожуха не обнаружено.

Подсчет ошибок по каждому измеряемому элементу дал следующие результаты.

Давление

. Инерция приемника давления может быть приравнена нулю. Так как при ровке прибора кривые подъема и спуска практически совпали, то на гисте-с поправка не вводится.

2. Погрешность, вызываемая трением в передаточном механизме, определялась-ся способами: во-первых, измерением смещения пера при сотрясении прибора, идущегося в покое; среднее смещение оказалось равным $\pm 0,42$ мм при крайних юнениях от $-0,8$ до $0,3$ мм; во-вторых, сравнением ординат при подъеме и же прибора при неизменном наземном давлении. Средняя разность оказалась-юй $\pm 0,26$ мм при крайних отклонениях $0,7-0,3$ мм. Выражая большее из сред-смещений в единицах давления по чувствительности, получим

$$\Delta B_2 = 2,02 \cdot 0,42 = 0,85 \text{ мб.}$$

3. Принимая во внимание, что толщина записи рассматриваемого метеорографа-зя же как и у самолетного метеорографа, следует признать одинаковой и точ-ть снятия ординат с метеорограммы, т. е. $\pm 0,2$ мм. В переводе на давление-составит

$$\Delta B_3 = 2,02 \cdot 0,2 = 0,40 \text{ мб.}$$

4. Отсчет ординат по сертификату поверки записывается с ошибкой $\pm 0,2$ мм. нако влияние этой ошибки уменьшается с увеличением масштаба ординат в сер-рикате. Принимая масштаб 1 мм ординаты на метеорограмме равен 5 мм орди-ы на сертификате, получаем погрешность, выраженную в единицах давления:

$$\Delta B_4 = 0,2 \cdot 0,2 \cdot 2,02 = 0,08 \text{ мб.}$$

5. Одновременно с неточностью отсчета ординаты по сертификату независимо-ного возникает ошибка в отсчете по кривой сертификата. Линейные размеры-сой погрешности также равны $\pm 0,2$ мм. Для уменьшения ошибки, выраженной-единицах давления, масштаб на сертификате принят $1 \text{ мб} = 5 \text{ мм}$, благодаря-му погрешность в снятии значений давления оказывается равной

$$\Delta B_5 = \pm 0,08 \text{ мб.}$$

Все рассматриваемые погрешности являются случайными и независимыми,, максимальная погрешность может быть найдена по формуле

$$\Delta B_{\max} = \pm \sqrt{\Delta B_2^2 + \Delta B_3^2 + \Delta B_4^2 + \Delta B_5^2}$$

и

$$\Delta B_{\max} = \pm \sqrt{0,72 + 0,16 + 0,01 + 0,01} = \pm 0,95 \text{ мб.}$$

Средняя же погрешность, составляющая одну треть максимальной, равна- $B_{\text{ср}} = \pm 32 \text{ мб} \approx \pm 0,3 \text{ мб.}$

Из сравнения 18 случаев давления по метеорографу после спуска и по баро-етру получены расхождения в пределах от $1,2$ до $-0,7$ мб, а в среднем- $\approx 0,39 \text{ мб.}$

Температура

1. Зная зависимость коэффициента инерции от скорости ветра, можно подсчи-ать поправку при подъеме как

$$\Delta t = \alpha \gamma \frac{\Delta h}{100},$$

де γ — вертикальный градиент температуры, а Δh — скорость подъема в м/мин.. При стоянии аэростата поправка может быть вычислена по формуле

$$\Delta t = \alpha \frac{t_2 - t_1}{\Delta \tau},$$

де t_1 и t_2 — значения температуры по показаниям метеорографа в начале и конце-промежутка времени $\Delta \tau$, для которого производится обработка.

2. Влияние трения в передаточном механизме определялось, как и для давле-ния, двумя способами. Первый способ дал среднее отклонение $\pm 0,7$ мм при край-

них значениях от $-0,4$ до $2,0$ мм; второй — среднее отклонение $\pm 1,0$ мм крайних от $-2,2$ до $1,0$ мм. Принимая большее из найденных средних значений, получим следующую погрешность в переводе на температуру:

$$\Delta t_2 = 1,00 \cdot 0,33 = 0,33^\circ.$$

Принимая во внимание, что точность снятия ординат с метеорограммы и с графика поверки, а также отсчетов температуры по кривой поверки равна $0,2$ мм, учитывая масштаб на сертификате — 1 мм ординаты на метеорографе равен 5 мм на графике и 1° температуры равен 5 мм на графике, получим (по аналогии расчета погрешностей давления) расчет погрешностей температуры.

3. Погрешность при снятии ординаты с метеорограммы

$$\Delta t_3 = 0,33^\circ \cdot 0,2 = 0,07^\circ.$$

4. Погрешность при отсчете ординаты по поверке

$$\Delta t_4 = 0,33^\circ \cdot 0,2 \cdot 0,2 = 0,013^\circ.$$

5. Погрешность при отсчете значения температуры по поверке

$$\Delta t_5 = 0,33^\circ \cdot 0,2 \cdot 0,2 = 0,013^\circ.$$

Максимальная погрешность

$$\Delta t_{\max} = \pm \sqrt{0,33^2 + 0,07^2 + 0,013^2 + 0,013^2} = \pm 0,33^\circ,$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \pm 0,11^\circ \approx \pm 0,1^\circ.$$

Из сравнения 19 пар значений температуры по метеорографу при выдержке после спуска с введенной поправкой на инерцию и по психрометру получены крайние расхождения от $-0,9$ до $+0,5^\circ$, среднее $\pm 0,4^\circ$.

Влажность

1. Поправка на инерцию может быть подсчитана так же, как и для термометра. 2. Влияние трения определялось так же, как и для температуры (или давления). Первый способ дал среднее смещение пера $\pm 2,5$ мм, второй $\pm 1,7$ мм при крайних отклонениях от $-5,0$ до $+3,6$ мм.

Принимая для расчета большее из найденных средних значений, получим погрешность в переводе на единицы влажности по средней чувствительности:

$$\Delta F_2 = 1,4 \cdot 2,5 = \pm 3,5\%.$$

Поверка вычерчивается в ординарном масштабе. Поэтому погрешности при снятии ординат по метеорограмме, нахождении их на сертификате поверки и при отсчете значения влажности одинаковы и равны $0,2$ мм, а в переводе на единицы влажности по средней чувствительности:

$$\Delta F_3 = \Delta F_4 = \Delta F_5 = 0,2 \cdot 1,4 = 0,28\%.$$

Максимальная погрешность равна:

$$\Delta F_{\max} = \pm \sqrt{3,5^2 + 3(0,28)^2} \approx \pm 3,5\%,$$

$$\Delta F_{\text{ср}} = \pm 1,2\%.$$

Из сравнения 20 пар значений влажности, полученных по метеорографу после спуска, с влажностью, определенной по психрометру, получилось среднее расхождение $\pm 2,4\%$ при крайних отклонениях от -7 до $+5\%$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцов П. А., Селицкая В. И. Аэростатный метеорограф. Труды ГГО, вып. 38 (100), 1953.
2. Воронцов П. А. О методике аэроклиматических обработок материалов аэростатных подъемов. Труды ГГО, вып. 47 (109), 1954.
3. Калининский А. Б., Пинус Н. З. Аэрология. Гидрометеиздат, Л., 1951.
4. Наставление гидрометстанциям и постам, вып. 4, ч. 3. Гидрометеиздат, Л., 1946.
5. Решетов В. Д. Об инерции и чувствительности волосного гигрометра при низких температурах. Труды ЦАО, вып. 2, 1953.

МЕТОД УРАВНОВЕШЕННЫХ ШАРОВ-ПИЛОТОВ И ШАРОВ С ЗАМЕДЛЕННОЙ СКОРОСТЬЮ ПОДЪЕМА

Уравновешенным шаром-пилотом называется такой шар, подъемная сила которого равна нулю.

Уравновешенные шары применяются для исследования траекторий воздушных масс над различными участками земной поверхности в приземном слое атмосферы. помощью уравновешенных шаров для каждой траектории можно получить: а) высоты восходящих и нисходящих потоков воздуха, б) скорости восходящих и нисходящих потоков, в) распределение вертикальных скоростей на разных участках подъема воздуха, г) время сохранения пульсаций одного знака, д) скорости, е) углы наклона воздушного потока к горизонту.

Сопоставляя получаемые величины с распределением по высоте температуры воздуха и скорости ветра и со строением подстилающей поверхности или отдельными составляющими теплового баланса, можно получить характеристики условий развития конвективной и динамической турбулентности, найти их связь со строением земной поверхности и т. д. Как правило, исследования ограничиваются слоем 0—500 м и расстоянием в 2—3 км от точки выпуска и только в отдельных случаях могут достигать высоты 1 км и удаления в 4—5 км.

Несмотря на ряд чрезвычайно интересных исследований, которые можно проводить этим методом, сведений в литературе о его применении имеется немного. Известно это, очевидно, некоторой сложностью обработки результатов наблюдений, главным, слабой разработкой самого метода, особенно в вопросах точности измерений. Метод уравновешенных шаров имеет целый ряд специфических особенностей в сравнении с обычным методом базисных шаров-пилотов. Недоучет этих особенностей может привести к серьезным ошибкам в измерениях и выводах. Ниже излагается методика наблюдений и первичной обработки материала и рассматривается точность метода.

МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ

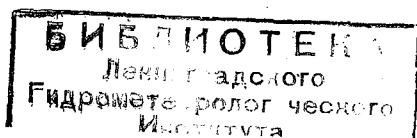
Определение положения уравновешенного шара в пространстве в каждый момент времени производится аналогично расчетам при базисных наблюдениях за базисными шарами-пилотами.

Поэтому метод уравновешенных шаров имеет много общего с методом базисных шаропилотных наблюдений, но имеет также и свои особенности.

Выбор базы

Наблюдения за уравновешенными шарами ограничиваются удалением шара не более чем на 2—3 км от точки наблюдений. При скорости ветра в 5 м/сек. продолжительность наблюдений составляет 7—10 мин. Принимая за необходимую длину базы $\frac{1}{6}$ — $\frac{1}{7}$ от удаления шара, можно ограничить размер базы величиной 250—400 м.

Для более точного вычисления высоты шара необходимо выбирать направление базы по возможности перпендикулярным к направлению преобладающих смещений



шара, хотя бы в первые 1—2 минуты после его выпуска. Обычно при меняющемся направлении ветра приходится выбирать не менее двух баз, примерно перпендикулярных одна другой, и в зависимости от направления ветра производить наблюдения на одной из них.

Для каждой базы необходимо знать ее длину с точностью до 1 м, магнитный азимут и превышение концов базы округленно до 0,2 м. Определение всех этих величин производится обычными для базисных наблюдений способами.

Наблюдения за уравновешенными шарами чаще всего являются кратковременными и эпизодическими, поэтому никакого особого оборудования базы не проводится, отмечается только колышками место установки теодолитов на концах базы.

Для лучшей синхронизации отсчетов углов при наблюдениях желательно иметь телефонную или радиотелефонную связь концов базы.

Подготовка шара к выпуску

Для уравновешенных шаров применяются оболочки № 10, 15 и 20 в зависимости от задания. Шар наполняется водородом до подъемной силы 100—120 для оболочек № 20 и 20—30 г для № 10. Для уменьшения вертикальных смещений, вследствие небольших изменений подъемной силы, применяются демпферы различной формы. В практике работы Главной геофизической обсерватории в качестве демпфера, по предложению П. А. Молчанова [2], употребляется по веска к шару в виде легкой квадратной рамы из лучины, оклеенной газетной или другой бумагой размерами 60×60 или 40×40 см. Подвески данных размеров уменьшают в два-два с половиной раза небольшие собственные вертикальные смещения шара по сравнению с шаром без подвески.

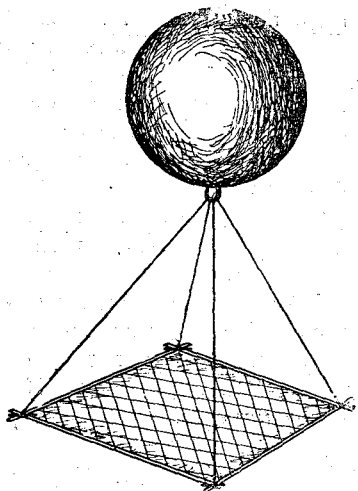


Рис. 1. Уравновешенный шар с подвеской.

При попадании уравновешенного шара с бумажной плоскостью в восходящий или нисходящий поток подвеска никакого задерживающего влияния оказывать не будет, так как шар поднимается вместе с воздушным потоком и с его же вертикальной скоростью, конечно при условии, что размеры воздушного потока больше размеров бумажной плоскости (рис. 1).

Одной из наиболее ответственных операций метода уравновешенных шаров является уравнивание шара. Шар перед выпуском должен иметь подъемную силу, равную нулю и во время полета по возможности сохранять ее постоянной.

Для уравнивания шара необходимо выбрать место, защищенное от ветра, но открытое для лучей солнца. При ясной безоблачной погоде уравнивание необходимо производить обязательно на солнце. Наиболее просто уравнивание производится при сплошной облачности

нижнего и среднего ярусов. При переменной облачности с большим количеством просветов уравнивание делается на солнце, выпуск шара необходимо делать в такой момент, чтобы первые 7—10 мин. он все время был освещен. При малом количестве просветов уравнивание нужно делать, наоборот, в момент закрытия солнца облаками и выпускать шар в такие моменты, чтобы он большую часть времени находился в тени от облака.

Для освещения шара, выпускаемого ночью, внутрь его вставляется электролампочка от карманного фонарика.

В некоторых случаях исследование траекторий воздушного потока можно производить на нескольких уровнях одновременно. Для этой цели применяют принудительный подъем уравновешенных шаров на заданные высоты. Подъем уравновешенных шаров можно совершать разными способами, в частности на самолете

привязном аэростате. Но до высот 400—500 м при скоростях ветра не более 6 м/сек. наиболее пригоден подъем их при помощи шара-тягача. При больших скоростях ветра шары могут отнесены слишком далеко от точки выпуска. Метод крепления уравновешенных шаров 3 и 4, подготовленных к подъему на шар-тягаче 1, дан на рис. 2. Шары после уравновешивания прикрепляются друг к другу тонкой ниткой. Верхнему шару-тягачу дают такую подъемную силу, чтобы он поднял всю систему на заданную высоту. В заданное время с учетом распределения скорости ветра по высотам. К нитке, соединяющей шары, привязывается за середину пеньковый шнур 2, скорость подъема которого должна быть заранее определена. Зная высоту подъема до заданной высоты, отрезают необходимую длину шнура и перед самым выпуском поджигают временно оба его конца. Неудобство этого способа заключается в необходимости иметь большое количество наблюдателей (за каждым шаром наблюдают и ведут отсчеты четыре человека). Установка теодолитов по базе проводится так же, как и при базисных наблюдениях, только теодолиты сдвигаются на полтора-два метра в одну сторону так, чтобы не закрывать шар во время наблюдения.

Наблюдения за шаром

Перед выпуском уравновешенного шара записывают зарекомендовавшуюся книжку первого пункта место наблюдений, номер базы, номер оболочки, длину окружности шара, температуру и влажность воздуха, атмосферное давление, количество и форму облаков, скорость и направление ветра на высоте полтора-два метра, размер подветренной стороны, условия, в которых проходило уравновешивание шара (на солнце, в тени, при переменной облачности), выходы наводки и перекидки на соседнюю базу или на другую точку выпуска шара, если шар выпускается в стороне от концов базы. База и место выпуска шара выбираются соответственно с учетом направления ветра так, чтобы через несколько минут после выпуска шар шел по возможности перпендикулярно к базе. Если имеется запасной наблюдатель кроме четырех, необходимых для наблюдений за шаром (отсчеты углов у теодолитов), то место выпуска может находиться на расстоянии 200—300 м от базы в сторону, откуда дует ветер. В этом случае выпущенный шар через некоторое время должен пересечь базу или ее продолжение.

Если шар находится в стороне от базы, то на него до выпуска должна быть соответственно взята наводка по теодолитам с обоих концов базы.

Если запасного наблюдателя не имеется, то выпуск шара производится с одного пункта базы, о чем указывается в шаропилотной книжке.

Особых мер предосторожности при выпусках уравновешенных шаров в ясную или облачную погоду не требуется. При выпуске же уравновешенного шара в переменную облачность необходимо дождаться такого момента, чтобы за 2—3 мин. до выпуска и в полете шар по возможности находился в тех же условиях, при которых было произведено его уравновешивание. Ввиду небольшой продолжительности наблюдений за уравновешенными шарами, в среднем не более 10 мин., выбор таких моментов для выпуска шара не представляет больших трудностей. В большинстве случаев выпуски уравновешенных шаров производятся при ветре со скоростью не более 6—7 м/сек.

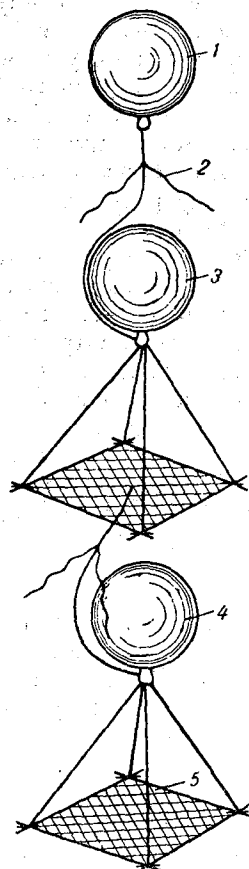


Рис. 2. Схема крепления нескольких уравновешенных шаров.

1 — шар-тягач; 2 — пеньковый шнур; 3, 4 — уравновешенные шары; 5 — подвеска.

При выпуске нескольких уравновешенных шаров каждый шар закрепляется за отдельной бригадой из четырех человек наблюдателей, которые проводят записи и наблюдения за своими шарами.

Время выпуска шара и включение секундомеров сигнализируется по телефону или взмахом флага, а при малой длине базы — голосом или свистком, при ночных наблюдениях применяются световые сигналы — обычно электролампочки карманного фонаря. Отсчеты горизонтальных и вертикальных углов ведут через 15 сек. до конца наблюдений, но при больших удалениях шара после 5—7 мин. отсчет можно делать уже через 30 сек. В шаропилотной книжке необходимо заранее разметить строки графа для записи углов через 15 сек.

В случае, если по каким-либо причинам отсчет не был сделан, то в графе соответствующего времени делают прочерк.

При таких частых отсчетах углов синхронность их измерений особенно важна, поэтому расхождения секундомеров не должны быть более 1 сек. на 30 мин.

Во время наблюдений, особенно при быстро меняющейся облачности, нужно обязательно указывать, был ли шар на солнце или в тени, что хорошо заметно на нем по солнечным бликам.

Если имеется запасной наблюдатель, то ему необходимо поручить зарисовать в отдельной тетради условия движения уравновешенного шара, указывая в плане и по вертикальному разрезу время, условия и ориентировочные величины изменений высоты или направления движения шара по отношению к частям горизонта или исследуемому объекту — лесной полосе, холму и т. д. Эти зарисовки после окончания обработки помогают более полно восстановить картину движения шара.

Закончив наблюдения, заносят в шаропилотную книжку те же данные, что и при базисных наблюдениях.

Первичная обработка материала

Перед началом обработки вычисляют поправки к горизонтальным и вертикальным углам первого и второго пунктов. Далее проводят анализ угловых величин по книжке и подчеркивают все отсчеты с резкими изменениями горизонтальных и вертикальных углов, т. е. переломные точки в движении шара.

Исправленные значения углов для всех переломных точек и точек кратных (30 сек. до 5 мин. наблюдений и через 1 мин. после 5 мин.) выписывают в блок обработки высот базисных наблюдений в хронологическом порядке. Проводя обработку высот шара чаще не рекомендуется из-за большой трудоемкости обработки и возрастания относительной ошибки.

Вычисление высоты шара проводят только по формулам проектирования на горизонтальную плоскость:

$$H_{\delta} = b \frac{\sin \beta}{\sin (\alpha - \beta)} \operatorname{tg} \delta \quad (1)$$

и

$$H_{\gamma} = b \frac{\sin \alpha}{\sin (\alpha - \beta)} \operatorname{tg} \gamma. \quad (2)$$

Обозначения углов обычно берут принятые при базисных наблюдениях.

Вычисление высот шара по формуле проектирования на вертикальную плоскость при наблюдениях за уравновешенными шарами не производится ввиду малых величин углов γ и δ .

По той же причине для углов δ и γ берут натуральные значения:

$\operatorname{tg} 0,1^{\circ} - 0,0018$	$\operatorname{tg} 0,4^{\circ} - 0,0072$
$\operatorname{tg} 0,2 - 0,0036$	$\operatorname{tg} 0,5 - 0,0087$
$\operatorname{tg} 0,3 - 0,0052$	$\operatorname{tg} 0,6 - 0,0104$

При углах γ и $\delta > 0,6^{\circ}$ расчет высоты шара можно производить по логарифмической линейке.

ри обработке высот шара точки обычно берут через 30 сек., а некоторые итительные точки — через 15 сек., если здесь наблюдаются резкие изменения ие горизонтальных и вертикальных углов.

ополнительно к обычной базисной обработке вычисляют величину удаления по горизонтали L по формуле

$$L = b \frac{\sin \beta}{\sin B},$$

$$B = \alpha - \beta.$$

ри вычислении высот шара могут получаться весьма малые положительные и ательные их значения, а также резкие различия в высотах двух соседних к, поэтому во избежание грубых ошибок необходимо иногда, хотя бы прибли- ю, определять порядок высоты шара. Делать это можно по ходу величины L ,

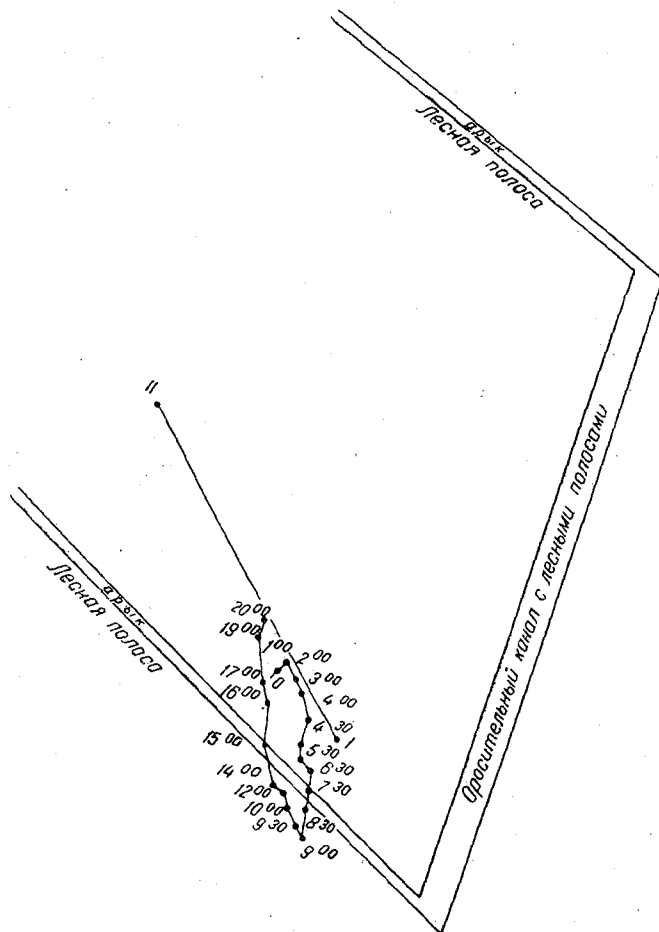


Рис. 3. График полета уравновешенного шара, 25/VII 1952 г., 14 час. 45 мин.

о значениям вертикальных углов и высотам соседних точек или заменяя в формулах (1) и (2) величины b , $\sin \beta$ и $\tan \delta$ приблизительными истинными значениями. Без такой ориентировки легко сделать грубые ошибки в высоте, взяв, например, 20 м вместо 0,2 м.

Вертикальные скорости шара W см/сек. получают делением разности средних высот, выраженных в сантиметрах, на промежуток времени в секундах между определениями этих высот.

t	1,0	2,0	3,30	4,0	4,30	5,30	6,30	7,80	8,30	9,0	9,30	12,0	13,0	15,0	16,0	17,0	19,0	20,0
L	15	25	30	55	70	88	95	115	135	160	165	113	100	65	25	100	45	60
H	1	4	25	28	31	33	45	51	44	39	34	33	47	76	73	54	10	0
W	2	5	23	10	10	3	20	10	-12	-17	-17	-1	23	24	-5	-32	-37	-2
d	205	205	315	325	360	313	345	348	345	345	133	144	120	145	165	140	155	179
V	0,2	0,2	0,3	0,8	0,8	0,3	0,2	0,3	0,4	0,1	0,5	0,2	0,2	0,3	0,6	0,3	0,4	0,3
$\frac{W}{V}$	0,10	0,25	0,77	0,12	0,12	0,10	1,00	0,33	-0,30	-0,17	-0,34	-0,05	1,15	0,80	-0,08	-1,07	-0,93	-0,07

После окончания вычислений высоты, удний и вертикальной скорости приступают к строению графика траектории шара.

Графики строятся для каждого уравновешенного шара. На миллиметровой бумаге обозначают точку I (первый пункт). Зная азимут ба откладывают под данным азимутом длину базы принятом масштабе, например, 1 см = 50 м и 1 см = 20 м (для коротких по времени наблюдений шаров). Из точки I по горизонтальному углу α и удалению шара L наносят постепенно все точки, вошедшие в обработку высоты, начиная обязательно с начальной точки выпуска шара.

Если в принятом масштабе точки выходят за пределы графика, то их далее наносят вновь уже в другом масштабе, уменьшенном в 2, 4 и 10 раз.

Форма графика для уравновешенного шара имеет вид, приведенный на рис. 3. Обычно здесь на графике делают таблицу, в которую занесут следующие данные: t — время, L — удаление шара от первого пункта в метрах, H — средняя высота шара в метрах, W — вертикальная скорость в сантиметрах в секунду (см/сек.), d — направление ветра между двумя соседними точками, V — скорость ветра в метрах в секунду (м/сек.). Направление ветра определяется при помощи транспортира.

Измерив длину пути в метрах между двумя соседними точками и разделив на промежуток времени в секундах между точками, определяют скорость ветра в метрах в секунду. Под графиком дается краткое описание условий движения шара.

Из бланка обработки высот и из графика можно получить высоты подъема и опускания шара, скорости восходящих и нисходящих потоков, время сохранения пульсаций одного знака, скорости ветра и т. д.

О точности метода

В работе автора [1] разобраны погрешности метода и сделан подсчет точности измерений. Здесь приведем только краткие выводы по данному вопросу.

При применении метода уравновешенных шаров погрешности могут возникать вследствие диффузии водорода из шара, разности температур водорода в шаре и окружающего воздуха, отдельных возмущений в движении шара, инструментальных ошибок, метода обработки и прочих видов ошибок.

Величина ошибок зависит от высоты наблюдений (поэтому подсчет высоты сделан для двух слоев — до 300 и 1000 м). Для уравновешенного шара с бумажным демпфером размером 60 × 60 см

Максимальная абсолютная ошибка в определении вертикальной скорости уравненного шара для слоя до 300 м составит ± 10 см/сек. и в слое до 1 км см/сек. Максимальная относительная ошибка соответственно составляет 15 %. Средние значения ошибок будут составлять одну треть от максимальных, примерно $\pm 5-8\%$ от значений вертикальной скорости для всех высот до

вычисление вертикальной скорости шара при малых его смещениях (меньше см/сек.) необходимо делать не чаще, чем через 30 сек.

Метод неприменим для измерения мелких пульсаций воздушного потока (с периодами менее 15—20 сек.), вихрей и струй диаметром менее 50—60 см.

Собственные движения уравновешенного шара с подвеской относительно невесомости, траектории движения шара будут близко следовать траектории воздушного потока. При наличии инверсии температуры воздуха или изотермии собственные движения шара будут особенно малы.

ШАРЫ-ПИЛОТЫ С ЗАМЕДЛЕННОЙ СКОРОСТЬЮ ПОДЪЕМА

Для детального исследования ветрового режима в нижнем слое атмосферы можно рекомендовать применение шаров-пилотов с замедленной скоростью подъема. С помощью этого метода можно исследовать значительно больший по толщине слой атмосферы по сравнению с методом уравновешенных шаров, получить более подробные данные о распределении направления и скорости ветра по высотам по сравнению с обычным шаропилотным методом, исследовать слои с поворотами ветра, в том числе и пространственное распределение уровней начала резкого изменения ветра, что весьма важно, например, при изучении распространения местной циркуляции, исследовать слои с повышенной турбулентностью и т. п.

Для этих целей нами использовались шары-пилоты (оболочка № 20) с подвешенной бумажной плоскостью, которым придавалась подъемная сила 5—10 г, т. е. вертикальная скорость порядка 25—50 см/сек.

Бумажная плоскость, подвешенная к шару, была такой же формы, как и при пусках уравновешенных шаров, служила демпфером, уменьшая мелкие собственные колебания вертикальной скорости шара при его полете на солнце или луне и делала более резкими броски шара при прохождении зон с повышенной турбулентностью.

Нами были проведены в здании Исаакиевского собора опыты по исследованию уменьшения скорости подъема шара с подвешенными бумажными плоскостями разного размера [3].

Хотя опыты были проведены только с шаром, имеющим подъемную силу 210 г и длину окружности 248 см, но приведенные числа могут быть использованы как ориентировочные и для других наполнений шара № 20.

Пользуясь данными табл. 1, можно значительно уменьшить вертикальную скорость шара, подбирая ее согласно заданию. В таблице относительная скорость подъема без бумажной плоскости принята за единицу.

Таблица 1

Значение относительной вертикальной скорости шара при различной подъемной силе

Подъемная сила, г	Размер бумажной плоскости, см				
	60 × 60	70 × 70	80 × 80	90 × 90	100 × 100
10	0,45	0,18	0,11	0,0	0,0
15	0,51	0,44	0,38	0,31	0,23
20	0,56	0,49	0,43	0,37	0,31
25	0,64	0,50	0,46	0,39	0,35

Примеры движения шаров-пилотов с замедленной скоростью подъема

24/VII 12 час. 24 мин. $\bar{W} = 45$ см/сек. $\bar{V} = 1,6$ м/сек. $A = 10$ г		t мин., сек.	0,15	0,30	1,0	1,30	2,0	2,30	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0
L м			37	65	132	202	275	352	419	520	550	545	560	570	585	598	632	657
H м			10	16	30	42	52	65	75	103	140	172	202	234	266	288	314	338
W см/сек.			—	40	47	40	33	43	33	47	62	52	50	53	53	37	43	40
d°			—	165	177	175	175	175	175	175	148	75	95	85	80	66	74	60
V м/сек.			—	2,3	2,3	2,3	2,5	2,6	2,3	1,7	0,6	0,7	0,8	0,9	1,2	1,5	1,6	1,4
ΔW см/сек.			—	—5	2	—5	—12	—2	—12	2	17	8	5	8	8	—8	—2	—5
ΔV м/сек.			—	0,7	0,7	0,7	0,9	1,0	0,7	0,1	—1,0	—0,9	—0,8	—0,4	—0,1	0,0	—0,2	—0,4

25/VII 6 час. 30 мин. $\bar{W} = 24$ см/сек. $\bar{V} = 1,0$ м/сек. $A = 5$ г		t мин., сек.	0,30	0,45	1,0	1,15	1,30	1,45	2,0	2,15	2,30	3,0	4,0	4,30	5,0	5,30	6,0	6,30
L м			69	59	51	47	44	46	52	56	59	61	67	70	76	90	—114	—132
H м			10	14	18	25	30	32	35	36	40	48	66	73	88	87	94	98
W см/сек.			—	27	27	47	33	13	20	7	27	27	30	23	50	—3	23	13
d°			—	335	15	15	34	34	45	60	65	100	110	136	136	136	130	146
V м/сек.			—	0,8	1,0	1,3	1,1	1,3	0,9	1,0	0,7	0,6	0,5	0,6	0,6	1,6	1,1	1,3
ΔW см/сек.			—	3	3	23	10	—11	—4	—17	3	3	6	—1	26	—27	—1	—11
ΔV м/сек.			—	—0,2	0,0	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

наблюдения за шарами с замедленной скоростью подъема и их обработка проводятся аналогично тем же операциям с уравновешенными шарами, поэтому влиять на них не будем.

В виде примера приведем результаты наблюдений за двумя шарами с замедленной скоростью подъема, проведенных в цимлянской экспедиции Главной геофизической обсерватории летом 1954 г.

В дополнение к уже указанным буквенным обозначениям в табл. 2 приведены: $\bar{V}$ — средние величины вертикальной скорости и скорости ветра, ΔW и ΔV — разность фактической вертикальной скорости или скорости ветра и средних значений этих элементов, A — подъемная сила шара с подвеской.

Как видно из приведенных примеров, в нижнем слое можно получить более полное распределение скорости и направления ветра по сравнению с обычными пилотными наблюдениями.

Удается точнее определить уровни начала и конца резкого вращения ветра. В наших примерах 24/VII — начало поворота 100 м, конец — 170 м, во втором случае 25/VII — этот поворот происходит постепенно до высоты 75 м. Более полным получается строение переходной зоны; как видно из первого примера, этот слой характеризуется уменьшением скорости ветра и ростом вертикальной скорости. Можно определить дальность распространения потока вглубь. В нашем примере 24/VII в 12 час. 24 мин. высота слоя морского бриза при удалении от точки выпуска на 550 м была 140 м.

По данным наших примеров получается, что рост ΔW сопровождается уменьшением ΔV и, наоборот, как правило, соблюдается даже по этим сравнительно редким измерениям выполнение уравнения неразрывности

$$\frac{dW}{dZ} = - \frac{dV}{dX}.$$

Метод позволяет получить и ряд других характеристик воздушного потока в нижнем километровом слое, применять его для исследования более высоких слоев 1 км слоев без дальнейшего совершенствования самой методики и аппаратуры целесообразно.

ЛИТЕРАТУРА

- Воронцов П. А. О точности метода уравновешенных шаров-пилотов. Труды ГГО, вып. 32 (94), 1952.
- Молчанов П. А. Результаты аэрологического обследования озера Плещеево. Труды ГГО, вып. 7, 1936.
- Воронцов П. А. Уравновешенные шары-пилоты. Журнал „Метеорология и гидрология“, № 8, 1938.
- Калиновский А. А., Пинус Н. З. Аэрология. Гидрометеиздат, 1951.
- Наставление гидрометстанциям и постам, вып. 4, ч. II. Гидрометеиздат, 1945.

МЕТОДИКА РЕГИСТРАЦИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ СКОРОСТИ ВЕТРА НА ПРИВЯЗНОМ АЭРОСТАТЕ

Для современной метеорологии очень большой интерес представляет изучение структурных характеристик ветра, т. е. совокупности неупорядоченных пульсаций отдельных составляющих скорости ветра, отличающихся друг от друга как по величине, так и по продолжительности. Эти пульсации оказывают влияние на средние характеристики воздушного потока: профиль средних скоростей ветра, интенсивность турбулентного перемешивания и т. п.

В турбулентном потоке в каждый данный момент движение воздуха будет возмущенным под влиянием внутреннего трения между различными слоями и близкой земной поверхности. Движение в этом случае становится неравномерным и непрямолинейным. Вектор скорости ветра может быть представлен тогда в виде $V = \bar{V} \pm V_x i + V_y j + V_z k$, где V_x , V_y , V_z — составляющие вдоль осей координат мгновенных отклонений скорости ветра V от среднего ее значения — $\bar{V}$. Средние за длительный период времени величины V_x , V_y и V_z будем считать равными нулю.

Для исследования структуры воздушного потока в Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова под руководством автора была разработана методика наблюдений и модернизирован прибор П. А. Молчанова. Прибор позволял производить синхронную регистрацию средней скорости ветра $\bar{V}$, горизонтальной составляющей пульсаций скорости ветра V_x и высоты подъема. Описание этого прибора дано в работе [1].

Нами было проведено дальнейшее усовершенствование метода и улучшение прибора путем расширения числа измеряемых элементов и некоторых конструктивных его изменений, описание которых и приводится в настоящей работе.

УСТРОЙСТВО ПРИБОРА

В новом приборе добавлен еще один приемник, регистрирующий вертикальные пульсации воздушного потока V_z , которые в дальнейшем будем обозначать W' . Схема прибора дана на рис. 1.

Прибор производит синхронную регистрацию средней скорости ветра, горизонтальных пульсаций скорости ветра, вертикальных пульсаций скорости ветра, высоты подъема.

Регистрация горизонтальной составляющей порывов ветра производится по методу П. А. Молчанова [2]. Приемник представляет собой пропеллер (рис. 1) с горизонтальной осью вращения 16. Лопастей пропеллера укреплены под углом 45° к оси, причем одна лопасть направлена вверх, а другая — вниз. Под влиянием давления воздушного потока создается момент, который стремится привести пропеллер во вращение. Повороту пропеллера препятствует пружина 15, один конец

рой соединен с осью пропеллера 16, а другой прикреплен к корпусу прибора 18. При повороте пропеллера происходит изменение кривизны пружины 15. При возрастании скорости ветра вращению пропеллера препятствуют также тонкие инерционные пружины 10 и 11, закрепленные на оси пера 3 приемника. Таким образом, для каждой скорости ветра, набегающего на пропеллер, создается равновесие между давлением ветра на лопасти пропеллера и изгибом пружин. Пропеллера соединена через рычаги 13 и 14 с пером 3 длиной 143 мм, запи-люющим изменение скорости ветра на барабане 1 прибора. Подбирая упругости жин 10, 11 и 12 и соотношение рычагов, можно придать любую чувствитель-ть прибору, а также получить по возможности линейную зависимость между

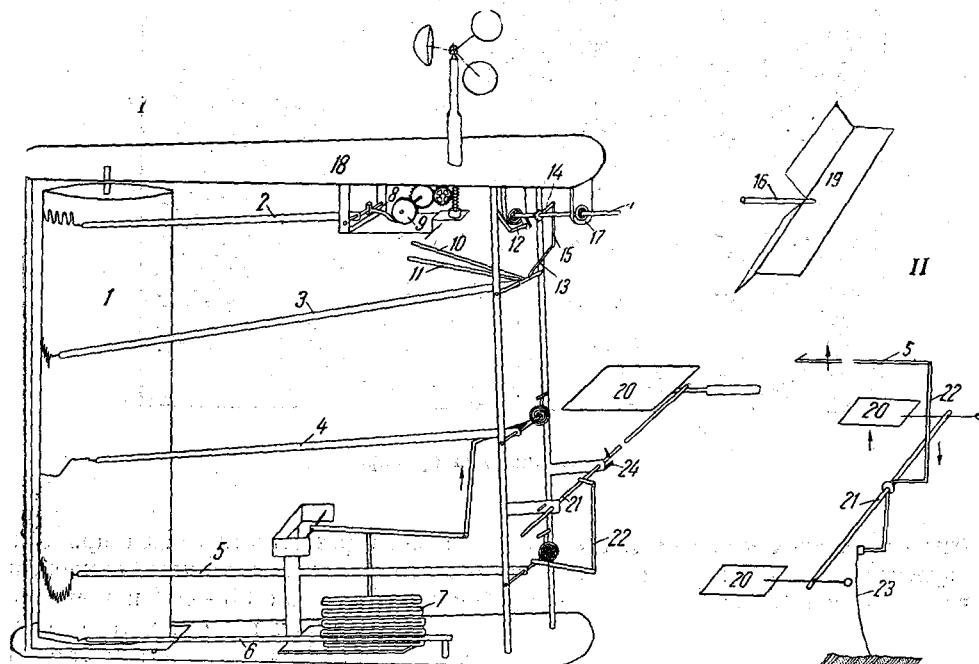


Рис. 1. Схема прибора.

скоростью ветра и ординатой записи на барабане прибора. Тем самым квадратичная зависимость между давлением ветра и его скоростью чисто механическим путем преобразуется почти в линейную зависимость.

Пропеллер имеет дополнительную плоскость 19 размерами 60×180 мм, нейтрально расположенную к потоку, а следовательно, не испытывающую давления ветра, под каким бы углом она ни установилась. Плоскость служит демпфером при колебаниях пропеллера, вызываемых порывами ветра. Приемник порывистости является весьма чувствительным к малейшим изменениям скорости ветра.

Пропеллер примерно на 15 см выдается спереди прибора, поэтому при больших скоростях ветра создаются большие давления на ось. Для уменьшения изгибающих моментов на оси сделан дополнительный упорный подшипник 17.

Приемник вертикальной составляющей скорости ветра состоит из двух прямоугольных пластинок 20 размерами 100×130 мм, укрепленных симметрично с обеих сторон прибора на горизонтальной оси. Пластины расположены горизонтально, уравновешены и вследствие малой инерционности всегда устанавливаются вдоль вектора скорости ветра. Ось 21, на которой укреплены пластины, соединена через рычаг 22 с пером 5, записывающим на барабане 1 отклонения пластинок от горизонтального положения вверх для восходящих потоков, вниз — для нисходящих. Вертикальная составляющая скорости ветра определяется по углу наклона вектора скорости ветра к горизонту. Приемники для регистрации вертикальной составляющей скорости ветра по такому принципу были применены в приборах А. Р. Кон-

стантинова, В. А. Айзенштата и других авторов и дали вполне удовлетворительные результаты. Правда, эти приборы применялись для работы на земной поверхности. У нас же прибор поднимается на аэростате, поэтому условия его работы значительно усложняются. В свободной атмосфере величины вертикальных пульсаций значительно больше, чем у земной поверхности, поэтому непосредственно записыва-

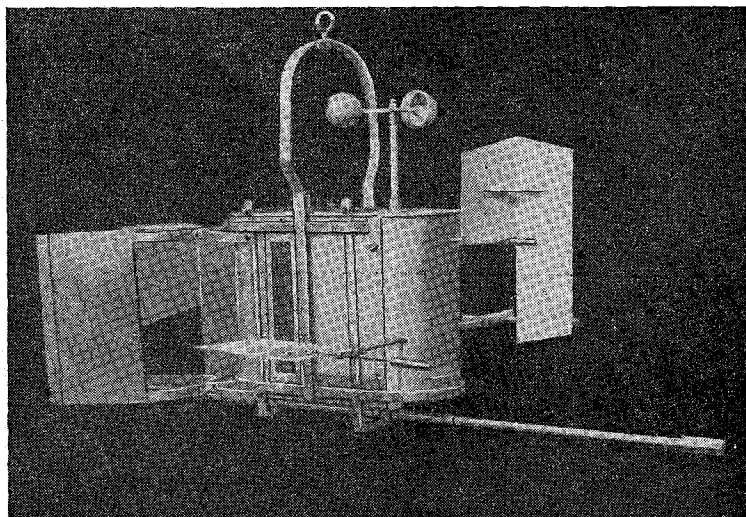


Рис. 2. Общий вид прибора.

колебания пластинок часто бывает невозможно из-за размытости записи при сильных пульсациях приемника, а также потому, что максимальные углы отклонения пластинок (схема I), регистрируемые прибором, составляют $35-40^\circ$ и при боль-

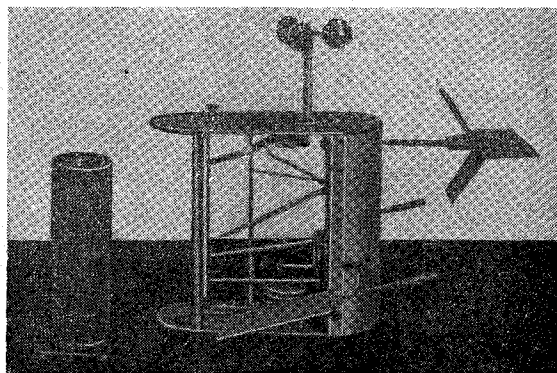


Рис. 3. Общий вид прибора.

ших углах перо сходит с барабана. Для хотя бы частичного устранения указанных выше неудобств введена пружина 23 в схеме II, тормозящая отклонение горизонтальных пластинок. Условия тарировки прибора и обработки записи несколько усложняются, но зато запись получается более сжатой.

Запись средней скорости ветра производится трехчашечным анемометром. Ось анемометра вращает улитку 9. При вращении улитки перо 2, опирающееся на нее, через рычаг 8 поднимается пропорционально углу поворота. После полного поворота перо

опускается в начальное положение. Величина средней скорости ветра определяется по расстоянию на ленте между двумя соседними зигзагами полученной пилообразной записи. Ввиду относительно быстрого вращения барабана передаточное число оборотов оси анемометра к обороту улитки составляет 1:90 или 1:120.

Приемником атмосферного давления служат 4—5 анероидных барокоробок, соединенных в столбик 7. Чувствительность приемника давления составляет около

б на 1 мм ординаты, что дает возможность судить даже о сравнительно не-
 ших смещениях прибора по вертикали.

Нижнее перо 6 прочеркивает
 исную линию. Запись произво-
 я на закопченной бумаге, накле-
 ой на барабан диаметром 73 мм
 высотой в одном приборе 210 мм,
 ругом 165 мм. Приборы обычно
 ют по два часовых механизма
 вращения барабана: один с обо-
 ом 18—20 мин., второй с оборо-
 1 45 сек., что дает линейные ско-
 сти вращения в 0,22 и 5 мм/сек.
 Для часового механизма с обо-
 гом в 45 сек. предусмотрено про-
 е автоматическое включение часов
 рез заранее заданный промежуток
 емени. Общий вид прибора дан
 рис. 2—4.

С. И. Масловым сконструирована
 ециальная система подвески при-
 ра к тросу аэростата, описание
 торой дано в первой статье на-
 гоющего сборника (стр. 4, 5) и в
 боте [1].

Такая система дает возможность
 одвешивать прибор на любом рас-
 гоении от аэростата почти всегда
 горизонтальном положении при
 сех наклонах троса, автоматически
 станавливает прибор в плоскости
 етра и сильно уменьшает раскачи-
 ание прибора при порывистом
 етре.

В ГГО были построены два при-
 бора: № 103 и 104 (последний образец), — размеры и вес которых приведены ниже:

№ прибора	Высота всего прибора (см)	Высота барабана (см)	Вес прибора (г)	Вес прибора с корзиной и подвеской (г)
103	20,0	16,5	2140	3400
104	23,0	21,0	2550	3800

Оба прибора имеют длину 27,5 см и ширину 11,5 см.

ТАРИРОВКА ПРИБОРА

Тарировка прибора включает: а) подбор чувствительности приемников, б) по-
 верку чувствительности приемников. Подбор чувствительности проводится по всем
 приемникам. Приемник атмосферного давления должен иметь чувствительность
 1,5—2,0 мб давления на 1 мм ординаты. Подбор чувствительности проводится
 путем изменения соотношения длины рычагов системы. Приемник средней скорости
 при ветре 16—18 м/сек. должен давать расстояние на ленте между соседними
 зубцами не менее 1—1,5 мм. Передаточный механизм в этом приемнике обычно
 рассчитывается. Полушария должны начинать вращение при ветре 1,0—1,5 м/сек.
 Приемник горизонтальных пульсаций скорости ветра должен начинать работу
 с 2—2,5 м/сек. и перемещаться по высоте барабана на 90—95 мм при изменении
 скорости ветра от 2 до 18 м/сек., т. е. приемник должен иметь чувствительность
 около 5 мм ординаты на 1 м/сек.

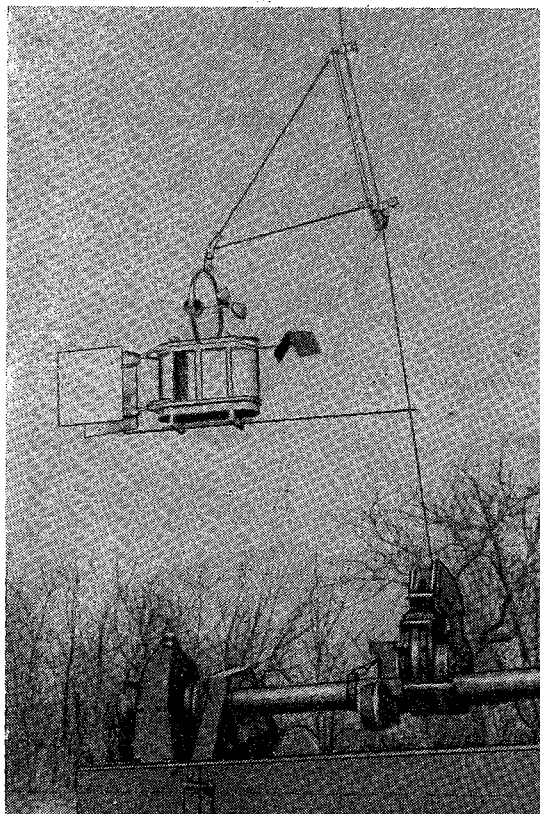


Рис. 4. Вид крепления прибора к тросу.

Для горизонтальных пульсаций при порывах ветра больше 18 м/сек. у п сделан упор примерно около начала записи приемника средней скорости. Этот упор предохраняет перо от выброса за пределы барабана при отдельных сильных порывах. Подбор пружин для получения заданной чувствительности можно проводить в аэродинамической трубе, беря 3—4 отсчета скорости ветра в указанном диапазоне, или путем подвески различного груза на конец пропеллера и отсчета ординаты смещения пера. Зная площадь пропеллера, легко подсчитать ориентировочные нагрузки, создаваемые на пропеллер ветром различной скорости, и подобрать пружины так, чтобы получить по возможности линейную зависимость между скоростью ветра и ординатой.

Приемник вертикальной составляющей скорости ветра должен обеспечить регистрацию отклонения пластинки на ± 20 — 25° от начального положения. Диапазон в 40 — 50° должен уложиться примерно на 50 мм высоты барабана, т. е. име

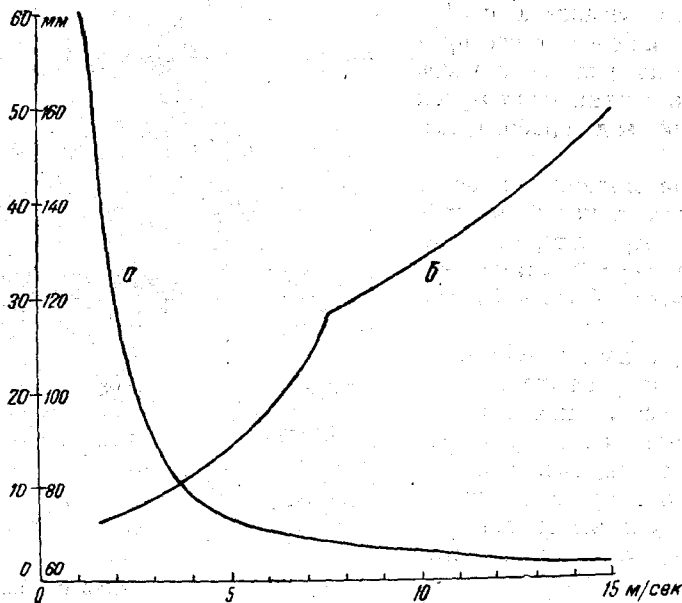


Рис. 5. График проверки прибора.
а — средняя скорость ветра; б — горизонтальные пульсации.

чувствительность около 1° на 1 мм ординаты. При необходимости регистрировать большие углы отклонения пластин от горизонтального положения приходится вводить тормозящую пружину (схема II рис. 1) или усложнять передаточный механизм приемника, вводя шестеренки или другие приспособления. Как показывают наши исследования, углы наклона потока воздуха к горизонту свыше 25° наблюдаются сравнительно редко, обычно при скоростях ветра до 2 м/сек., но при таких слабых скоростях приемник еще не работает.

Для того чтобы при резких бросках пластин перо не выходило за пределы барабана и не размывало записи приемника атмосферного давления, поставлены ограничители 24 вращения оси 21 пластин.

Проверка приемника атмосферного давления проводится под колоколом воздушного насоса. Отсчеты положения пера 4 (рис. 1) приемника проводятся примерно через 10 мб с уменьшением давления на 80—100 мб от начального. Так как спуск не обрабатывается, то обратного хода изменения давления под колоколом не берут. Проверка приемников скорости ветра проводится в аэродинамической трубе.

Приемник средней скорости проверяется в диапазоне до 18—20 м/сек. через 1,5—2 м/сек., причем необходимо определить скорость ветра, соответствующую началу вращения полушарий. Она должна быть не более 1—1,5 м/сек. По данным проверки строится график чувствительности приемника (рис. 5). На графике дано

гояние между двумя соседними зубцами (в мм), соответствующее данной скорости ветра (кривая *a*).

Поверка приемника горизонтальной пульсации скорости ветра проводится также в диапазоне от 2 до 18—20 м/сек. Отсчеты положения пера приемника берутся в 1—1,5 м/сек., причем желательно повторить поверку 2—3 раза, а затем нанести на график точки пересечения ординаты и скорости ветра для каждого угла наклона. Отклонение точек не должно превышать 0,5 м/сек. от средней линии. Вид поверочного графика приведен на рис. 5 (кривая *b*).

Поверка приемника вертикальной составляющей скорости ветра проводится в том же диапазоне скоростей через 1—1,5 м/сек., но при положительных и отрицательных углах наклона прибора к потоку через 5° в пределах $\pm 25^\circ$. График поверки будет иметь две формы (рис. 6 и 7). Для приемника без тормозящей пружины график строится следующим образом: снимают с записи поверки ординаты

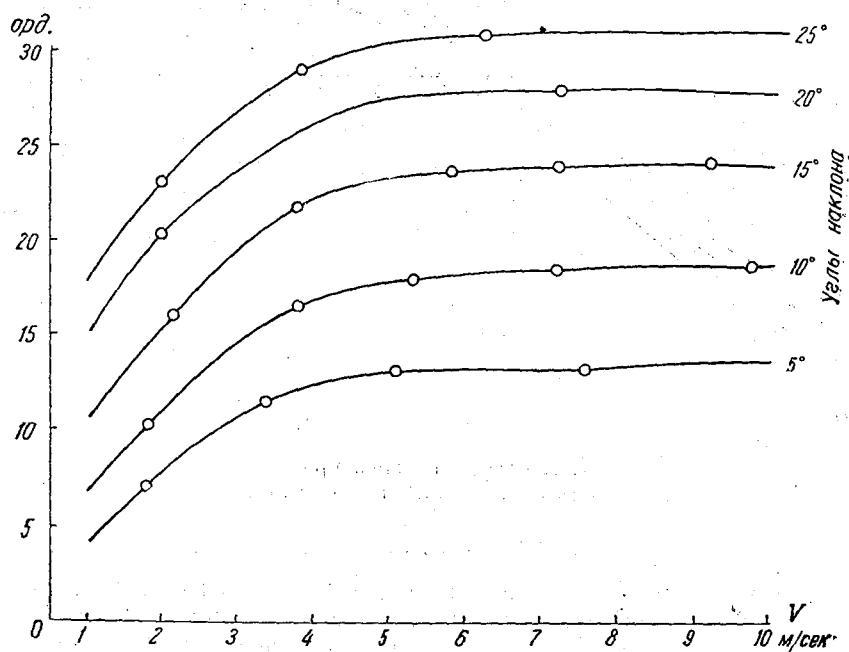


Рис. 6. График поверки прибора.

инного угла наклона при разных скоростях воздушного потока и строят кривые зависимости ординаты от скорости ветра для каждого угла наклона. Вид графика приведен на рис. 6.

Здесь отклонения пластинок вверх и вниз от начального положения примерно одинаковы. Как видно из графика поверки, до 4 м/сек. при данном угле наклона пластинок величина ординаты неодинакова и делается постоянной от скорости ветра 4 м/сек. и выше. Вызвано это обстоятельство наличием слабой кольцевой пружины, уравновешивающей вес пера. Для промежуточных значений углов наклона проводят дополнительные кривые через 1° путем интерполяции. График поверки при наличии тормозящей пружины (схема I рис. 1) приведен на рис. 7. Он имеет примерно такой же вид, но искомые величины угла наклона наносятся по оси абсцисс графика, а ордината начального положения пластин проходит через нуль графика (вверх идут ординаты, соответствующие восходящему потоку, вниз — исходящему).

Такой вид графика обусловлен тем, что действие тормозящей пружины неодинаково при разных положениях пластин. Зная величины ординат и средней скорости

рости, находят по графику угол наклона пластин, а следовательно, и угол накл воздушного потока — α° к горизонту. По углу наклона к средней скорости ве определяют величину вертикальной скорости W' в см/сек. по графику или таблице из уравнения $W' = V \operatorname{tg} \alpha$.

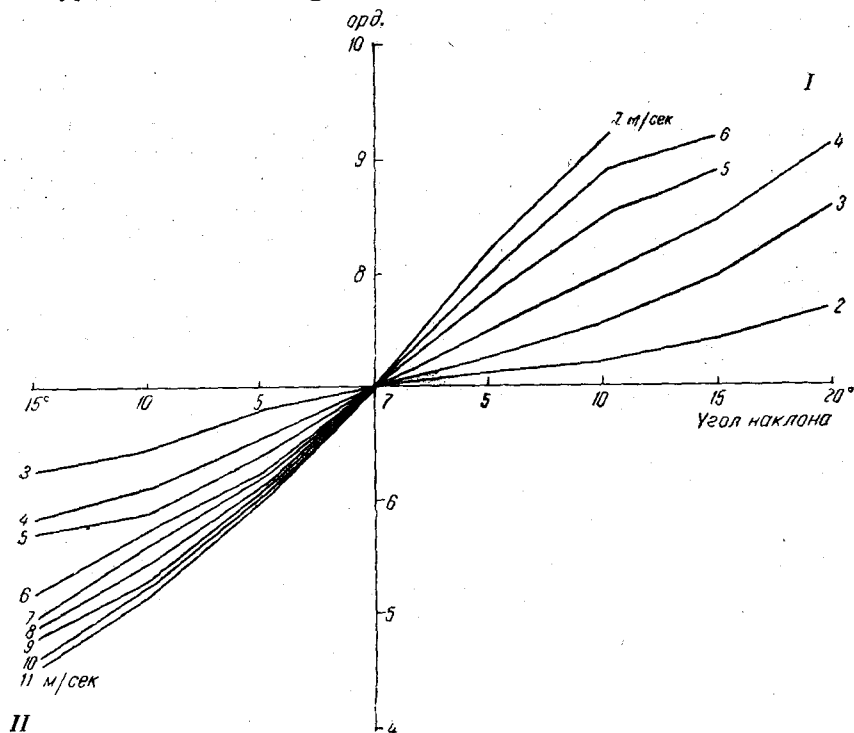


Рис. 7. График проверки прибора.
I — восходящий поток; II — нисходящий поток.

МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ

При подготовке прибора к подъему вынимают из него площадку с часовым механизмом, снимают барабан, наклеивают на него лист плотной гладкой бумаги и устанавливают снова в прибор. Проверяют состояние и работу всех приемников, расположение перьев, степень их прижатия к барабану, добиваясь устранения люфтов и значительного или слабого трения пера о бумагу и т. п. Далее барабан снимают и покрывают бумагу равномерным слоем сажи от коптящей лампы.

Затем барабан с часовым механизмом вставляют в прибор и устанавливают в начальное положение, проводят дуги и надевают кожух. Подъем прибора с регистрацией структуры ветра производится через двухчасовые промежутки времени, сразу же после подъема аэростатного метеорографа. Таким образом, для каждого двухчасового промежутка можно получить распределение основных метеорологических элементов по высотам и запись структуры ветра на нескольких уровнях.

Поскольку регистрация структуры ветра во время подъема и спуска, как мы дальше увидим, невозможна из-за больших искажений, запись может производиться только на определенных постоянных уровнях в виде площадок.

Подвеска прибора (рис. 4) производится на расстоянии 25—50 м ниже аэростата на основном тросе, что уменьшает влияние корпуса аэростата на структуру ветра, регистрируемого прибором.

Аэростат МАЗ-1, на котором производились подъемы прибора, менее устойчив вблизи земной поверхности и только с уровня 100 м и выше собственные смещения аэростата уменьшаются и устойчивость его возрастает. Поэтому регистрировать структуру ветра при наличии значительных собственных колебаний аэростата, оче-

э, нерационально. В результате нами была принята следующая методика: прибор выдерживался и регистрировал структуру воздушного потока на стандартных высотах.

На уровне 2 м выдержка прибора проводится на ровном открытом месте, при прибор жестко устанавливается на легкой вращающейся ажурной рамке юскости ветра. После двухминутной выдержки часы останавливаются, производится отсчет по чашечному анемометру; прибор снимается, переносится к автодке и подвешивается к тросу. Затем часы вновь пускаются, прибор быстро пимается на 100, затем на 200, наконец, на 300 м и при этом выдерживается каждой высоте по 3—4 мин. На высоте 300 м барабан, совершив полный от, автоматически останавливается. Поскольку необходимо производить отсчеты

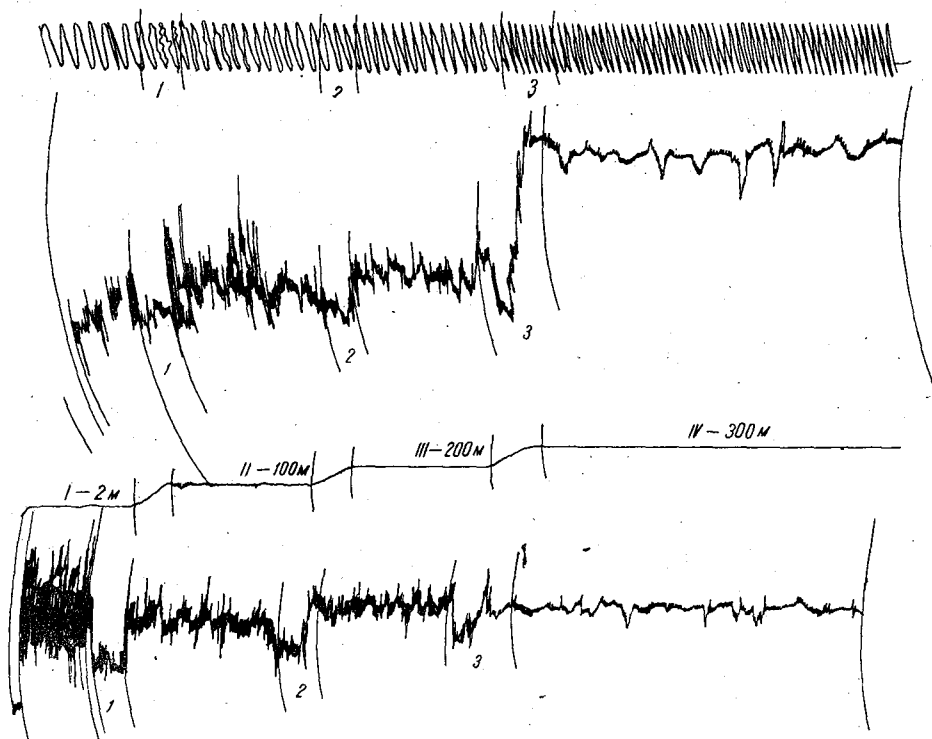


Рис. 8. Вид ленты с регистрацией структуры ветра. Воейково, 11/II 1954 г., 16 час., подъем № 103, прибор № 104.

динат отдельных составляющих структуры ветра через 1 мм абсциссы каждые :ек., то при длине окружности барабана в 230 мм время полного оборота бара- на составит около 19 мин. Для получения нашими приемниками по возможности дробных характеристик микроструктуры воздушного потока минимальная про- лжительность регистрации на одном уровне должна быть не менее 2,5—3 мин. о связано в основном с наличием в атмосфере отдельных вертикальных пульса- й одного знака продолжительностью до 1,5—2 мин.

Нами приняты при подъеме трех-четыреминутные выдержки прибора на каждой ощадке и регистрация структуры потока на четырех уровнях: 2, 100, 200 и 300 м и 2, 100, 300 и 500 м.

На каждый подъем заполняется протокол с записью места, даты и времени на- юдения, количества и формы облаков, скорости, направления и структуры ветра, казаний аспирационного психрометра и анероида.

Во время подъема записывают в протокол время начала и конца площадок, соту по тросу, натяжение по тросу, вертикальный угол, азимут, поведение аэро- ата и визуальные наблюдения.

Вид ленты с регистрацией структуры ветра приведен на рис. 8. По окончании

выпуска барабан вынимается, на ленте записывается место, дата, время, номер подъема и номер прибора, а затем сажа на ленте закрепляется раствором шеллака в спирте.

МЕТОДИКА ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЛЕНТ

Обработка по отдельным элементам

Для обработки записи структуры ветра необходимо заготовить лист прозрачной пленки размером в развернутую ленту. На пленке острием проводят тонкие прямые линии через 2 мм, параллельные начальной линии, которая расположена внизу пленки и должна совпадать с фиксовой линией записи прибора. На участке записи приемника давления линии не проводят. На участке записи приемника горизонтальных пульсаций скорости ветра проводят через 2 мм дуги радиусом, равным длине пера приемника, в нашем случае 143 мм, и с центром, равным расстоя-

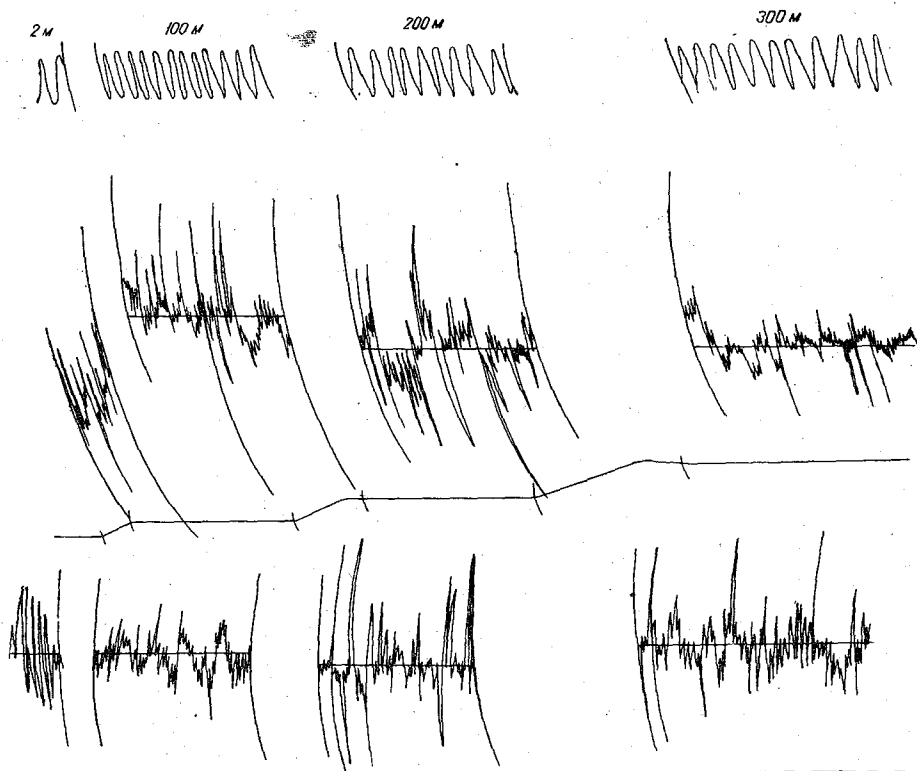


Рис. 9. Запись прибора на высотах 2, 100, 200, 300 м. Воейково, 2/II 1954 г., 9 час. 45 мин., подъем № 104, метеорограф № 104.

от оси вращения пера до фиксовой линии, в нашем приборе — 148 мм. Так же проводят дуги на участке работы приемника вертикальных пульсаций скорости ветра. На сетку прикрепляют две подвижные полоски миллиметровой бумаги, на одну из них наносят значения ординат из поверки приемника горизонтальных пульсаций значения скорости ветра, кратные 0,5 м/сек., а на другую — значения ординат для восходящих и нисходящих потоков от начального положения через 5 мм.

В дальнейшем обработка записи производится следующим образом: ленту вкладывают в планшетку, применяемую для обработки самолетных метеорограмм, накладывают на нее лист целлулоида и выделяют синхронные участки, соответствующие подъему прибора. Эти участки хорошо выделяются на записях атмосферного давления, вертикальных пульсаций и отчасти горизонтальных пульсаций скорости ветра.

Вид записи прибора на высотах 2, 100, 200 и 300 м приведен на рис. 9. Здесь

ки записи с подъемом прибора от одного уровня до другого из обработки эшены. Выбрасываются также участки записи площадки, пока аэростат после лания выпуска еще набирал высоту. Далее рассматривают характер записи ния на площадках. Если запись давления имеет вид совершенно ровной линии, указывает на отсутствие смещений аэростата по вертикали, то такие участки ом идут в обработку, если же наблюдаются отдельные изгибы на записи ния, то эти участки горизонтальных и вертикальных пульсаций из обработки асываются.

На каждой площадке определяют среднюю скорость ветра, для чего измеряют гоание между крайними зубцами площадки и делят на число промежутков между ами на измеренном расстоянии. Затем по графику поверки (рис. 5, а) находят чину средней скорости. Полученную величину средней скорости ветра запиют сверху площадки над пилообразной кривой, а также в сводную ицу.

Для обработки горизонтальных пульсаций скорости ветра накладывают лист тулоида не на начало записи площадки, а несколько отступя, примерно на -1,0 мм, так, чтобы фиксовая линия записи совпадала с начальной линией тулоида, затем подводят к выбранному началу записи полоску миллиметровой аги с нанесенными величинами скорости ветра, совмещают ее так, чтобы делешкалы, равное величине скорости ветра при выдержке, совпало бы с середиизаписи горизонтальных пульсаций на площадке 2 м и закрепляют ленту еллуоидом в каретке или прикрепляют кнопками к столу. Затем начинают мать с ленты значения скорости ветра через каждые 5 сек. или через 1 мм иссы, получающиеся в местах пересечения дуг пера горизонтальной порывистости с записью ленты. Пример обработки записи горизонтальной порывистости введен в табл. 1.

Для всех обрабатываемых точек горизонтальных пульсаций записывают велины скорости ветра. Далее вычисляют и записывают значение условной средней рости ветра $\bar{V}_y$, в нашем примере $\bar{V}_y = 6,50$ и $8,60$ м/сек. Затем, считая, что менение скорости ветра происходит в виде периодических колебаний, подсчитыот, исходя из величины условной средней скорости ветра на площадке, велины полуамплитуд в м/сек. и полупериодов в секундах для всех переломных чек роста и падения скорости ветра.

В некоторых случаях переход скорости ветра через ее средние значения наюдается между соседними точками, в нашем примере между точками 4 и 5, 9 10 и т. д., тогда в этих случаях при определении полупериода пульсаций начало и конец его берут с половины промежутка.

В тех случаях, когда в конце или начале записи имеется одновременно рост и падение пульсаций средней скорости, все эти точки объединяются в одну луамплитуду. В случаях, когда наблюдается в конце или начале записи только ост или только падение средней скорости, выраженное большим числом точек, е точки объединяются в одну полуамплитуду, причем для получения переломной чки перед первой и после последней добавляется точка, соответствующая словной средней скорости ветра. Если рост или падение в начале или в конце аписи определяются небольшим числом точек (2—3), то они из обработки выбраываются. В конце графы вычисляют средние для всей площадки величины ΔV $\frac{\tau}{2}$ отдельно для роста и падения скорости. Далее определяют средние полуамплитуды пульсаций

$$\Delta \bar{V} = \frac{\Delta V_p + \Delta V_n}{2}$$

и периоды пульсаций

$$\tau = \frac{\tau}{2_p} + \frac{\tau}{2_n}$$

значок „р“ соответствует случаю роста скорости, „п“ соответствует случаю падения скорости.

Пример обработки записи горизонтальных и вертикальных пульсаций

Подъем № 47, метеорограф № 104 2/II 1954 г. 9,7 час.

Горизонтальные пульсации								Вертикальные пульсации				
Высо- та (м)	Направ- ление и скорость ветра (м/сек.)	№ точек	V'	рост		падение		№ точек	орди- наты	$\bar{V}$	α°	V м/с
				$\Delta V'$	$\frac{\tau}{2}$	$\Delta V'$	$\frac{\tau}{2}$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	Ю		$\bar{V} = 5,2$ м/сек.					$H = 0, \bar{V} = 5,2$ м/сек.				
		1	7,70	1,20	7,5							
		2	6,70									
		3	6,40									
		4	5,40			1,10	20,0					
		5	5,60									
		6	6,30									
		7	6,80	0,30	5,0							
		8	6,20			0,30	10,0					
		9	6,30									
		10	6,80									
		11	6,60									
		12	6,90	0,40	20,0							
		13	6,70									
		14	6,40			0,10	2,5					
			6,50	1,90	32,5	1,50	32,5					
				0,63	10,8	0,50	10,8					
$\Delta V = 0,56 \tau = 21,6, \Delta V_{\max} = 1,15, \Delta V_{\min} = 0,20$												
100	ЮЗ		$\bar{V} = 9,4$ м/сек.					$H = 100, \bar{V} = 9,4$ м/сек.				
		1	12,10	3,50	17,5			Восходящий поток 90 сек.				
		2	10,80					1	0,40	1,0	0,20	
		3	9,80					2	0,10	0,2	0,04	
		4	9,00					3	0,30	0,7	0,10	
		5	8,50					4	0,20	0,5	0,08	
		6	7,80					5	0,80	2,3	0,38	
		7	8,30					6	0,30	0,7	0,10	
		8	8,30					7	0,10	0,2	0,04	
		9	8,40					8	0,60	1,7	0,28	
		10	8,80					9	0,40	1,0	0,18	
		11	9,50	0,90	15,0			10	0,20	0,5	0,08	
		12	9,00					11	0,80	2,3	0,38	
		13	7,80					12	0,10	0,2	0,04	
		14	8,10					13	0,20	0,5	0,08	
		15	8,50					14	0,70	1,9	0,32	
		16	9,20					15	0,30	0,7	0,10	
		17	10,00	1,40	10,0			16	0,60	1,7	0,28	
		18	7,60					17	0,30	0,7	0,10	
		19	7,40					18	0,40	1,0	0,18	
		20	7,60					$\Sigma = 2,96$				
		21	8,20					$\bar{W}' = 0,16$				
		22	9,20	0,60	5,0			Нисходящий поток 20 сек.				
		23	8,40					1	0,40	1,0	0,18	
		24	8,10					2	0,60	1,7	0,28	
		25	7,60					3	0,90	2,8	0,44	
		26	8,70					4	0,10	0,2	0,04	
		27	11,60	3,00	30,0			$\Sigma = 0,94$				
		28	8,70					$\bar{W}' = 0,23$				
		29	10,80					Восходящий поток 25 сек.				
								1	0,70	1,9	0,32	
								2	0,60	1,7	0,28	
								3	0,50	1,3	0,23	
								4	0,20	0,5	0,08	
								5	0,00	0,0	0,00	
								$\Sigma = 0,91$				
								$\bar{W}' = 0,18$				
								Нисходящий поток 80 сек.				
								1	0,10	0,2	0,04	
								2	0,30	0,7	0,10	
								3	0,20	0,5	0,08	
								4	0,80	2,3	0,38	
								5	0,90	2,8	0,44	

Горизонтальные пульсации							Вертикальные пульсации				
Направление и скорость ветра (м/сек.)	№ точек	V'	рост		падение		№ точек	ординаты	$\bar{V}$	α°	W' м/сек.
			$\Delta V'$	$\frac{\tau}{2}$	$\Delta V'$	$\frac{\tau}{2}$					
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	30	9,00					6	0,40		1,0	0,18
	31	11,20					7	0,00		0,1	0,02
	32	8,50					8	0,10	9,4	0,2	0,04
	33	7,60					9	0,10		0,2	0,04
	34	6,90			1,70	47,5	10	0,70		1,9	0,32
	35	7,10					11	0,40		1,0	0,18
	36	7,20					12	0,80		2,3	0,38
	37	7,50					13	1,00		3,1	0,50
	38	7,70					14	0,80		2,3	0,38
	39	7,70					15	0,30		0,7	0,10
	40	8,10					16	0,60		1,7	0,28
	41	8,60					$\Sigma = 3,56$				
	42	7,80					$\bar{W}' = 0,22$				
	43	7,60									
	44	7,30									
		8,60	9,40	77,5	5,50	122,5					
			1,88	23,5	1,10	24,5					

$$\Delta V = 1,55, \tau = 43,4, \Delta V_{\max} = 2,60, \Delta V_{\min} = 0,70$$

Из этой же таблицы находят

$$\Delta V_{\max} = \frac{\Delta V_{\max p} + \Delta V_{\max n}}{2},$$

нашего случая $\Delta V_{\max} = \pm 1,15$ и $2,61$ м/сек. Аналогично определяют $\Delta V_{\min}$ для нашего случая $\Delta V_{\min} = \pm 0,20$ м/сек. и $\pm 0,70$ м/сек.

При регистрации горизонтальных пульсаций часто наблюдаются случаи, когда пульсации настолько малы, что нашим прибором не измеряются, поэтому если на всей площадке величина скорости ветра постоянна, т. е. $\Delta V = 0$, или же наблюдаются колебания скорости ветра $\Delta V \leq 0,1$ м/сек., то в бланке обработки записывают: "горизонтальные пульсации отсутствуют". Иногда встречаются записи с наличием отдельных порывов ветра, чередующихся с периодами ветра постоянной скорости, $\Delta V = 0$. Вид такой записи приведен на рис. 10.

В этом случае в бланк обработки записывают также для каждой точки значения скорости ветра, причем в нескольких точках подряд может быть одна и та же скорость ветра. Определяют полуамплитуды и полупериоды пульсаций без учета промежутков с постоянной скоростью и записывают время с отсутствием пульсаций, например, $\Delta V = 0$, $t = 20$ сек. В конце графы записывают величины средних амплитуд и периодов пульсаций и отдельно записывают среднюю продолжительность сохранения постоянной скорости ветра, т. е. делят сумму промежутков $\Delta V = 0$ на число таких промежутков и выражают ее в процентах.

Поскольку измерение скорости ветра приемником горизонтальных пульсаций надежно, то подсчитанная в нашем примере величина $\bar{V}_y = 6,5$ и $8,6$ м/сек. нами принята как условная и используется только для определения амплитуд и периода пульсаций. Более точно измерения средней скорости ветра проводятся полурезультатами. Величина средней скорости для нашего примера составила $5,2$ и $9,4$ м/сек., т. е. несколько отличалась от условной средней скорости по приемнику горизон-

тальных пульсаций. Для дальнейших расчетов будем принимать величины скорости, измеренные по приемнику средней скорости.

Обработку вертикальных пульсаций скорости ветра начинают с проведения нулевых значений вертикальной скорости. Поскольку положение при в пространстве не может быть точно зафиксировано, мы вынуждены исходит

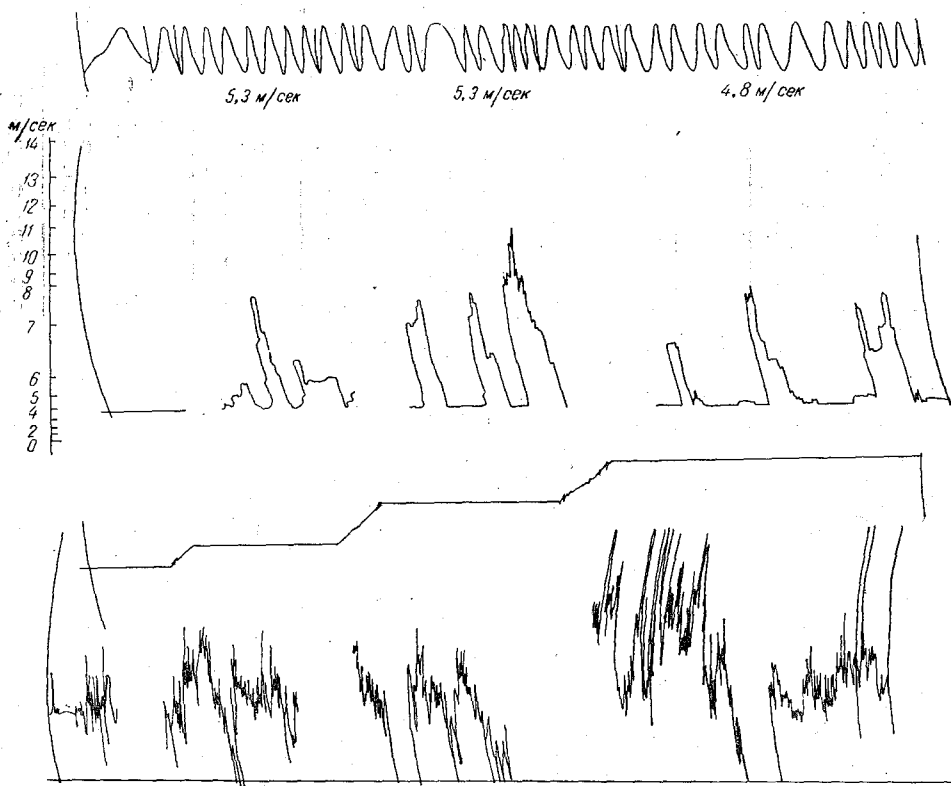


Рис. 10. Запись отдельных порывов ветра, чередующихся с периодами ветра постоянной скорости, с $\Delta V = 0$, Терскол, 2/IX 1954 г., 9 час. 23 мин., подъем № 35, прибор № 104.

положения, что за относительно длительный период времени — не менее 2—3 мин. средние величины вертикальной скорости должны быть равны нулю. Это положение в большинстве случаев можно считать весьма близким к действительности исключением случаев с термической конвекцией или с траекториями движения воздуха над такими точками рельефа, где резко выражены восходящие или нисходящие потоки.

Линию нулевых значений вертикальной скорости проводят примерно по середине записи вертикальных пульсаций всей площадки и параллельно фиксированной линии. Затем выделяют на ленте участки с восходящими и нисходящими движениями воздуха. Накладывая лист целлулоида с дугами пера вертикальных пульсаций скорости ветра, снимают для каждой точки через 1 мм величины ординат аналогично тому, как это проводилось при обработке горизонтальных пульсаций. Форма записи результатов обработки приведена в табл. 1. По значениям ординат и средней скорости ветра V находят по поверке для каждой точки величины углов наклона потока к горизонту — α° .

Далее по углу наклона и величине средней скорости определяют вертикальную скорость W' для всех точек площадки. Затем для каждого участка находят величины средних значений вертикальной скорости отдельно для восходящего и нисходящего потоков. В нашем примере на высоте 100 м в восходящем потоке $W' = 0,16$ и $0,19$ м/сек. и в нисходящем потоке $W' = 0,23$ и $0,22$ м/сек. Из обра

Сводная таблица результатов обработки записи прибора

Дата и время (час.)	Высота площад- ки (м)	Ветер		Горизонтальные пульсации				Вертикальные пульсации											
		направ- ление	скорость (м/сек.)	рост		падение		восходящий поток		нисходящий поток									
				ΔV	$\frac{\tau}{2}$	$\Delta V_{\max}/\Delta V_{\min}$	ΔV	$\frac{\tau}{2}$	$\Delta V_{\max}/\Delta V_{\min}$	W	T	α°	τ						
2/II 1954 г. 9,7	2	180	5,2	0,60	9,2	1,20/0,30	0,60	11,2	1,10/0,10	короткопериодные				$\pm 0,34$	—	3,7	2,1		
	100	202	9,4	2,35	18,9	3,50/0,60	1,10	24,5	1,70/0,80					0,16	90	1,0	0,23	20	1,3
	200	202	6,8	0,80	11,5	1,90/0,20	0,45	17,1	1,30/0,10					0,19	25	1,0	0,22	80	1,5
	300	202	6,0	0,50	16,4	1,30/0,10	0,60	15,4	0,80/0,50					0,18	75	1,5	0,20	40	2,1
										0,18	40	1,4	0,26	20	2,1				
													0,14	20	1,1				
										0,12	45	1,1	0,12	45	1,1				
										0,24	25	1,9	0,15	35	1,5				
										0,24	35	1,9	0,20	65	1,7				

ботки определяют значения $W'_{\max}$. Для восходящих и нисходящих потоков находят продолжительность существования пульсаций одного знака — T сек., причем T определяется умножением числа точек n данной пульсации на время продолжительности между двумя соседними точками Δt . $T = n \Delta t$, в нашем случае $\Delta t = 5$ сек.

Далее определяют среднюю и максимальную величины вертикальных пульсаций W' в см/сек. или м/сек., средний угол наклона α° , а также τ — полупериод короткопериодных пульсаций в секундах. Обычно T сек. характеризует продолжительность сохранения длиннопериодных пульсаций, но часто на фоне длиннопериодных пульсаций отчетливо выделяются еще более мелкие пульсации. Подсчитав по записи число таких мелких колебаний m за время T , находят время короткопериодных пульсаций $\tau = \frac{T}{m}$ сек.

В некоторых случаях, особенно при сильных скоростях ветра, когда в течение всего времени записи на данной площадке нельзя выделить участков с восходящими и нисходящими потоками, а наблюдаются только более или менее значительные отклонения приемника от начального положения в обе стороны, тогда весь участок относят к короткопериодным пульсациям. По средним максимальным отклонениям определяют аналогично изложенному выше величину W , время продолжительности такой записи T сек. и средний полупериод пульсаций $\frac{\tau}{2}$ сек., деля время T сек. на число колебаний вертикальной скорости.

Все полученные из обработки величины заносят в сводную таблицу.

Для производства дальнейшей обработки материала и сопоставления ее с термодинамическими и синоптическими положениями на каждый подъем составляют отдельную карточку определенной формы (стр. 40).

В этой форме заполнение ряда граф не встречает особых трудностей. В графе „Синоптическая обстановка“ дается краткое описание синоптических условий во время подъема. Далее для уровней 2, 100, 200 и 300 м или других высот, заполняются все графы, причем почти все основные величины берутся из сводной таблицы, а именно направление и ско-

Пункт		Год	Дата	Час	Облачность		Синоптическая обстановка																	
Войково		1954	2/II	9,7	6/0 Сс, Ас																			
H м	Ветер		γ°	$dV / 100$	Ri	$W' / \Delta V'$	K_z	Горизонт пульсации						Вертик. пульсации										
	напр.	скор.						$\pm \Delta V$	$\Delta V_{\max}$	$\Delta V_{\min}$	$\Delta V / V$	балл	τ	L_x	W'	T	τ	α°						
2	180	5,2				0,57	1,22	0,60	1,15	0,20	0,12	3	20,4	106										
100	225	9,4	1,40	4,2		0,11	14,0	1,75	2,60	0,70	0,19	5	43,4	408	0,17	57,5	2,0	1,0						
200	202	6,8	0,60	2,6		0,32	8,7	0,60	1,10	0,15	0,09	3	28,6	194	0,18	57,5	5,8	1,5						
300	202	6,0	0,20	0,8		0,32	11,7	0,55	1,05	0,30	0,09	3	31,6	191	0,20	35,0	4,6	1,7						
H м	Вертикальные пульсации				Структурные функции										L_z / L_x									
	Нисходящий поток				Короткопер.				$\overline{W'}$															
	W'	T	τ	α°	$\pm W'$	T	τ			5	10	15	20	25	30	40	60	n						
3	—	—	—	—	0,34	3,7	2,1	0,34	0,61	0,85	0,82	0,88	0,88	0,64	0,80	0,97	0,86	13	0,7	0,006				
100	0,22	50,0	2,4	1,1				0,20	0,93	1,48	1,72	1,73	1,40	1,50	1,50	1,70	1,68	25	27	0,07				
200	0,20	26,7	4,8	1,6				0,19	0,68	0,86	0,87	0,90	1,20	1,60	1,60	1,10	0,91	25	8	0,04				
300	0,16	48,3	5,2	1,3				0,18	0,38	0,59	0,70	0,76	0,71	0,58	0,58	0,60	0,83	25	8	0,04				
Общий ход γ				Тип γ	Груп. обл.				Тип погоды				Примечание				№ п/п							

в ветра $\pm \Delta V$, максимальные величины $\Delta V_{\max}$, минимальные величины $\Delta V_{\min}$.
 как подъемы прибора с регистрацией структуры ветра всегда проводятся
 ду основными сроками подъема аэростатного метеорографа, то из ближайшего
 времени подъема вписывают в бланк значения вертикального температурного
 циента γ по слоям 2—100, 100—200 и 200—300 м. Графу $dV/100$ — измене-
 скорости ветра на 100 м заполняют по данным скорости ветра. По данным γ
 зменения вектора ветра с высотой вычисляют величину числа Ричардсона:

$$Ri = \frac{g}{T'} \frac{\gamma_a - \gamma}{\left(\frac{\partial U}{\partial Z}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial Z}\right)^2},$$

γ — наблюдаемый вертикальный температурный градиент, γ_a — адиабатический,
 и V — составляющие вектора ветра, T' — средняя температура слоя, g — уско-
 ие силы тяжести.

Отношение $\frac{W}{\Delta V}$ получают по данным средних величин вертикальной и горизон-
 ной пульсаций скорости ветра на площадке. K_z — коэффициент турбулентного
 иена, вычисляют по формуле Ляпина для уровня Z

$$K_z = \frac{W'^2 VT}{2\Delta V},$$

W' — средняя величина вертикальной пульсации, ΔV — средняя величина гори-
 тальной пульсации, V — средняя скорость ветра в м/сек., T — среднее время
 ранения пульсаций W' одного знака.

Далее вычисляют $\frac{\Delta V}{V}$ — так называемую относительную порывистость, отноше-
 з величины ΔV к средней скорости. Балл порывистости берут по следующей схеме:

средние величины ампли- уды колебаний (м/сек.)	Балл порывистости					
	I	II	III	IV	V	VI
жний предел	0,1	0,1	0,4	0,9	1,5	$> 3,0$
рхний "	0,1	0,4	0,9	1,5	3,0	—
епень порывистости . .	отсут- ствует	слабая	умерен- ная	сильная	очень сильная	шквали- стая

В зависимости от величины ΔV ставят в бланк соответствующий балл порыви-
 ости. τ — период пульсаций в сек., L_x — длина воздушной волны или вихря
 определяется по формуле

$$L_x = \tau V,$$

е V — средняя скорость ветра.

Раздел „Вертикальные пульсации“ делится на группы — восходящие и нисходя-
 ие потоки. Для каждой площадки находят средние величины W' , T , τ и α° из
 гдельных потоков сводной таблицы. Короткопериодные пульсации выписываются
 из изменения из сводной таблицы. Величина $\overline{W'}$ определяется как

$$\overline{W'} = \pm \frac{\overline{W'_в} + \overline{W'_н}}{2},$$

де $\overline{W'_в}$ — средняя величина вертикальной скорости восходящего потока, $\overline{W'_н}$ —
 о же для нисходящего потока.

Аналогично вычисляется $W'_{\max}$. Величина L_z — путь смещения вихря или верти-
 альная составляющая перемещения вихря определяется по формуле

$$L_z = W' T,$$

де T — время сохранения пульсаций одного знака.

Далее идут данные по структурным функциям для интервалов времени 5, 15, 20, 25, 30, 40, 60 сек. n — число случаев, вошедшее в расчет.

Структурные функции вычисляются по величинам горизонтальных пульсаций скорости ветра. В виде примера вычислений структурных функций приведем данные, подсчитанные по приведенному выше примеру обработки горизонтальных пульсаций скорости ветра.

Пример вычислений структурных функций

Т а б л и ц а

№ точек	Время (сек.)							
	5	10	15	20	25	30	40	60
$H = 100 \text{ м}$								
1	1,30	2,30	3,10	3,60	4,30	3,80	3,70	4,30
2	1,00	1,80	2,30	3,00	2,50	2,50	2,00	2,70
3	0,80	1,30	2,00	1,50	1,50	1,40	0,30	1,30
4	0,50	1,20	0,70	0,70	0,60	0,20	0,00	0,80
5	0,70	0,20	0,20	0,10	0,30	1,00	0,70	1,50
6	0,50	0,50	0,60	1,00	1,70	1,20	0,30	0,20
7	0,00	0,10	0,50	1,20	0,70	0,50	0,20	0,90
8	0,10	0,50	1,20	0,70	0,50	0,20	0,90	0,70
9	0,80	1,10	0,60	0,60	0,30	0,10	1,60	0,20
10	0,70	0,20	1,00	0,70	0,30	0,40	1,20	0,40
11	0,50	1,20	1,40	1,00	0,30	0,50	2,10	1,10
12	1,20	0,90	0,50	0,20	1,00	1,40	1,40	0,90
13	0,30	0,70	1,40	2,20	0,20	0,40	0,40	0,20
14	0,40	1,10	1,90	0,50	0,70	0,50	1,10	0,60
15	0,70	1,50	0,90	1,10	0,90	0,30	0,10	3,10
16	0,80	1,60	1,80	1,60	1,00	0,00	1,10	0,50
17	2,40	2,60	2,40	1,80	0,80	1,60	2,40	0,80
18	0,20	0,00	0,60	1,60	0,80	0,50	1,10	1,40
19	0,20	0,80	1,80	1,00	0,70	0,20	4,20	3,80
20	0,60	1,60	0,80	0,50	0,00	1,10	1,10	0,90
21	1,00	0,20	0,10	0,60	0,50	3,40	2,60	0,60
22	0,80	1,10	1,60	0,50	2,40	0,50	0,20	2,30
23	0,30	0,80	0,30	3,20	0,30	2,40	2,80	1,30
24	0,50	0,60	3,50	0,60	2,70	0,90	0,40	0,90
25	1,10	4,00	1,10	3,20	1,40	3,60	0,00	0,10
Σ	17,40	27,90	32,30	32,70	26,40	28,60	31,90	31,50
ΔV	0,70	1,10	1,29	1,31	1,06	1,14	1,27	1,26
σ	0,93	1,48	1,72	1,73	1,40	1,58	1,70	1,68

В табл. 3 приведены разности скоростей ветра ΔV между начальной точкой и точками, отстоящими от нее на 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 и 60 сек., причем начальная точка постепенно смещается. Далее вычисляется сумма отдельных значений ΔV , определяется средняя величина ΔV и находится среднеквадратичное значение σ , обозначенное σ , причем

$$\sigma = a \overline{\Delta V},$$

в данном случае величина коэффициента $a = 1,33$.

Обработка по синхронным точкам

На ленте прибора получается синхронная регистрация вертикальных и горизонтальных пульсаций скорости ветра. На наших лентах можно получить зависимость между изменениями W' и ΔV в синхронные отрезки времени. Такие одновременные колебания W' и ΔV хорошо заметны на ленте (рис. 9) на высотах 200 и 300 м в точках 1—14. Обработка такого рода лент производится также по

шадкам, если на них имеются хорошо заметные переломные точки в записях изометрических или вертикальных пульсаций. Нахождение величин t , W' и ΔV изводится аналогично изложенному выше. Пример обработки такого рода записи приведен в табл. 4. Вид записи дан на рис. 11. По этим записям можно определить корреляционные связи между W' и ΔV на разных уровнях и в различных

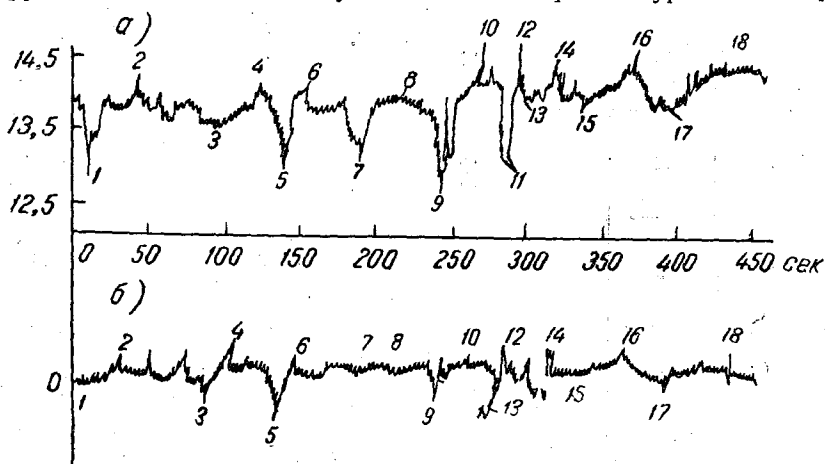


Рис. 11. Корреляционные связи между W' и ΔV .
а — горизонтальные пульсации; б — вертикальные пульсации.

метеорологических условиях, иногда возможно подсчитать величину касательного напряжения $\tau = -\rho W' \Delta V$, где ρ — плотность воздуха, вычислить $v_* = \sqrt{\tau/\rho}$, так называемую скорость трения, и сделать ряд других расчетов, характеризующих структуру воздушного потока (табл. 4).

Далее рассмотрим результаты лабораторных и полевых испытаний прибора.

ЛАБОРАТОРНЫЕ И ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИБОРА

В настоящее время для исследования структуры воздушного потока у земной поверхности часто применяют весьма сложную аппаратуру с высоким классом точности. Использование такого рода приборов для аналогичных исследований в свободной атмосфере по ряду причин пока еще затруднено. Предложенные нами приборы с механической записью являются весьма простыми, но в некоторой части и несовершенными. Пользование такого рода приборами возможно лишь при условии тщательного проведения всех лабораторных и полевых испытаний прибора, устанавливающих пределы его погрешностей.

Лабораторные исследования должны выяснить: а) пределы сохранения постоянства показаний приборов в зависимости от изменения направления воздушного потока, б) инерционность приемника, в) инструментальную ошибку прибора, г) взаимное влияние приемников друг на друга.

Полевые испытания должны выяснить: а) пределы скорости ветра, допускающие применение прибора, б) сравнимость показаний двух приборов в воздухе.

Определение пределов сохранения постоянства показаний приемников

Прибор, подвешенный к тросу, имеет возможность совершать движения как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости, отклоняясь от направления ветра на некоторый угол. Для выяснения влияния такого рода колебаний прибора на его показания были проведены тарировки прибора, устанавливаемого под разными углами к направлению потока для горизонтальных углов в пределах от 0 до 45° и для вертикальных углов в пределах от 0 до $\pm 25^\circ$.

Пример с результатами обработки ленты по синхронным точкам

11/II 1954 г., 16 час., подъем № 103, Воейково

№ точек	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----

$H = 200 \text{ м}$

$\bar{V} = 9,4 \text{ м/сек.}$

$t \text{ сек.}$	0	10	20	25	40	50	70	80	95	120	135	145	155	
$\Delta V \text{ м/сек.}$	-0,8	0,6	0,0	0,7	-0,7	1,1	-0,6	0,4	-0,9	1,0	-1,2	0,5	-0,6	
$W' \text{ м/сек.}$	0,18	0,04	0,0	-0,18	0,10	-0,12	0,14	-0,18	0,18	-0,16	0,20	-0,10	0,14	
τ	0,190	0,050	0,00	0,176	0,095	0,176	0,112	0,098	0,220	0,216	0,323	0,068	0,022	$\tau = 0,131$
$V_* \text{ м/сек.}$	0,37	0,15	0,0	0,35	0,26	0,38	0,29	0,27	0,40	0,40	0,49	0,22	0,29	$V_* = 0,32$

$H = 300 \text{ м}$

$\bar{V} = 13,8 \text{ м/сек.}$

$t \text{ сек.}$	10	35	95	110	140	165	190	210	245	270	285	295	310	325	
$\Delta V \text{ м/сек.}$	-0,4	0,5	0,0	0,5	-0,5	0,4	-0,2	0,3	-0,8	0,5	-0,5	-0,6	-0,2	0,2	
$W' \text{ м/сек.}$	-0,08	0,12	-0,14	0,14	-0,24	0,08	0,0	0,0	-0,18	0,14	-0,14	-0,08	0,08	0,10	

Поворот приемника горизонтальной составляющей на углы до 45° к направлению потока в горизонтальной плоскости не сказывается на его показаниях. Изменение вертикальных углов не влияет на показания приемника горизонтальной составляющей в пределах до $\pm 15^\circ$, при отклонении же на больший вертикальный угол значительно изменяется чувствительность прибора. Так, например, при углах $\pm 5^\circ$ чувствительность прибора уменьшается до 60% величины чувствительности при 0° . При наклоне прибора в вертикальной плоскости на угол $\pm 20^\circ$ и больше к направлению воздушного потока в трубе и при скоростях от 6—7 м/сек. наблюдается образование значительных завихрений с подсосом воздуха под корпус прибора, с отклонениями и биением пластинки приемника вертикальных пульсаций. Это потребовало некоторого удлинения кожуха прибора. Приемник средней скорости сохраняет постоянство показаний при вертикальных углах до $\pm 25^\circ$ и начинает работать с 1,5 м/сек.

Определение инерции прибора и инструментальной ошибки

Инерционность прибора можно характеризовать постоянной времени M . Постоянная времени определяется как время установления режима работы при скачкообразном изменении условий работы.

Для определения M был использован прибор с 45-секундным оборотом барабана. Прибор помещался в аэродинамическую трубу, устанавливалась определенная скорость потока, включался часовой механизм и на ленте прочерчивалась площадка I , соответствующая данной скорости (с. 12).

Для того чтобы по возможности не задевать поток, приемник отклонялся на некоторый угол при помощи длинного тонкого стержня так, чтобы перо писало площадку 2 выше или ниже начальной. Затем стержень быстро отнимался, и перо снова вращалось на уровень первоначальной площадки. Зная кривизну начальной дуги и проводя этим радиусом дуги через точки a и b , определяют постоянную времени M по расстоянию ab (в мм) при скорости вращения барабана 0,204 мм/сек. Таким

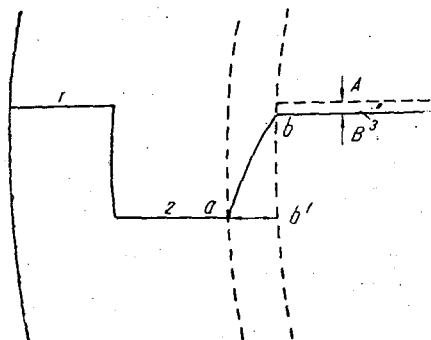


Рис. 12. Схема определения инерции приемника.

образом проводился опыт для приемников горизонтальной и вертикальной составляющих скорости ветра при различных значениях потока от 2 до 8 м/сек. Результаты измерений даны в табл. 5.

Таблица 5

Величина инерции и инструментальная ошибка прибора

Вид приемника	Инерция			Инструментальная ошибка	
	скорость потока (м/сек.)	M (сек.)	λ (м)	среднеквадратичные значения отклонения пера прибора	
				мм	м/сек.
Горизонтальная составляющая	2,30	0,320	0,72	1,93	0,116
	3,70	0,289	1,07	1,77	0,106
	4,00	0,214	0,82	3,22	0,193
	6,64	0,095	0,63	1,45	0,087
	7,50	0,092	0,69	2,04	0,122
	7,85	0,087	0,68	1,66	0,100
Вертикальная составляющая	3,70	1,000	3,7	0,00	0,00
	7,50	1,170	9,0	0,00	0,00

Выяснилось, что постоянная времени уменьшается с увеличением скорости потока. Зная постоянную времени и среднюю скорость потока, можно определить масштаб осреднения пульсационного поля вдоль потока, вызванного инерцией прибора (величины λ в метрах помещены в табл. 5).

Одновременно на этих же записях определялась и инструментальная ошибка прибора, вызванная трением и люфтом в осях передачи. Ошибка эта выражается в том, что выведенное из первоначального положения перо не возвращается к тому же уровню и разность в ординатах составляет AB (рис. 12).

Было измерено невозвращение пера при разных скоростях потока и подсчитаны среднеквадратичные отклонения его от начального положения, результаты измерений даны в табл. 5. Величина инструментальной ошибки не зависит от скорости потока, и ее величина составляет 2,0 мм — 0,12 м/сек.

Полученные величины инерции горизонтальной составляющей скорости ветра в общем указывают на весьма хорошие качества приемника. Величина постоянной времени M составляет:

для $V = 3$ м/сек. $M = 0,30$ сек.

„ $V = 6$ „ $M = 0,10$ „

„ $V = 8$ „ $M = 0,08$ „

Масштаб осреднения пульсационного поля λ составляет всего 75 см. В сложных наземных установках, применяемых А. М. Обуховым [3], величина $M = 0,015$ сек. и $\lambda = 5$ см.

Несколько больше инерция у приемника, регистрирующего вертикальную составляющую, для него величина $M = 1,1$ сек., а величина $\lambda = 4-9$ м.

Среднеквадратичная величина инструментальной ошибки составляет для приемника горизонтальной составляющей около 2 мм, или 0,12 м/сек. При многократных поверках этого приемника наблюдается также некоторый разброс точек около начальной кривой, они не все ложатся строго на одну линию. Этот разброс также определяет величину инструментальной ошибки приемника. Величина средних максимальных отклонений нескольких поверок составляет $\pm 0,2$ м/сек. Таким образом, инструментальную ошибку приемника горизонтальной составляющей примем равной $\pm 0,20$ м/сек. как среднемаксимальную и среднеквадратичную — $\pm 0,1$ м/сек.

Инструментальная ошибка приемника вертикальной составляющей по данным наших измерений отсутствует. После отклонения приемник точно возвращается в начальное положение. Приемник горизонтальной составляющей начинает работать при ветре со скоростью 2,0—2,5 м/сек., а вертикальной составляющей — 2 м/сек. Приемник показывает при скорости потока с $V > 2$ м/сек. наличие вертикальной составляющей с $W \geq 0,1$ м/сек.

Взаимное влияние приемников прибора

Прибор имеет относительно небольшие размеры и разместить все приемники таким образом, чтобы они не оказывали влияния один на другой, невозможно.

В наивыгоднейшем положении находится приемник горизонтальной составляющей скорости ветра, вынесенный несколько вперед и находящийся почти в невозмущенном потоке. Приемник средней скорости ветра уже должен испытывать влияние находящегося впереди пропеллера горизонтальной составляющей.

Тарировка приемника средней скорости делалась одновременно с тарировкой приемника горизонтальной составляющей порывов, поэтому частично это влияние уже учитывается.

Пропеллер должен также оказывать влияние на положение пластин вертикальной составляющей скорости. Продувка приемника вертикальной составляющей была сделана при горизонтальном и вертикальном положениях пропеллера и при расположении его под углом 45° к горизонту.

Продувка приемника горизонтальной составляющей скорости ветра показывает, что его чувствительность останется неизменной как при горизонтальном и вертикальном положениях, так и под углом в 45° , когда расхождения наблюдаются в пределах точности отсчетов.

ак показали результаты тарировки приемника средней скорости ветра, при горизонтальном и вертикальном положениях пропеллера наблюдается небольшая погрешность в показаниях приемника при скоростях до 3,5 м/сек., а затем они практически становятся одинаковыми.

Пропеллер, поставленный вертикально, частично экранирует приемник средней скорости и уменьшает его показания на 0,2—0,3 м/сек. при скоростях потока до 1,5 м/сек.; при увеличении скорости ветра пропеллер поворачивается и влияние его уменьшается настолько, что не сказывается на точности отсчета анемометра. Влияние пропеллера на показания пластин приемника вертикальной составляющей сказывается как при вертикальном, так и при горизонтальном его положении со смещением пера на барабане в пределах от 1,5 до 2,5 мм при скорости потока до 3 м/сек.; при больших скоростях взаимного влияния не имеется.

Полевые испытания приборов

Полевые испытания приборов проводились на посту аэростатного зондирования одновременно с разработкой методики исследования шло дальнейшее изучение качества работы приборов.

Наиболее сложным является получение надежных показаний приемника вертикальной составляющей скорости ветра. Аэростат иногда меняет свою высоту в момент работы прибора, и приемник в этом случае показывает вертикальные отклонения. Для учета собственных колебаний высоты аэростата пришлось применить приемник давления воздуха повышенной чувствительности, чтобы было возможно выделять колебания высоты прибора с точностью до 2—3 м; участки с меняющейся высотой прибора из обработки выбрасываются. Прибор приходится крепить к аэростату на 20—30 м для уменьшения колебаний и размещения его в безопасном от присутствия аэростата воздушном потоке.

Показания прибора при подъемах и спусках

Приемник горизонтальных пульсаций скорости ветра при больших скоростях спуска троса аэростата и наблюдающихся при этом дополнительных раскачиваниях аэростата записывает неправильные показания. Приемник вертикальных пульсаций при подъемах аэростата не может регистрировать вертикальные движения воздуха. Пример записи на участках с быстрым подъемом аэростата приведен на рис. 8. (участки 1, 2 и 3). Следовательно, показания прибора при подъеме и спуске будут ненадежны и в обработку не входят. В некоторых случаях, особенно часто на высоте 300 м, при быстром выпуске троса, 30—40 сек. после окончания спуска аэростат еще набирает высоту. Эти участки также выбрасываются из обработки. Наличие таких участков, помимо записи приемника атмосферного давления, еще резче выделяется на записи приемника горизонтальных пульсаций в виде отсутствия скорости ветра и дальнейшего быстрого ее спада.

ВЫВОДЫ О ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДА И ОШИБКАХ ИЗМЕРЕНИЙ

Метод регистрации вертикальных и горизонтальных пульсаций скорости ветра дает возможность получить ряд характеристик структуры воздушного потока на 5—10 уровнях в слое до 300—500 м. К числу этих характеристик нужно отнести.

Средние скорости ветра измеряются, начиная с 1—1,5 м/сек. с осреднением от 30 сек. до 3—4 мин., с точностью порядка 0,2—0,3 м/сек.

Горизонтальные пульсации скорости ветра измеряются с 2—2,5 м/сек. Отдельные отсчеты проводятся через каждые 5 сек.; по ним для площадок определяются средние максимальные и минимальные величины пульсаций, находятся средние за трех-четырехминутный промежуток времени: величина пульсаций и их период, горизонтальные размеры вихря, относительная порывистость и структурные функции.

Приемник сохраняет постоянство показаний при отклонениях горизонтальных углов на $\pm 45^\circ$ и вертикальных углов на $\pm 15^\circ$, выше начальной чувствительности (2—2,5 м/сек.) фиксирует всякие изменения скорости ветра от 0,1 м/сек. Инерция приемника составляет 0,1—0,2 сек., инструментальная ошибка равна 0,1—0,15 м/сек., собственных колебаний приемник не имеет. Измерения надежны в отсутствие вертикальных смещений прибора. Ввиду отсутствия жесткой системы подвески прибора при сильном порывистом ветре, примерно с $\Delta V > 2,5 - 3,0$ м/сек. могут создаваться значительные собственные колебания прибора и аэростата, когда данные измерений не будут давать надежных количественных характеристик горизонтальных пульсаций. Установить точные границы работы прибора не удалось. В нормальных условиях точность измерений горизонтальных пульсаций скорости ветра можно принять равной $\pm 0,15 - 0,20$ м/сек.

Вертикальные пульсации скорости ветра измерялись при ветре начиная от скорости 2,0 м/сек. Отдельные отсчеты проводились через каждые 5 сек. и по ним для данной площадки определялись средние за трех-четырехминутный промежуток времени величины вертикальных пульсаций и время сохранения пульсаций одного знака.

Приемник сохраняет постоянство показаний при отклонениях горизонтальных углов на $\pm 45^\circ$, выше начальной чувствительности фиксирует изменение вертикальной составляющей с 0,1 м/сек. При углах наклона воздушного потока в пределах $\pm 20 - 30^\circ$ инерция приемника равна 1—1,2 сек. Инструментальная ошибка почти равна нулю. Измерения на привязном аэростате дают надежные данные W' при скоростях от 2 м/сек. Их можно рассматривать как средние за трех-четырехминутный промежуток, считая, что эти величины для восходящих и нисходящих потоков одинаковы. Кроме того, отсутствуют фиксируемые прибором вертикальные смещения самого аэростата, отмечаемые по записям приемника давления. Точность измерения вертикальных пульсаций в нормальных условиях составляет примерно $\pm 0,2 - 0,3$ м/сек.

Приемник атмосферного давления предназначен для фиксации смещений прибора в вертикальной плоскости с точностью до 0,3—0,5 мб, или 3—5 м высоты, а также для более точного определения начала и конца площадок.

Высота площадок при подъеме обычно определяется по тросу, и ошибка для аэростата МАЗ-1 колеблется в пределах 5—7%.

По измеренным данным можно также вычислить коэффициент турбулентного обмена, величину параметра $\frac{W'}{\Delta V}$ углы наклона воздушного потока, размеры вихрей и ряд других характеристик.

В атмосфере одновременно могут существовать вихри весьма большого диапазона — от нескольких сантиметров до тысяч километров, поэтому любой прибор должен обладать известной избирательностью из полного спектра вихрей. В нашем приборе минимальной скоростью ветра, с которой начинает работать приемник горизонтальных пульсаций, является 2,5 м/сек. и минимальным периодом — 10 сек. Следовательно, $L_{\min} = 25$ м, максимальные периоды практически при слабых скоростях можно считать равными 100 сек., т. е. $L_{\max} = 250$ м.

Регистрируемая тем же приемником максимальная скорость равна 18 м/сек. при практически наблюдаемых средних периодах пульсаций до 40—50 сек., тогда $L_{\max} = 900$ м, окончательно пределы измерения: $25 \text{ м} < L_x < 900 \text{ м}$. Пределы измерения вертикальной составляющей вихря L_z определяются величинами W' и T :

$$L_z = W' T.$$

Практически вертикальные пульсации W' измеряются прибором от 0,1 до 2,0 м/сек., время сохранения пульсаций одного знака T — от 5 до 100 сек., тогда пределы L_z будут

$$0,5 < L_z < 200 \text{ м}.$$

Метод охватывает все наиболее активные размеры вихрей. Коэффициент турбулентного обмена измеряют исходя из указанных уже минимальных значений W' и T

и $\Delta V_{\min} = 0,1$ м/сек. и $V_{\min} = 2,5$ м/сек.) в пределах от

$$K_{z_{\min}} = \frac{0,01 \cdot 5 \cdot 2,5}{2 \cdot 0,1} = 0,006 \text{ м}^2/\text{сек.} = 60 \text{ см}^2/\text{сек.}$$

о наиболее часто встречающихся в атмосфере максимальных значений коэффициента обмена.

ЛИТЕРАТУРА

- Боронцов П. А. Методика и аппаратура аэрологических исследований микроструктуры ветра. Труды ГГО, вып. 38 (100), 1953.
Болчанов П. А. Аэрология. Гидрометеиздат, 1938.
Бухов А. М. Характеристика микроструктуры ветра в приземном слое атмосферы. Известия АН СССР, серия географ. № 3, 1951.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА С САМОЛЕТА

Исследование структуры воздушного потока с самолета, несмотря на некоторую сложность, представляет ряд больших преимуществ по сравнению с другими методами. Основное из них заключается в возможности проводить исследование структуры ветра над любой подстилающей поверхностью (если ее протяженность не менее 2—3 км) на высотах от 100 м и до потолка самолета. Исследование структуры ветра этим методом в Главной геофизической обсерватории производилось в основном с самолета ПО-2 с помощью записей акселерографа и чувствительного метеорографа.

Поскольку изучение структуры ветра проводилось нами на самолете ПО-2, то все дальнейшие рассуждения будут справедливы лишь для наблюдений с самолета данного типа.

ПРИМЕНЕНИЕ АКСЕЛЕРОГРАФА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

Общие сведения

В наших исследованиях был использован однокомпонентный акселерограф ЗП-11. Прибор предназначен для регистрации перегрузок самолета в вертикальной плоскости. Схема акселерографа дана на рис. 1.

Приемной частью прибора является груз 1, подвешенный на пружинах 2. В спокойном состоянии упругость пружины уравнивает груз. Груз помещен в ка-

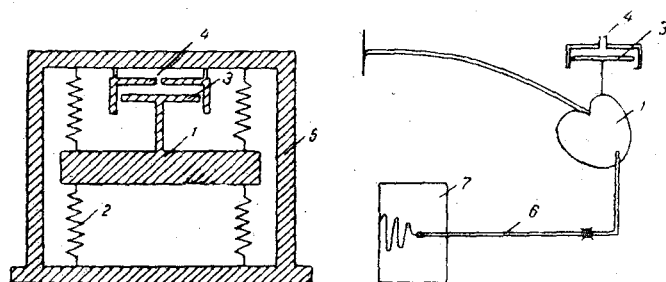


Рис. 1. Схема акселерографа.

меру 5 и соединяется при помощи системы рычагов со стрелкой 6, которая может перемещаться в вертикальной плоскости вдоль барабана 7. При возникновении ускорения, направленного вверх, груз под влиянием сил инерции будет смещаться вниз относительно корпуса и наоборот. Пружины 2 ограничивают пределы смещения груза. Для уменьшения собственных колебаний груза в приборе сделан воздушный демпфер 3 в виде поршня, проталкивающего воздух через отверстие 4.

Регистрация величины смещения груза производится на меловой бумаге, надетой на барабан. Общий вид акселерографа ЗП-11 показан на рис. 2. Вращение барабана производится при помощи электромоторчика в 26 вольт, питаемого от самолетной электросети. Электромотор может быть включен наблюдателем.

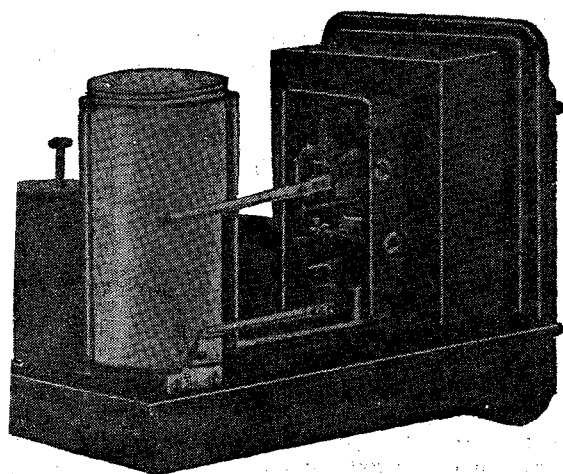


Рис. 2. Внутренний вид акселерографа.

на любой отрезок времени и в любой момент. Акселерограф снабжается электромагнитными часами, которые за 0,5 сек. делают риску на ленте барабана. Для включения в электросеть акселерограф снабжен бронированным водом, на конце которого имеется фишка. К фишке водятся провода от аккумулятора в 26 вольт и от электромагнитных часов. Схема включения акселерографа приведена на рис. 3.

Скорость вращения барабана акселерографа зависит от напряжения в электропитании самолета и в нормальных условиях составляет 8 мм/сек. По записям акселерографа можно получить числовые характеристики величины и периода перегрузок, испытываемых самолетом.

Применяемый нами акселерограф ЗП-11 имел следующие характеристики: а) минимальный период регистрации перегрузок 0,1 сек., б) регистрация перегрузок в пределах $\pm 1g$, в) частота собственных колебаний — 10—12 пер./сек., г) снятие величин перегрузок до 0,01g, д) скорость развертки 8 мм/сек., е) длина ленты на барабане от 5 до 10 м в зависимости от толщины ленты.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОРЫВОВ ВЕТРА

Возмущения воздушного потока, обтекающего летящий самолет, вызывают изменения режима его полета. Зная эти возмущения и характеристики самолета, можно считать, каковы будут отклонения элементов кинематики самолета от их значений в невозмущенном полете. В практике авиационного конструирования решается обычно другая задача. Здесь ищутся такие значения параметров конструкции, чтобы при тех или иных возмущениях аэродинамических сил самолет стремился бы возвратиться к невозмущенному состоянию наиболее оптимальным образом.

Существует третий вариант задачи, а именно определение структуры возмущений воздушного потока по заданным значениям отклонений элементов кинематики самолета от установившегося режима. В этом случае самолет как бы служит датчиком гигантского анемометра.

Какие характеристики возмущений воздушного потока можно определить наиболее надежным образом и какие элементы кинематики самолета необходимо для этого регистрировать?

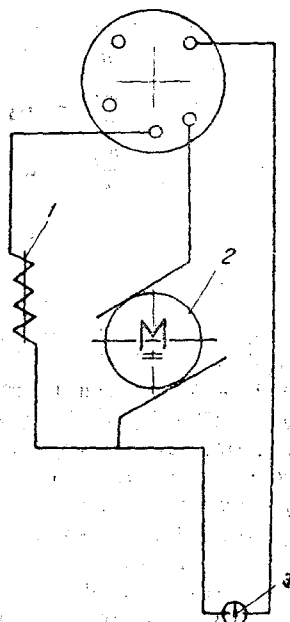


Рис. 3. Электросхема акселерографа.
1 — отметчик; 2 — электромотор; 3 — выключатель.

Примем, что невозмущенный поток является строго горизонтальным. Интересными нас характеристиками возмущений потока будет поле вертикальных и горизонтальных пульсаций ветра.

Для того чтобы определить, какие характеристики полета самолета след при этом регистрировать, обратимся к системе уравнений, описывающих колебания самолета в полете под влиянием порывов ветра:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\varphi_1}{d\tau} + a_{11}\varphi_1 + a_{12}\varphi_2 + a_{13}\varphi_3 &= a_{11}U_1 + a_{12}U_2 \\ \frac{d\varphi_2}{d\tau} + a_{21}\varphi_1 + a_{22}\varphi_2 + a_{23}\varphi_3 &= a_{21}U_1 + a_{22}U_2 \\ \frac{d^2\varphi_3}{d\tau^2} + a_{44}\frac{d\varphi_3}{d\tau} + a_{41}\varphi_1 + a_{42}\varphi_2 + a_{43}\varphi_3 &= a_{41}U_1 + \\ &+ a_{42}U_2 + a_{43}\frac{dU_2}{d\tau} \end{aligned} \right\}$$

где φ_1 — пульсация горизонтальной скорости центра тяжести самолета, отнесенная к средней скорости полета; φ_2 — пульсация вертикальной скорости центра тяжести самолета, также в безразмерной форме; φ_3 — пульсация угла тангажа; U_1 — пульсация горизонтальной скорости ветра, также отнесенная к средней скорости полета; U_2 — пульсация вертикальной скорости ветра в безразмерной форме; τ — безразмерное время, a_{ij} — безразмерные коэффициенты, зависящие от конструкции самолета и режима полета.

Невозмущенный режим полета предполагается горизонтальным. Предполагается также, что полет происходит без вмешательства летчика в управление самолетом. В противном случае в правые части уравнений вошли бы члены, характеризующие воздействие летчика на рычаги управления. Учет этого фактора крайне усложнил бы задачу, потребовалась бы регистрация дополнительных характеристик, поэтому мы ограничимся здесь рассмотрением полета без управления самолета летчиком.

В случае полетов с автопилотом эти уравнения также непригодны. В этом случае связь между значениями возмущений набегающего потока (ветра) и колебаниями самолета будет иной в силу стабилизирующего влияния автопилота. Обобщение уравнений на этот случай полета не представляет значительных трудностей.

Уравнения (1) были получены для расчета вероятных характеристик колебаний самолета по заданным характеристикам поля пульсаций ветра. Эти три уравнения связывают между собой пять функций. Таким образом, три любые из этих функций могут быть выражены через две оставшиеся. В работах других авторов такими двумя функциями были U_1 и U_2 , через значения которых выражались φ_1 , φ_2 , φ_3 .

В нашей задаче, наоборот, двумя из трех неизвестных функций являются U_1 и U_2 . В качестве третьей можно выбрать любую из φ_1 , φ_2 и φ_3 . Можно выбрать φ_1 или φ_2 , что было бы наиболее удобно с точки зрения простоты решения системы уравнений, но при этом интересующие нас значения порывов ветра выражались бы через значения угла тангажа и его производных. Поскольку регистрация изменений угла тангажа в полете представляет значительные трудности, такой путь решения задачи представляется нам недостаточно эффективным.

С этой точки зрения удобнее в качестве третьей неизвестной функции выбрать φ_3 . Тогда значения порывов ветра в полете будут выражаться через пульсации компонент путевой скорости самолета (вертикальной и горизонтальной) и ускорений центра тяжести самолета. Регистрация компонент таких ускорений в настоящее время достаточно хорошо разработана, соответствующие скорости могут быть определены интегрированием записи акселерографа.

Задача сводится, таким образом, к решению системы четырех линейных уравнений первого порядка с постоянными коэффициентами. Расчетные формулы получаются при этом весьма громоздкие, поэтому мы воспользуемся приближенным решением системы (1) относительно U_1 и U_2 , изложенным в работе А. С. Ду-

[1]. Это решение основано на следующих соображениях. Если из первых двух слагаемых исключить φ_3 , то в полученном выражении

$$(a_{11}a_{23} - a_{13}a_{21})(U_1 - \varphi_1) + (a_{12}a_{23} - a_{22}a_{13})(U_2 - \varphi_2) = \\ = a_{23} \frac{d\varphi_1}{d\tau} - a_{13} \frac{d\varphi_2}{d\tau} \quad (2)$$

коэффициент при члене, содержащем горизонтальные пульсации, будет намного меньше, чем при члене с вертикальными пульсациями. Для самолета ПО-2, например, при средней скорости полета 30 м/сек., эти коэффициенты принимают следующие значения:

$$-0,047(U_1 - \varphi_1) + 1,12(U_2 - \varphi_2).$$

Если принять, что пульсации скоростей воздушного потока относительно самолета одного порядка как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении, первым членом в выражении (2) можно пренебречь с точностью 4%. Пульсации в горизонтальном направлении могут быть, однако, несколько больше, поэтому от пренебрежения этим членом может достигать 10%.

Тогда из выражения (2) получаем

$$U_2 = \varphi_2 + b_1 \frac{d\varphi_1}{d\tau} + C_1 \frac{d\varphi_2}{d\tau}. \quad (3)$$

Полученная формула является обобщением известного в аэродинамике приближенного соотношения между вертикальным порывом ветра (W_z) и вертикальным отклонением центра тяжести самолета (Δn)

$$W_z = a\Delta n. \quad (4)$$

В некоторых условиях можно пользоваться соотношением (3), в других — соотношением (4). Соотношение (4) является следствием пропорциональности возникающего вертикального ускорения самолета изменению угла атаки, причем изменение угла атаки обусловлено только появлением вертикального порыва ветра. В этом предполагается, что вертикальная компонента скорости самолета равна нулю, что имеет место, например, когда самолет при строго горизонтальном полете входит в вертикальный поток воздуха с резкой границей. Для оценки перегрузки момент входа в поток при таком режиме полета соотношение (4) действительно приближенно выполняется.

Другое дело, когда самолет делает площадку при зондировании без вмешательства пилота. Если графически проинтегрировать запись акселерографа, то окажется, что вертикальная компонента скорости самолета делается вполне соизмеримой с вертикальной компонентой скорости ветра. Тогда следует учесть, что изменения угла атаки (а следовательно, и вертикальных перегрузок) будут пропорциональны изменению вертикальной скорости потока относительно самолета, что и

отражено в соотношении (3) введением φ_2 . Вертикальные ускорения $\frac{d\varphi_2}{d\tau}$ оказываются пропорциональными разности между безразмерными вертикальными скоростями воздуха и самолета ($U_2 - \varphi_2$), что вполне естественно.

Существенным также оказывается появление в соотношении (3) горизонтальных ускорений. Появились они следующим образом. Изменения угла атаки связаны не только с появлением вертикального компонента скорости воздушного потока, но и с возникновением горизонтальных пульсаций. Легко понять, что в силу большой величины скоростей полета по сравнению с пульсациями ветра, горизонтальные порывы мало скажутся на величине угла атаки. Следствием этого эффекта и появилась возможность пренебречь членами U_1 и φ_1 в соотношении (2).

Угол атаки связан также со значением угла тангажа [3]. В результате исключения угла тангажа в соотношении (3), наряду с вертикальными ускорениями центра тяжести самолета, появились горизонтальные ускорения. Коэффициент b_1 в соотношении (3) больше C_1 примерно в четыре раза. Следовательно, вообще говоря,

горизонтальные перегрузки входят в расчетную формулу с большим весом, вертикальные. Но поскольку величина горизонтальных перегрузок намного меньше вертикальных, то общий эффект их влияния оказывается малым. Исследования показали, что горизонтальные перегрузки в обычных условиях зондирования практически отсутствуют. Таким образом, появляется возможность определять вертикальные порывы ветра по записям однокомпонентного акселерографа. Следует заметить, однако, что вопрос о горизонтальных ускорениях нуждается в дополнительных исследованиях. Можно ожидать, что в отдельные моменты времени ускорения могут оказать существенное влияние на результат расчетов вертикальных скоростей.

Переходя к размерным величинам и пренебрегая горизонтальными ускорениями, получим следующую расчетную формулу:

$$W = V_z + b\Delta n,$$

где W — вертикальная скорость ветра в м/сек., V_z — вертикальная скорость центра тяжести самолета, определенная графическим интегрированием акселерограммы в м/сек., Δn — вертикальные перегрузки в долях g , b — коэффициент, зависящий от конструкции самолета, его веса и скорости полета.

Прежде, чем переходить к определению численных значений коэффициента, остановимся на работе акселерографа.

Чувствительным элементом акселерографа служит груз, укрепленный на пружинах. Собственные колебания этой упругой системы гасятся при помощи специального демпфера. Смещение груза, являющееся мерой испытываемого прибором ускорения, с помощью системы рычагов передается перу, запись которого фиксируется

на движущейся ленте. Связь ординат записи прибора с испытываемыми ускорениями дается известным из теории вибрационных приборов линейным дифференциальным уравнением второго порядка с постоянными коэффициентами.

Поскольку собственная частота прибора значительно выше частоты возмущающих импульсов, то последние по отношению к колебаниям грузиков можно рассматривать как статистическую нагрузку. В прикладной теории вибрационных приборов [1] указывается, что в этом случае в дифференциальных уравнениях можно пренебречь членами, содержащими производные, т. е. считать, что отклонения инертной массы от положения равновесия пропорциональны величине испытываемого ускорения.

Собственные частоты акселерографов, применяющихся при зондировании, обычно таковы (10—12 периодов в секунду), что без существенных искажений записываются возмущения, период которых не меньше 0,25 сек. При средней скорости полета 30 м/сек., это условие ограничивает размеры вихрей, регистрируемых прибором без существенных искажений до 7—8 м. Вихри меньшего масштаба будут малозаметны на колебаниях летящего самолета.

Особенностью работы акселерографа, установленного на самолете, является его чувствительность к колебаниям угла тангажа. На рис. 4 изображены две системы осей: x, z — неподвижная (ось oz направлена по вертикали) и x', z' — связанная с самолетом. Колебания грузиков, регистрирующих нормальные и продольные ускорения самолета, совершаются вдоль осей oz' и ox' . Эти грузики испыты-

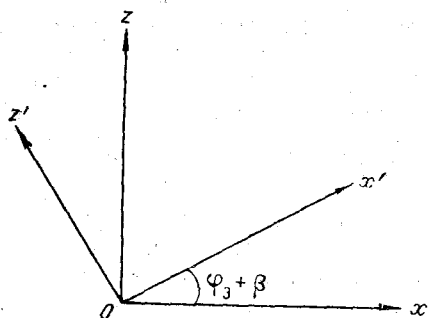


Рис. 4. Две системы осей. xz — неподвижная, $x'z'$ — связанная с самолетом.

г, очевидно, такие ускорения:

$$\left. \begin{aligned} W_n &= \left(\frac{dV_z}{dt} - g \right) \cos(\varphi_3 + \beta) - \frac{dV_x}{dt} \sin(\varphi_3 + \beta) \\ W_n &= \left(\frac{dV_z}{dt} - g \right) \sin(\varphi_3 + \beta) + \frac{dV_x}{dt} \cos(\varphi_3 + \beta) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$\frac{dV_z}{dt}$ и $\frac{dV_x}{dt}$ — проекции ускорения центра тяжести самолета (акселерограф ановлен в центре тяжести самолета) на оси OZ и Ox , φ_3 — угол тангажа, β — л установки прибора в вертикальной плоскости, g — ускорение силы тяжести. установившемся режиме (при отсутствии колебаний самолета) имеют место видные равенства:

$$W_n = -g \cos \beta,$$

$$W_n = -g \sin \beta.$$

Считая угол установки и возмущения элементов кинематики самолета малыми личинами, соотношение (6) можно переписать в виде

$$W'_n = \frac{dV_z}{dt}, \quad W'_n = -g(\varphi_3 + \beta) + \frac{dV_x}{dt}$$

точностью до малых второго порядка.

Переходя к безразмерным величинам, принятым в системе (1), получим

$$n'_n = \frac{d\varphi_2}{d\tau}; \quad n'_n = \frac{d\varphi_1}{d\tau} - a_0(\varphi_3 + \beta), \quad (7)$$

де

$$a_0 = \frac{\tau_0 g}{V} = \frac{C_L}{2}.$$

Использував соотношение (7), найдем значения коэффициентов b_1 и C_1 в равенстве (3):

$$U_2 = \varphi_2 + \frac{\frac{2n'_n - C_L \beta}{C_{Da} + C_L} + \frac{2n'_n}{C_D + C_{La}}}{1 + \frac{C_L - C_{Da}}{C_{Da} + C_L}}. \quad (8)$$

Здесь C_L и C_D — коэффициенты подъемной силы и лобового сопротивления самолета, C_{La} и C_{Da} — производные от этих коэффициентов по углу атаки.

При выводе равенства (8) использовались следующие соотношения между коэффициентами уравнений системы (1) и аэродинамическими характеристиками:

$$\begin{aligned} a_{11} &= C_D, \quad a_{12} = \frac{C_L + C_{Da}}{2}, \quad a_{13} = \frac{C_{Da}}{2}, \\ a_{21} &= -C_L, \quad a_{22} = \frac{C_D + C_{La}}{2}, \quad a_{23} = -\frac{C_{Da} + C_{La}}{2}. \end{aligned}$$

Перейдя к размерным величинам, получим

$$W'_z = V_z + b \Delta n,$$

где W_z и V_z — вертикальные компоненты скорости ветра и самолета в м/сек
 Δl — вертикальная компонента ускорения центра тяжести самолета в м/сек².

$$b = \frac{C_L v}{g C_{L\alpha} \left(1 + \frac{C_{DL}}{C_{L\alpha}}\right) \left(1 + \frac{C_L - C_{D\alpha}}{C_L + C_{D\alpha}}\right)} \text{ в секундах.}$$

Значения величины b для различных режимов полета самолетов ПО-2 и ЛИ (без автопилота) даны в табл. 1.

Таблица

Величины коэффициента b

Высота (м)	ПО-2				ЛИ-2	
	v (км/час.)					
	80	90	105	120	200	210
50	0,555	0,466	0,375	0,334	—	—
100	0,558	0,470	0,382	0,335	0,516	0,488
200	0,560	0,472	0,384	0,338	0,518	0,490
500	0,570	0,481	0,430	0,346	0,523	0,500
1 000	—	0,502	0,446	0,388	0,570	0,544
2 000	—	0,631	0,510	0,435	0,655	0,617

Величина V_z находится графическим интегрированием акселерограммы. Значение V_z в начальный момент времени определяется из условия равенства нулю среднего значения вертикальной скорости самолета за время площадки. Это является некоторой условностью. Фактически это означает, что рассматриваемый метод позволяет определить только отклонение вертикальной скорости от ее среднего значения за время полета, а не абсолютную величину.

Наблюдения в полете

Акселерограф рекомендуется располагать в центре тяжести самолета, где на прибор практически не влияют угловые ускорения самолета в целом.

Кожух прибора укрепляется на доске размерами 40×25 см, толщиной 2,5—3 см; доска болтами крепится к полу самолета ПО-2, вблизи центра тяжести самолета, впереди кабины наблюдателя с правой стороны запасного управления самолета. Доска устанавливается так, чтобы можно было иметь свободный доступ к прибору, вставлять и вынимать его из кожуха. Для удобства пуска и остановки акселерографа рекомендуется в кабине наблюдателя сбоку на фюзеляже укрепить выключатель, здесь же обычно располагаются и электромагнитные часы.

Перед полетом на барабаны акселерографа надевают ленту из меловой или другой бумаги, при этом следует учитывать толщину бумаги. В зависимости от толщины бумаги ее можно надеть от 5 до 10 м; лента должна плотно прилегать к стойке так, чтобы не создавалось дополнительного трения пера о бумагу.

Перед началом полета на земле необходимо проверить работу акселерографа, для чего включают прибор на 10—15 сек., и если слышен шум моторчика, то можно считать, что прибор работает.

Для получения в дальнейшем характеристик структуры воздушного потока по записям акселерографа необходимо соблюдать определенный режим полета. При включении акселерографа самолет должен находиться в горизонтальном режиме полета с постоянным числом оборотов мотора, причем летчик бросает управление машиной. Обычно в наших полетах по сигналу наблюдателя летчик ставил самолет ПО-2 в горизонтальный режим и, бросив управление, в течение 1—2 минут, если позволяли условия полета, не вмешивался в управление машиной (см. [4]).

Техника полета с акселерографом и продолжительность отдельной регистрации должны определяться специальным заданием. Например, при исследовании особен-

й структуры воздушного потока над степью и лесными полосами в Каменной и полеты проводились по горизонтальным площадкам на высотах 0,1, 0,2, 0,5, 1,0, 1,5 и 2,0 км с продолжительностью отдельной регистрации от 30 сек. Продолжительность регистрации определяется также и тем, что в по- на самолете ПО-2 смена ленты акселерографа настолько затруднена, что гически ее не делают и, следовательно, запись на одну ленту должна обеспе- все исследования в полете. Следует отметить, что обработка лент акселеро- а весьма трудоемка, и стремиться получить возможно большее количество ей не следует.

Как показал наш опыт, продолжительность регистрации на площадке должна не менее 30 и не более 60 сек., при этом обычно всегда будут уловлены терные особенности структуры. При длине ленты на барабане прибора 5 м одолжительности площадки в 30 сек. на ленте применяемого нами акселеро- а можно записать 20 площадок.

Весьма желательно при полете с акселерографом иметь на самолете метеоро- для характеристики состояния атмосферы.

При всех полетах с акселерографом запись ряда сведений должна производиться дельную тетрадь по приведенной ниже форме.

Форма книжки для записи условий полета во время работы акселерографа

по маршруту *Пахта-Арал—Голодная Степь*

Район полета *Пахта-Арал—Голодная Степь.* Дата *2/VIII 1952 г.*

Время взлета *9 час. 08 мин.* Тип самолета *ПО-2*

Время посадки *10 час. 35 мин.* Тип акселерографа *ЗП-11*

№ ленты *9* Метеорограф № *СМ-43, № 790*

Условия на площадке				Условия полета				Характер подстилающей поверхности	Примечание
№ площадки	время начала записи (час. и мин.)	высота (км)	продолжительность записи (сек.)	скорость самолета (м/сек.)	балл болтанки	температура воздуха по стоечному термометру (град.)	облачность		
				горизонтальная вертикальная			выше высоты полета ниже высоты полета		
1	9 10	100	50	95 0,8	0	29,5	1/0Ac —	хлопок	
2	9 15	300	50	90 1,0	0	29,0	1/0Ac —	хлопок	
3	9 20	500	52	90 1,0	0	28,5	1/0Ac —	хлопок	
4	9 26	750	50	95 1,0	0	26,0	1/0Ac —	хлопок	
5	9 31	1 000	50	90 0,7	0	25,0	1/0Ac —	хлопок	

Для каждого полета с акселерографом заполняется отдельный листок книги. Некоторые из граф не требуют пояснения, на других же необходимо остановиться. В графе „№ ленты“ указывается порядковый номер ленты от начала года начала полетов в данном районе.

Все основные графы заполняются для каждой площадки данной ленты и объединяются в два раздела: „Условия на площадке“ и „Условия полета“.

В графе „№ площадки“ в последовательном порядке указываются номера начала данной ленты.

Продолжительность записи в секундах определяется или по электромагнитным часам, или по секундомеру. Остальные графы в пояснениях не нуждаются.

В виде примера дано заполнение книжки при полете с акселерографом в район хлопкового совхоза Пахта-Арала. Полноценной считается запись перегрузок на площадке, во время которой совершался неуправляемый полет. Поэтому в графе „Примечание“ заносятся в первую очередь всякого рода нарушения режима полета во время записи на акселерографе.

В графу „Примечание“, хотя бы один раз перед началом полета или после его окончания, заносят величину напряжения аккумуляторов, питающих акселерограф, ввиду того, что скорость вращения барабана акселерографа определяется напряжением в сети.

Обработка лент

После окончания полета, если вся лента израсходована, ее снимают с барабана акселерографа и сразу же готовят к обработке.

В начале ленты записывают ее номер, дату, место и время полета. Далее на каждой площадке записывают номер площадки, высоту полета, продолжительность записи, вид подстилающей поверхности и вычисляют скорость вращения ленты, имея отметки времени и длину записи.

Образец записи акселерографом перегрузок, испытываемых самолетом, приведен на рис. 5, б. Кроме перегрузок, создаваемых турбулентной структурой ветра,

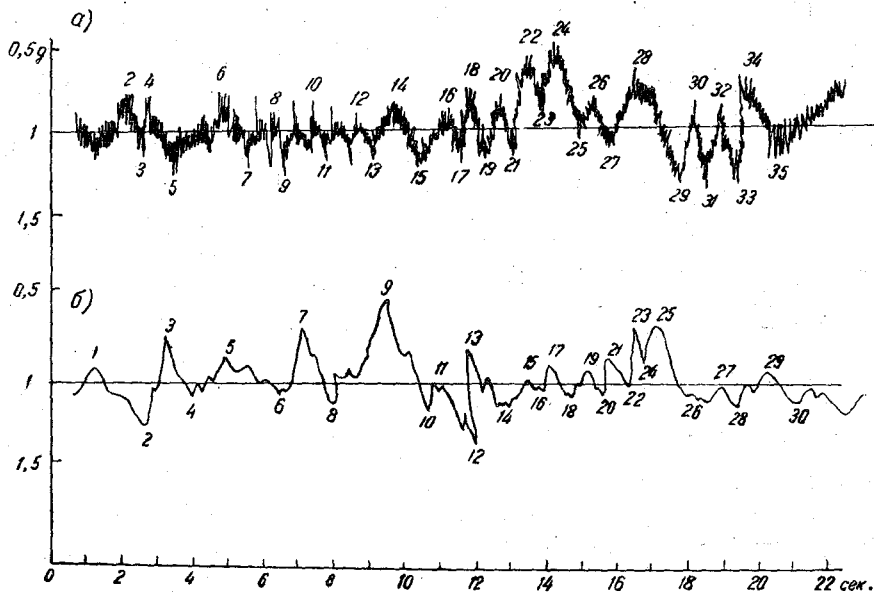


Рис. 5. Пример записи акселерографа.

прибор может регистрировать высокочастотные ускорения, т. е. вибрации от винтомоторной группы. Пример записи акселерографа при одновременной регистрации вибраций винтомоторной группы и перегрузок от порывов ветра дан на рис. 5, а.

Применяемый нами акселерограф позволял почти полностью избавиться от реги-

ации высокочастотных вибраций винтомоторной группы. Обработку ленты начинают с заполнения бланка обработки, в его заголовок записывают дату, время ала записи, номер площадки, высоту и вид подстилающей поверхности.

Если запись ровная или с отклонениями от прямой не более 1—2 мм, то такие иты в обработку не идут, и в бланке записывается: „вертикальные пульсации: утствуют“, или $W' = 0$.

При наличии перегрузок с отклонениями более 2 мм на ленте делают разметку их переломных точек и над каждой ставят порядковый номер. Далее в бланк обработки в вертикальный столбец записывают в порядке возрастания все номера деломных точек.

После этого ленту вкладывают в планшетку, обычно применяемую при обработке самолетных метеорограмм. Затем на ленте акселерографа проводят базисную нию, причем средняя линия на ленте при правильном положении пера прибора правильном выборе базисной линии должна совпадать с линией $\Delta n = 0$ или $= 1$ на тарировочном графике.

Тарировочный график прибора обычно наносят на прозрачную пленку в виде-клонной линии, ординаты которой, отсчитанные от базисной линии, дают величины: регрузок в долях g , вверх со знаком плюс, вниз минус. На пленке наносят ряд араллельных дуг радиусом, равным длине пера акселерографа. Далее тарировоч-ый график накладывают на ленту так, чтобы базисная линия на пленке совпадала базисной линией на ленте. Затем, сохраняя совмещенными базисные линии, пленку еремещают вдоль ленты до пересечения тарировочной кривой с каждой из пере-омных точек на ленте.

Накладывая прозрачный треугольник с дугой пера акселерографа так, чтобы арировочная кривая совместилась с переломной точкой записи, записывают абсциссу очки по шкале каретки и определяют ускорение Δn в долях g по шкале тари-ювочного графика. Тогда произведение $b\Delta n$ можно найти по заранее составленной аблице. Если величины, определяющие коэффициент b в формуле (5), отличаются от начальных данных, то нужно определить новую величину коэффициента b из-абл. 1.

Форма записи результатов первичной обработки одной площадки акселеро-граммы приведена в табл. 2.

В графу „№ точек“ предварительно должны быть записаны все переломные точки, полученные при рассмотрении акселерограммы. Для всех точек далее определяют время в секундах от момента начала площадки и величины перегрузок Δn в долях g , причем ставят перед ними знак —, если величина Δn идет вниз от базисной линии. После того как вписаны в графу „ Δn “ все перегрузки, соответствующие переломным точкам, производится подсчет положительных и отрицательных значений Δn . Если их суммы не равны между собой, то нужно ввести поправку на смещение, которая вычисляется по формуле

$$\Delta \Delta n = \frac{\Sigma \Delta n + (-\Sigma \Delta n)}{m},$$

где m — число переломных точек.

Поправку с обратным знаком вводят в каждый отсчет графы „ Δn “. В нашем примере поправка равна нулю, так как

$$\Delta \Delta n = \frac{0,95 - 0,84}{22} = \frac{0,11}{22} = 0,005 < 0,01,$$

то поэтому исправленные величины Δn будут равны измеренным.

Графа $\Delta \tau / H$ содержит значения разности времени $\Delta \tau$ между двумя соседними переломными точками в долях секунды, H — величины ординаты переломной точки от базисной линии в долях сантиметра. Нами принят масштаб: 1 см соответствует 1 сек. и 0,1 Δn . Тогда величина $\Delta \tau$ берется из графы „Время T (сек.)“ как разность времени двух соседних переломных точек, увеличенная в 10 раз. Величина H берется из значений графы „Исп. Δn “, увеличенная в 100 раз с сохранением знака при Δn .

Пример обработки акселерограммы.

1/VIII 1952 г. Площадка № 6. $H=300$ м. Полет над хлопком

№ точек	Время T (сек.)	Δn	Исп. Δn	$\Delta\tau/H$	S	V_z	$b \Delta n$	W'_z	Исп. W'_z
1	0,00	-0,05	-0,05	0 -5	0,00	-0,00	-0,18	-0,18	-0,63
2	0,5	0,10	0,10	5 10	0,012	0,12	0,36	0,46	0,11
3	2,3	-0,08	-0,08	18 -8	0,18	0,30	-0,29	-0,01	-0,34
4	3,0	0,03	0,03	7 3	-0,18	0,19	0,11	0,23	-0,12
5	3,7	-0,10	-0,10	7 -10	-0,30	-0,18	-0,36	-0,54	-0,89
6	5,0	0,03	0,03	13 3	-0,45	-0,63	0,11	-0,52	-0,87
7	5,7	-0,10	-0,10	7 -10	-0,21	-0,84	-0,36	-1,20	-1,55
8	6,4	0,06	0,06	7 6	-0,14	-0,98	0,22	-0,76	-1,11
9	13,3	-0,10	-0,10	7 -10	-0,14	-1,12	-0,36	-1,48	-1,83
10	13,7	0,11	0,11	4 11	0,02	-1,10	0,40	-0,70	-1,05
11	14,9	-0,04	-0,04	12 -4	0,48	-0,62	-0,15	-0,77	-1,12
12	16,3	0,10	0,10	14 10	0,42	-0,20	0,36	0,16	-0,19
13	17,4	-0,06	-0,06	11 -6	0,22	0,02	-0,22	-0,20	-0,55
14	19,6	0,13	0,13	11 13	0,38	0,40	0,47	0,87	0,52
15	20,8	-0,03	-0,03	12 -3	0,60	1,00	-0,11	0,89	0,54
16	22,2	0,12	0,12	14 12	0,54	1,54	0,44	2,00	1,65
17	23,8	-0,10	-0,10	16 -10	0,16	1,70	-0,36	1,34	0,99
18	25,4	0,07	0,07	8 7	-0,12	1,58	0,26	1,84	1,49
19	25,8	-0,08	-0,08	4 -8	-0,02	1,56	-0,29	1,27	0,92
20	27,1	0,07	0,07	13 7	-0,07	1,51	0,26	1,77	1,42
21	27,8	-0,10	-0,10	7 -10	-0,11	1,40	-0,36	1,04	0,69
22	29,5	0,13	0,13	17 13	0,25	1,65	0,47	2,12	1,77
Сумма	$-\Delta n = -0,84$ $+\Delta n = 0,95$				Сумма	$\sum W' = 13,97$ $-\sum W' = -6,25$ 7,72		$\Delta W' = -0,35$	

Тогда площадь S может быть легко определена по формуле:

$$S = 1/2 \Delta\tau \Delta H m,$$

где m — масштаб, в нашем примере $m = 0,001 \text{ g} \approx 0,01$, ΔH — разность ординат двух соседних точек.

Знак при S будет определяться знаком при ΔH . Величина V_z получается обычным для графического интегрирования способом, путем последовательного сложения вычисленных значений S . При вычислении S для уменьшения ошибок в V_z нами принято брать переломные точки не более чем через 2 сек. Величины $\Delta\tau$ между точками 8 и 9, 13 и 14, 17 и 18 нашего примера более 2 сек., поэтому величину $\Delta\tau$ берут, исходя из разности времени для соседних точек, т. е. считают, что за некоторый промежуток времени между этими точками $\Delta n = 0$.

На рис. 6 дан пример хода $\Delta\tau$ и H для нескольких переломных точек записи.

Далее вычисляется величина $b \Delta n$ путем умножения постоянного коэффициента b на „Исп. Δn “. В нашем примере $b = 3,64$. Это произведение обычно определяется по заранее составленной таблице. Если значения величин, входящих в величину b , отличаются от стандартных, то определяют значение b из табл. 1 и ее вводят в расчет. Величина W'_z определяется как сумма значений граф V_z и $b \Delta n$.

По принятой нами методике считается, что суммы положительных и отрицательных пульсаций вертикальной скорости воздушного потока должны быть равны нулю. Производя соответствующий подсчет, определяют

$$\Delta W' = \frac{\sum W' + (-\sum W)}{m}.$$

В нашем примере поправка ΔW , взятая с обратным знаком, $\Delta W' = -0,35$ м/сек. ее записывают в бланк обработки значения

$$\text{исп. } W'_z = W'_{z_0} + \Delta W' \text{ в м/сек.}$$

Как показал опыт работы Главной геофизической обсерватории с записями акселерографа, если 25—30% всех переломных точек имеют разности времени Δt более эк., то вести обработку их по формуле нельзя, и такие ленты отбрасываются. Метеорограммы с относительно большими периодами пульсаций наблюдаются чаще всего на высотах от 0,5 км и выше, или в начале или конца развития вертикальных пульсаций, т. е. утром и вечером. Результаты обработки отдельных площадок делятся в таблицу, приведенную ниже.

В сводную таблицу заносятся из протокола подъема и обработки метеорограммы данные, касающиеся условий полета на высоте площадки, и результаты обработки ленты акселерографа.

По отметкам времени определяют продолжительность записи на площадке в секундах, записывают число переломных точек и число точек с переходом через нуль по п. Δn . Разделив продолжительность записи на число переходов через нуль и умножив на два, получим удвоенную среднюю продолжительность сохранения перегрузки одного знака. Перемножив τ на скорость самолета V , получим средний размер вихря L , звавшего данную перегрузку. Далее записывают из бланка обработки $W'_{\text{исп}}$, W'_{max} , $\pm W'_{\text{min}}$, подсчитывают число переходов через нуль исправленной вертикальной скорости, т. е. число изменений знака $W'_{\text{исп}}$. Разделив продолжительность записи на число переходов через нуль $W'_{\text{исп}}$, получим среднюю продолжительность сохранения пульсаций W' одного знака.

Число порывов в 1 сек. определяется делением числа переломных точек на продолжительность записи.

В конце таблицы заносятся характеристики перегрузок на площадке в долях g , их отклонения от $1g$.

Точность метода

С помощью акселерографа получают следующие характеристики воздушного потока: величины вертикальных пульсаций — средние, максимальные и минимальные, число порывов в секунду и размеры вихрей.

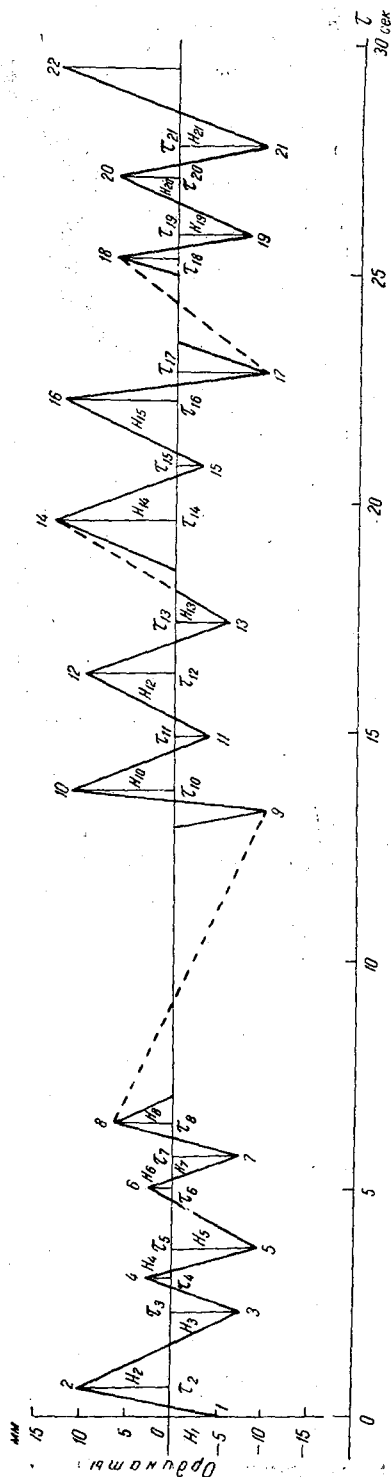


Рис. 6. Распределение a и H по данным записей акселерографа над хлопком, 1/VIII 1952 г., на высоте 300 м, 1, 2, 3, ..., 21, 22 — номера точек; τ_1, τ_2, τ_3 — время в сек. для каждой точки; H_1, H_2, H_3 — ординаты точек; $\Delta \tau_1 = \tau_2 - \tau_1$; $\Delta \tau_2 = \tau_3 - \tau_2$ и т. д.

Сводная таблица результатов

№ подъема, дата, облачность	ч. м.	Высота	Подстилающая поверхность	Температура воздуха, град.	γ	R_i	Балл болтанки "6"	Скорость самолета V м/сек.	Продолжительность записи (сек.)	Число точек N	Число переломов
№ 48 27/VII	8 46	100	Хлопок	29,0	Не вычислены		0	26	39	37	3
	8 50	300	"	30,0			0	25	21	15	1
	8 55	500	"	30,0			0	25	45	24	1
	9 00	750	"	27,0			0	25	22	18	1
	9 34	750	Степь	26,0			1	26	59	38	2
	9 38	500	Пески	29,0			2	27	61	42	3
	9 40	300	"	30,0			2	24	63	46	3
№ 50 23/VII	9 01	500	Хлопок	27,0			1	25	31	41	2
	9 04	400	"	28,0			1	25	20	26	2
	9 07	300	"	28,0			1	25	35	32	2
	9 10	200	"	28,0			1	25	37	33	2
	9 13	100	"	28,0			1	25	18	14	1

К отрицательным сторонам метода нужно отнести некоторые искажения, вносимые самолетом в воздушный поток, и трудоемкость обработки лент акселерографа.

Применяемый нами акселерограф ЗП-11 обладает следующими данными: точность измерения вертикальных пульсаций 0,2 м/сек., начальная чувствительность прибора на самолете ПО-2 к вертикальным пульсациям от 0,15 до 0,20 м/сек.

Прибор может регистрировать возмущения, создаваемые воздушным потоком с размерами вихря от 3 м, но практически минимальные размеры вихря должны быть соизмеримы с размерами самолета и поэтому регистрация начинается с вихрей размерами от 10—12 м.

ПРИМЕНЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО МЕТЕОРОГРАФА

Акселерограф хорошо реагирует на резкие, сравнительно короткопериодные, изменения вертикальной составляющей воздушного потока. Если же самолет попа-

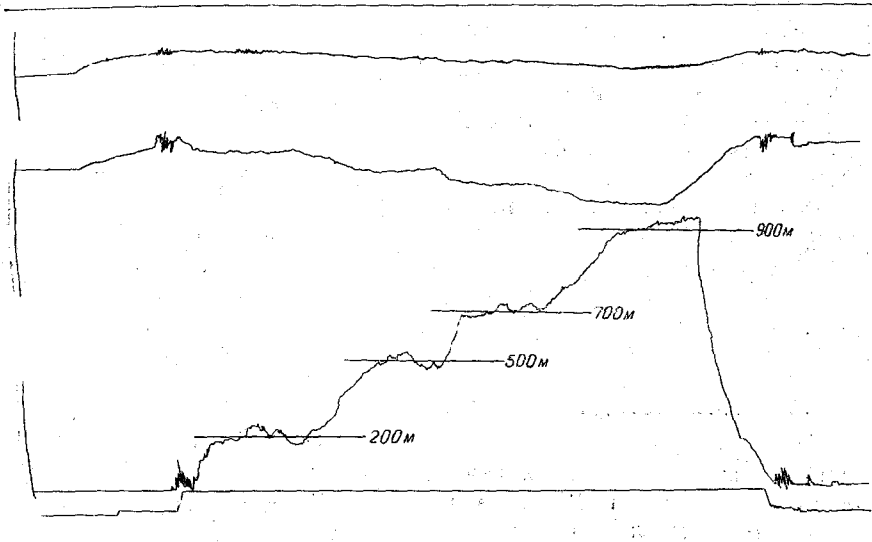


Рис. 7. Запись метеорографа 7/VI 1952 г., 13 час. 16 мин. — 14 час. 4 мин., подъем № 4.

Таблица 3

гки-лент акселерографа

Размер вихрей $L = V\tau$	Число порывов в 1 сек.	Вертикальная скорость					Число перехо- дов через нуль $W_{исп}$	Средняя про- должит. пуль- сации одного знака W	Перегрузка				
		$W'_{исп}$	W'_{max}	W'_{min}	W'_{max}	W'_{min}			$\pm \Delta n_{исп}$	$\pm \Delta n_{max}$	$\pm \Delta n_{min}$	$\pm \Delta n_{max}$	$\pm \Delta n_{min}$
66	0,9	0,65	1,51	0,02	1,81	0,05	8	4,9	0,06	0,12	0,21	0,01	0,02
75	0,7	0,23	0,39	0,01	0,49	0,07	10	2,1	0,04	0,12	0,02	0,07	0,01
118	0,5	0,60	1,46	0,04	0,84	0,03	5	9,0	0,07	0,08	0,20	0,01	0,01
85	0,8	0,62	1,43	0,27	2,01	0,01	5	4,4	0,06	0,14	0,23	0,01	0,03
106	0,6	0,99	2,69	0,09	1,79	0,01	7	8,4	0,09	0,14	0,27	0,02	0,02
97	0,7	1,37	3,52	0,15	3,27	0,01	5	12,2	0,15	0,34	0,36	0,04	0,01
92	0,7	1,79	3,56	0,35	2,93	0,37	5	12,6	0,12	0,34	0,28	0,01	0,01
54	1,3	0,56	1,56	0,07	1,57	0,02	15	2,1	0,09	0,20	0,21	0,03	0,01
46	1,3	1,23	2,08	0,49	2,24	0,29	4	5,0	0,09	0,20	0,23	0,01	0,04
72	0,9	0,74	1,74	0,01	1,60	0,03	6	5,8	0,07	0,15	0,25	0,01	0,01
88	0,9	0,93	1,61	0,28	1,38	0,36	2	18,5	0,09	0,24	0,27	0,02	0,01
69	0,8	0,38	0,57	0,03	0,75	0,14	6	3,0	0,08	0,15	0,16	0,02	0,01

г в длиннопериодные восходящие или нисходящие потоки, то акселерограф его не покажет. Это происходит обычно, если размеры вихрей будут 500 м и больше.

Для регистрации и исследования вертикальных движений в крупномасштабных ряках нами был применен несколько переделанный самолетный метеорограф, именно была увеличена скорость вращения барабана до 0,07 мм/сек. и весь врот барабана совершался за 50 мин.; была также значительно увеличена чув-ительность приемника давления метеорографа, которую довели до 1,6 мб на мм ординаты, поэтому изменение высоты могло быть определено с точностью 3—5 м. Прибор регистрировал также температуру и влажность воздуха, воз-пную скорость самолета, имел перо фиксированное и перо, снабженное электро-нитным контактом. Прибор был рассчитан на подъем до высоты не более 5 км. Вид записи метеорографа дан на рис. 7.

Техника полета остается такой же, как и с акселерографом, т. е. летчик делает ошадки на заранее установленных высотах и в течение всего полета на пло-дке 5—7 мин. не вмешивается в управление. В летнее время такие полеты гчик, обычно, не делал ниже 200 м из-за опасности неожиданной потери высоты. одготовка прибора к подъему ничего особенного по сравнению с обычным метео-графом не имеет.

В полете заполняется бланк такой же формы, как и приведенный выше для селерографа.

Обработка записи метеорографа

Обработка таких элементов как температура и влажность воздуха произво-дтся так же, как и в обычных метеорографах с площадками.

В обработке давления имеются некоторые особенности. На метеорограмме становливают начало и конец площадок, выделяют все переломные точки и под-итывают время для каждой переломной точки с точностью до 30 сек. Затем бычным способом определяют высоты каждой переломной точки на площадке. для большей наглядности высоты переломных точек в увеличенном масштабе нано-ят на миллиметровую бумагу, по оси абсцисс которой откладывается время в ми-утах, по оси ординат — высота в метрах.

Результаты обработки изменения высоты полета неуправляемого самолета на лощадках приведены на рис. 8 и 9.

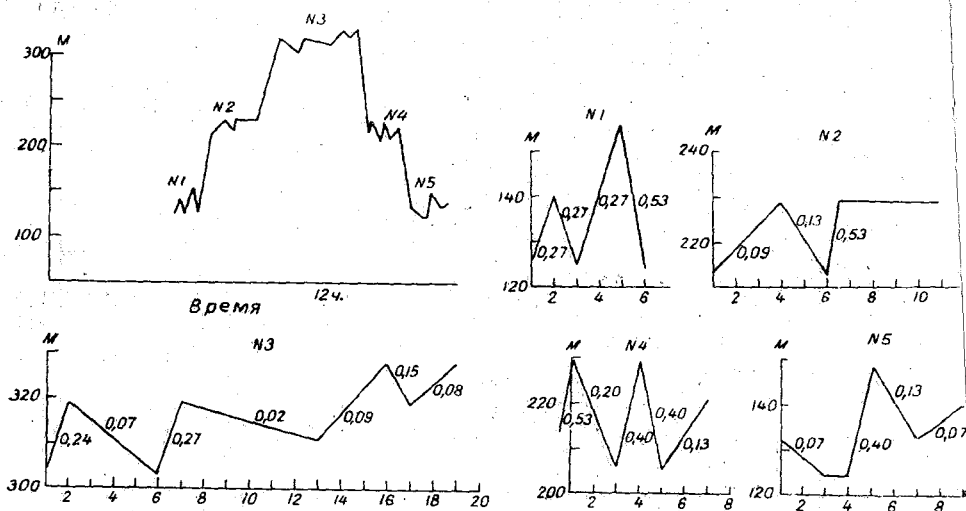


Рис. 8. Обработка записи метеорографа 8/I 1952 г.

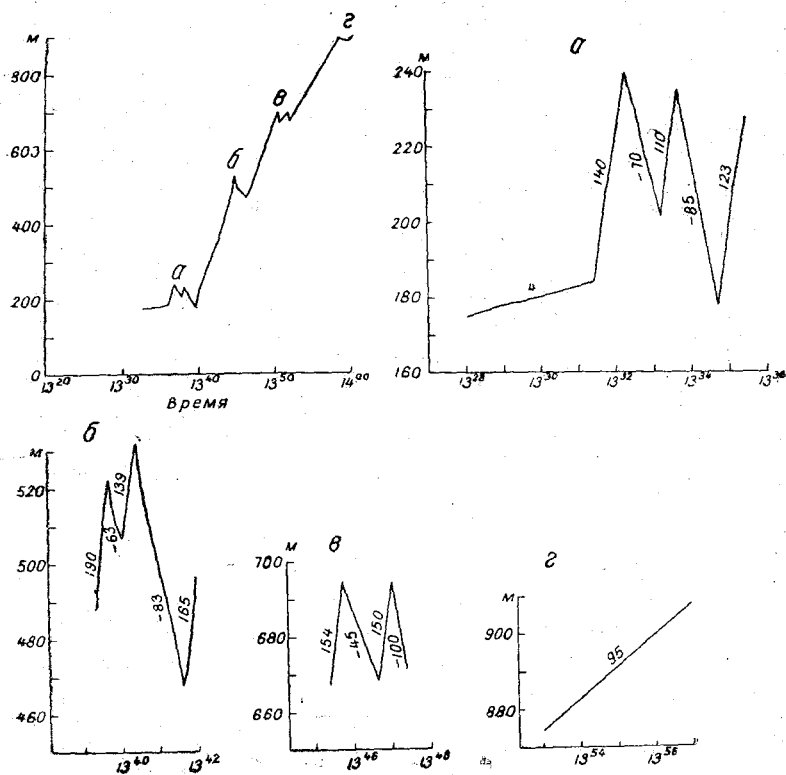


Рис. 9. Обработка записи метеорографа 7/VI 1952 г.

а — на высоте 200 м; б — на высоте 500 м; в — на высоте 700 м; г — на высоте 900 м.

На рис. 8 и 9 числа сбоку указывают величины вертикальных пульсаций в м/сек. восходящих, так и нисходящих. Определив периоды пульсаций, можно под-
ать и размеры вихревых потоков.

ЛИТЕРАТУРА

- убов А. С. Определение скорости вертикальных порывов ветра при самолетных зон-
дированиях с помощью акселерографа. Труды ГГО, вып. 16 (78), 1949.
обринский Н. Е. Методы и приборы для измерения ускорений. Изд-во АН СССР,
Л.—М., 1942.
арпов Н. Д. Аэродинамика самолета ЛИ-2. М., 1948.
ервицов П. А. Некоторые вопросы инструментальных наблюдений над болтанкой
самолетов. Труды ГГО, вып. 47 (109), 1954.
-

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОЗОНДА П. А. МОЛЧАНОВА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ УРОВНЕЙ ВОЗМОЖНОГО ОБЛЕДЕНЕНИЯ

Для обслуживания авиации и решения ряда научно-исследовательских задач весьма важно знать высоты слоев в облаках, где возможно обледенение.

Проф. П. А. Молчанов [1] предложил прибор для определения зон возможного обледенения и дал схему его конструкции.

По опубликованной схеме автором совместно с А. А. Ледоховичем были построены два варианта прибора: прибор с передачей по радио уровней слоев с возможным обледенением, названный сокращенно индикатором обледенения, радиозонд с регистрацией высот слоев с возможным обледенением.

ИНДИКАТОР ОБЛЕДЕНЕНИЯ

Принцип устройства индикатора обледенения состоит в следующем: на легкой дюралевой рамке укреплены два пропеллера (один под другим) обычной формы, применяемой в радиозонде для вращения оси коммутатора.

Верхний пропеллер малого размера имеет обычную скорость вращения пропеллера радиозонда и зависит исключительно от вертикальной скорости прибора. На оси пропеллера закреплена шестеренка (трибка), которая при помощи передаточной шестеренки вращает ось с контактной звездочкой. В процессе вращения звездочка за один оборот дает серию сигналов из семи точек с разрывом между последней и первой звездочкой, равным сектору в 60° .

К каждой лопасти нижнего пропеллера, большего по величине, чем верхний, прикреплен сетка размерами 120×80 мм с ячейками 2×2 мм. При обледенении сетки скорость вращения пропеллера будет уменьшаться в зависимости от интенсивности обледенения.

Нижний большой пропеллер вращается медленнее верхнего вследствие добавочного сопротивления от сеток. Вращение нижнего пропеллера через передаточные шестеренки приводит во вращение контактирующую звездочку, соответствующую сектору в 60° и дающую один продолжительный сигнал.

Электрические схемы пропеллеров соединены в параллель, поэтому продолжительный сигнал нижнего пропеллера может перекрыть серию из семи точек сигналов верхнего пропеллера.

Прием сигналов состоит в следующем: верхний пропеллер, вращаясь, дает непрерывно серии сигналов, состоящие из семи точек с разрывом, время от времени мы слышим один длинный сигнал, который дает нам представление о скорости вращения нижнего пропеллера.

Счет сигналов того и другого пропеллера производится засечкой времени по секундомеру; для этой цели желательно иметь два секундомера. Обычно замечают время десяти оборотов оси, на которой посажены контакты, делят его на десять и получают довольно точно время одного оборота того и другого контактов, которое и заносится в соответствующую графу приемного бланка.

Передачик и питание обычные от радиозонда. Общий вес всего устройства около 300 г.

Принципиальная схема передатчика и включения индикатора обледенения дана рис. 1.

С таким прибором была проведена серия экспериментальных выпусков при отрицательных температурах в облаках. Сводные результаты этих выпусков даны в табл. 1.

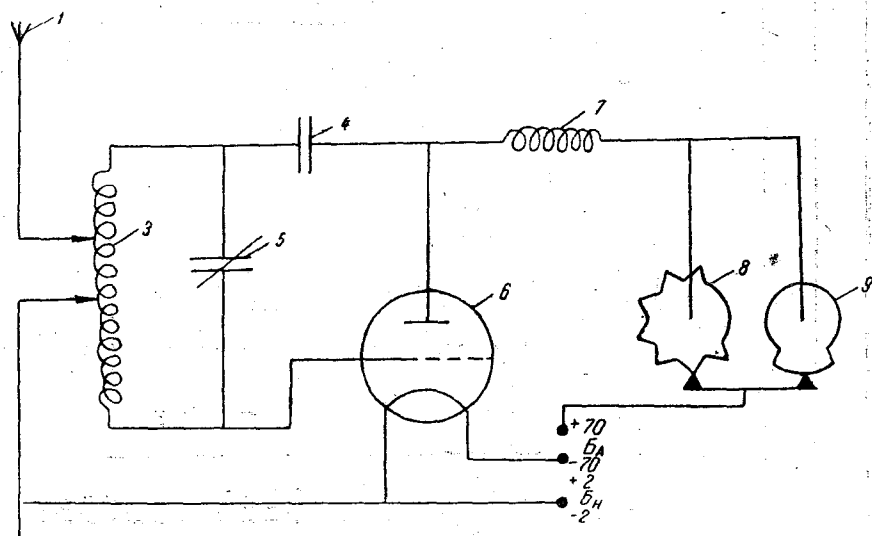


Рис. 1. Схема передатчика и включения индикатора обледенения.

1 — антенна; 2 — противовес; 3 — катушка контура; 4 — разделительный конденсатор; 5 — переменный конденсатор; 6 — радиолампа; 7 — дроссель высокой частоты; 8 — контакт-звездочка малого пропеллера; 9 — контакт-звездочка большого пропеллера.

В табл. 1 приведены только характерные точки из бланка подъема. Вместо имени оборотов верхнего и нижнего пропеллеров дано отношение времени их оборотов как характеристика слоя возможного обледенения.

Например, выпуск № 4 был сделан при облаках среднего яруса, прибор не шел до верхней границы, и в течение всего времени подъема сохранялось стоянным отношение времени оборотов обоих пропеллеров.

К сожалению, при выпусках индикаторов обледенения не было одновременных блюдений по радиозонду, что позволило бы судить о распределении температуры воздуха по высоте.

На рис. 2 нанесено распределение вероятных зон обледенения для некоторых дъемов.

Например, подъем № 1: зона обледенения — от нижней кромки облаков до 800 м, второй слой — от 1500 до 2400 м.

Подъем № 2: слой обледенения начался через 140 м после входа в слоистую облачность, конца зоны достичь не удалось, она была выше 800 м.

Подъем № 3: намечаются две зоны с вероятным обледенением, первая от 500 до 1300 м и вторая от 2600 до 3400 м.

Подъем № 5: зона вероятного обледенения была с 2500 до 2900 м.

Следует отметить, что был проведен ряд лабораторных опытов по разбрызгиванию мелких капель воды на охлажденные сетки, которые моментально покрывались коркой льда. Затем лед при вращении сеток медленно испарялся. Скорость таяния льда с сеток определить не удалось.

Кроме переохлажденных облачных капель на сетку будет оседать также и переохлажденный дождь, но это явление редкое.

Сухой снег не пристает к сетке, но мокрый снег может налипать на нее.

Результаты выпуска индикаторов обледенения

Номера выпусков									
1		2		3		4		5	
8П		19Д		13М		20П		15/IV	
0/10 Ns * H _{обл} = 440 м t = -6,2		10/10 St * o H _{обл} = 225 м t = -7,1		10/10 St * o H _{обл} = 520 м t = -9,2		10/10 As t = -6,2		10/10 First, Ns H _{обл} = 170 м t = 2,3	
C = 470 см, A = 1 100 г W = 220 м/мин.		C = 382 см, A = 750 г W = 190 м/мин.		C = 415 см, A = 750 г W = 180 м/мин.		C = 412 см, A = 600 г W = 155 м/мин.		C = 400 см, A = 600 г W = 168 м/мин.	
мин. сек.	H м	отноше- ние обо- ротв	мин. сек.	H м	отноше- ние обо- ротв	мин. сек.	H м	отноше- ние обо- ротв	отноше- ние обо- ротв
1	220	1	0-30	95	1	1	155	1	1
2	440	1	1	190	1	2-50	440	2	340
3	660	1,25	2	380	1	3-45	535	5	840
3-30	770	1,5	2-40	510	1,75	5-10	800	8	1 340
4	880	1,5	3-10	610	2,30	6-15	970	15	2 520
4-30	990	1,75	4-40	890	2,75	8	1 240	17-25	2 940
5-10	1 130	2,0	сигналы постепенно ослабли		1,080	1,60	1 240	21	3 430
5-50	1 290	2,25			1 290	1,80	1 860	23	3 760
6-30	1 430	2,0			1 650	1,50	2 400	26-10	4 400
7	1 540	1,75			2 040	1,1	2 600		
9	1 980	2,25			2 370	1,0	2 635		
10	2 200	2,75			2 610	1,0	2 870		
11-30	2 530	3,75			3 015	1,5			
13-30	2 970	3,50			3 420	2,25			
14	3 080	3,0			4 455	1,50			
15-30	3 410	2,75			4 680	1,0			
16-30	3 630	2,5			5 220	1,0			
20	4 400	2,5							
26-30	4 950	2,0							

сигналы дальше плохо слышны

РАДИОЗОНД С РЕГИСТРАЦИЕЙ ВЫСОТ СЛОЕВ С ВОЗМОЖНЫМ ОБЛЕДЕНЕНИЕМ

Тот же самый индикатор обледенения устанавливался под станиной радиозонда, ключался в электрическую цепь радиозонда вместо узла влажности.

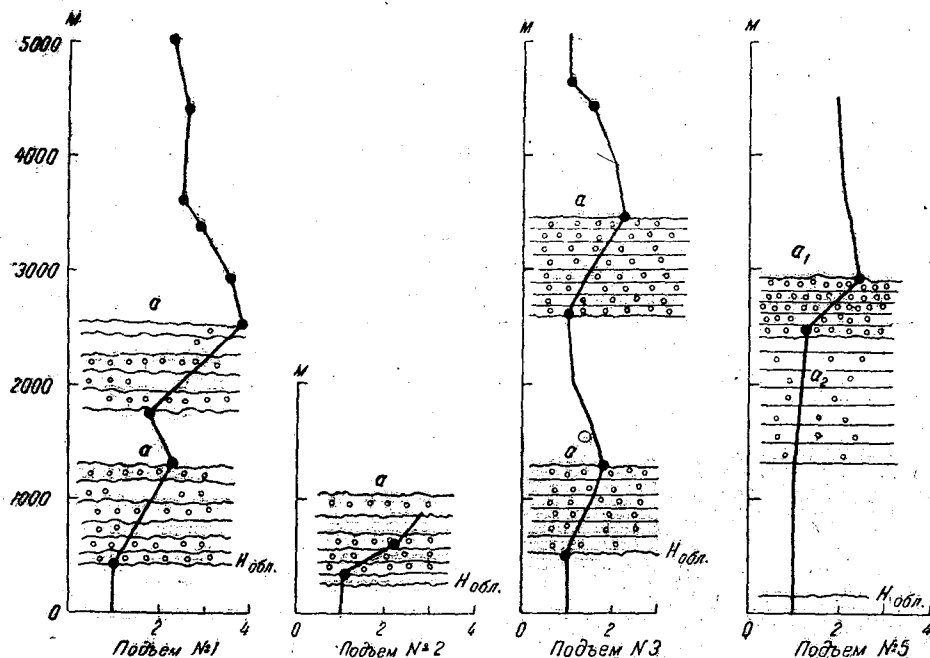


Рис. 2. Показания индикатора обледенения.

α — зона обледенения; α_1 — сильное обледенение; α_2 — слабое обледенение.

Таким образом, радиозонд передавал сигналы давления, температуры и обледенения сеток добавочного пропеллера.

Электрическая схема дана на рис. 3.

Переключатель b связан при помощи системы передач с пропеллером с сетками. При вращении переключателя b можно поочередно подавать два длинных сигнала, (уших сразу друг за другом (контрольный), и через некоторый промежуток времени один длинный сигнал (сигнал обледенения). При приеме сигнала давления и температуры радиозонда будут через определенные промежутки времени перекрываться длинными сигналами индикатора обледенения.

Можно считать, что при отсутствии обледенения отношение скорости вращения двух пропеллеров остается всегда постоянным и в промежутке между контрольными сигналами и сигналом обледенения будет прослушиваться всегда одно и то же количество основных сигналов радиозонда. При попадании радиозонда в зону возможного обледенения вращение пропеллера индикатора обледенения, а следовательно, и переключателя b на коммутаторе замедлится и сигналы будут подаваться реже. В этом случае в промежутке между контрольным и сигналом обледенения уместится

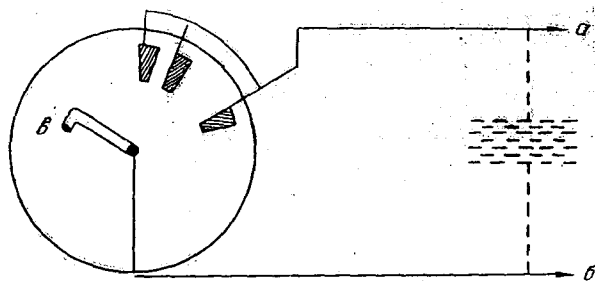


Рис. 3. Электрическая схема радиозонда.

α — соединение с корпусом радиозонда; b — соединение с коммутатором температуры; β — переключатель.

большее число основных сигналов радиозонда, так как скорость вращения его пропеллера остается прежней. Прослушиваемое количество сигналов радиозонда прямо пропорционально интенсивности обледенения.

Данные об обледенении передаются через 80—100 м или во времени через 20 сек.

Установленный на станине радиозонда индикатор обледенения необходимо включить в общую электрическую цепь радиозонда. Ввиду того, что индикатор обледенения включается в цепь радиозонда вместо коммутатора влажности, то последний необходимо вообще отключить, сняв ползунок. Провод, идущий от ползунка коммутатора индикатора обледенения, подключается к выводу коммутатора температуры радиозонда, а провод от контактных пластинок на коммутаторе (соединенных вместе) соединяется с корпусом (станией) радиозонда. Для большей стабильности работы передатчика радиозонда соединительные провода необходимо свить друг с другом, а в месте подключения их к радиозонду зашунтировать постоянным конденсатором емкостью 1500—2000 мкф (микрофард).

Прием сигналов радиозонда с индикатором обледенения ничем не отличается от приема сигналов радиозонда с влажностью.

В протокол приема, кроме сигналов температуры и давления, записываются сигналы индикатора обледенения. Порядок приема сигналов индикатора обледенения следующий:

после прослушивания контрольного сигнала индикатора обледенения производится счет сигналов температуры до момента появления сигнала обледенения и полученная величина записывается в бланк. Когда радиозонд подвергается обледенению, количество прослушиваемых сигналов остается постоянным, но, как только начинается обледенение сеток индикатора, количество сигналов температуры между контрольными сигналами начнет увеличиваться. Увеличение сигналов характеризует начало обледенения, время его точно отмечается.

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ИНДИКАТОРА ОБЛЕДЕНЕНИЯ

Обработка сигналов индикатора обледенения производится путем нанесения точек на общем графике обработки радиозонда. Точки на график наносятся по времени приема сигналов и по их количеству. Далее эти точки соединяются между собой. Излом кривой даст зоны с обледенением, а по оси ординат определяется высота этих зон.

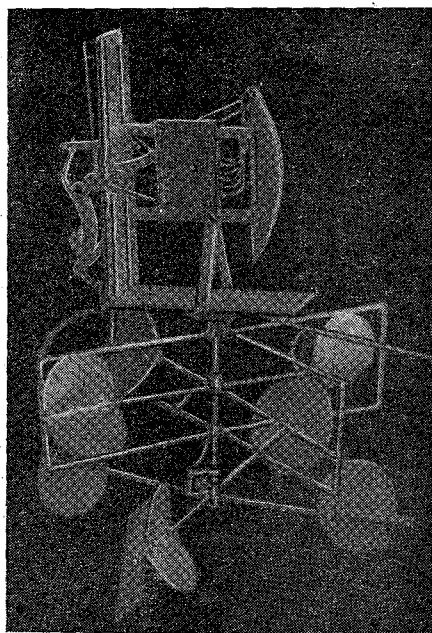


Рис. 4. Радиозонд с индикатором обледенения.

На рис. 4 дан вид радиозонда с индикатором обледенения. Вес прибора увеличивается на 150—200 г.

Второй вариант индикатора обледенения, так называемого рычажного типа, дан на рис. 5.

На текстолитовой плате 5 установлена ось 6, на одном конце которой укреплен трехлопастный пропеллер 7 с лопастями из сеток 8, на другом конце — стрелка-перо 2. При повороте пропеллера перо перемещается по гребенке 3, состоящей из десяти изолированных друг от друга зубцов-контактов 4. Положение пера на гребенке фиксируется пружиной 1, укрепленной на текстолитовой плате и противовесе пера.

Десять контактов гребенки индикатора обледенения соединяются с десятью

тактами коммутатора влажности. Перо индикатора обледенения соединяется тросом с радиозондом.

Таким образом, принципиальная электрическая схема при замене узла влажности узлом индикатора обледенения совершенно не изменилась, а поэтому и схема сигналов индикатора обледенения ничем не отличается при приеме от сигналов влажности.

Необходимо произвести тарировку индикатора обледенения в аэродинамической трубе: подобрать скорость потока 4—6 м/сек., подобрать жину и ее натяжение и установить перо 2 в начале гребенки. Следовательно, и при подъеме радиозонда перо будет устанавливаться в том же положении.

При подъеме радиозонда считается, что части сетки пропеллера покроются слоем льда, как только прибор попадет в зону обледенения, и будут оказывать значительно большее сопротивление встречному потоку и вследствие этого пропеллер повернется на некоторый угол, зависящий исключительно от интенсивности обледенения сеток.

Поэтому при прохождении радиозондом облаков, где нет обледенения, сетки остаются в том же, как и вне облаков. В случае растаяния льда на сетках пропеллера номера сигналов будут увеличиваться, причем это увеличение будет соответствовать той интенсивности обледенения.

Запись и обработка сигналов индикатора обледенения подобны записи и обработке сигналов влажности.

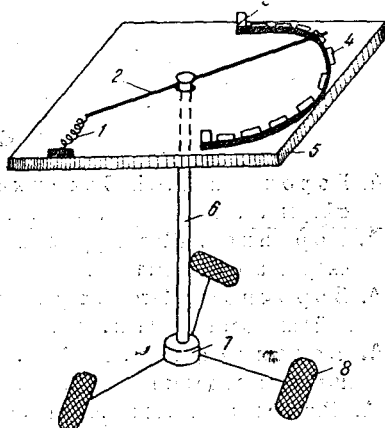


Рис. 5. Схема индикатора обледенения рычажного типа.

1 — пружина; 2 — стрелка-перо; 3 — гребенка; 4 — один из 10 контактов к коммутатору влажности; 5 — текстолитовая плата; 6 — ось; 7 — пропеллер; 8 — лопасть из сетки.

ЛИТЕРАТУРА

Молчанов П. А. Борьба с обледенением летательных аппаратов Журнал. „Наука и жизнь“ № 10, Изд-во Акад. наук СССР, 1940.

СОДЕРЖАНИЕ

С	П. А. Воронцов, В. И. Селицкая. Методика аэростатного зондирования атмосферы	1
✓	П. А. Воронцов. Метод уравновешенных шаров-пилотов и шаров с замедленной скоростью подъема	1
	П. А. Воронцов. Методика регистрации горизонтальных и вертикальных пульсаций скорости ветра на привязном аэростате	2
	П. А. Воронцов, А. С. Дубов. Методика исследования структуры воздушного потока с самолета	5
	П. А. Воронцов. Использование радиозонда П. А. Молчанова для регистрации уровней возможного обледенения	6

Редактор *И. В. Снежинская.*

Техн. редактор *А. А. Соловейчик.*

Корректоры: *М. П. Бушева и К. И. Розина.*

Сдано в набор 19/IX 1955 г.

Подписано к печати 15/XI 1955 г.

Бумага 70×108¹/₁₆.

Бум. л. 3,08—1 вклейка.

Печ. л. 6,36.

Уч.-изд. л. 6,7.

Тираж 950 экз.

М-55372.

Индекс МЛ-137.

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

Заказ № 772.

Цена 4 руб. 70 коп.

2-я типо-литография Гидрометеоиздата, Ленинград, Прачечный пер., д. 6.