

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА

В. С. Хахалин

РАДИОЗОНДЫ

Дарю эту книжку
Алеше
от автора.
23. XII. 1955



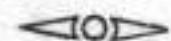
ГИМИЗ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛЕНИНГРАД • 1955

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ
БИБЛИОТЕКА

В. С. ХАХАЛИН

РАДИОЗОНДЫ



ГИДРОМЕТОИЗДАТ
1955





ПРЕДИСЛОВИЕ

Метод исследования атмосферы с помощью радиозондов в настоящее время получил широкое распространение. Радиозонды теперь регулярно используются в большом числе пунктов наблюдений Советского Союза и служат основным средством для получения сведений об изменении с высотой таких важных метеорологических элементов, как температура и влажность воздуха, атмосферное давление, облачность и др.

Данные радиозондирования дают возможность получать истинное представление о физических процессах, происходящих в атмосфере, а потому они с успехом используются при составлении прогнозов погоды. Первый в мире радиозонд был построен и применен в Советском Союзе еще в 1930 г. С тех пор этот прибор непрерывно совершенствовался и с развитием техники приобретал новые формы. В настоящее время усовершенствованием и разработкой новых типов радиозондов занимаются многие научные коллективы. Однако специальная литература по радиозондам отсутствует. Имеются описания лишь единичных конструкций радиозондов в учебных пособиях и статьи в русских и иностранных журналах.

В предлагаемой книге впервые делается попытка систематизировать существующий материал по радиозондам и представить его в форме, доступной для широкого круга читателей.

На большом фактическом материале автор знакомит читателя с историей развития метода радиозондов и убедительно раскрывает ведущую роль и приоритет советской науки в создании нового метода исследования атмосферы и первого радиозонда.

В книге приводится описание большого количества оригиналь-

ных конструкций радиозондов, разрабатывавшихся как в СССР, так и заграницей.

Некоторые устаревшие конструкции радиозондов опущены. Значительное место в книге занимает разбор способов телеметрии в радиозондировании и описание классификации различных систем радиозондов.

В конце книги автор дает свои соображения и останавливается на дальнейших перспективах развития метода радиозондов.

Книга рассчитана на практиков-метеорологов, аэроболов-наблюдателей, научных работников и конструкторов, занимающихся разработкой и применением метеорологических приборов, а также на широкий круг читателей, интересующихся вопросами исследования атмосферы.

Редактор

ЗЕМНАЯ АТМОСФЕРА И МЕТОДЫ ЕЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Атмосфера имеет большое значение в жизни живых и растительных организмов Земли. Процессы, происходящие в атмосфере, оказывают влияние на деятельность человека. Естественно, что атмосфера систематически изучается; в настоящее время уже накоплено много данных о ее строении.

Состав атмосферного воздуха до предельно исследованных высот оказался почти постоянным. В атмосфере содержится 78% азота, 21% кислорода и 1% составляет главным образом аргон и в очень малых количествах углекислый газ, неон, гелий, водород, а также некоторые другие газы. Помимо перечисленного, в атмосфере содержится значительное количество влаги в виде водяного пара, а также капель и кристаллов, образующих туманы и облака.

Плотность атмосферы убывает с высотой. При этом нижние ее слои оказываются сжатыми сильнее и потому они более плотны. Приводим данные об изменении атмосферного давления и плотности воздуха по высоте:

Высота, км	0	1	10	100	300
Давление воздуха, мм рт. ст. .	760	657	260	3×10^{-3}	$2,3 \times 10^{-4}$
Плотность воздуха, кг/м ³ . . .	1,225	1,112	0,413	$5,1 \times 10^{-9}$	$6,7 \times 10^{-27}$

Масса атмосферы распределяется над земной поверхностью неравномерно: почти 50% ее сосредоточено в нижнем 5-км слое.

Атмосфера состоит из ряда слоев, обладающих характерными, во многих случаях весьма отчетливо выраженными физическими признаками. Главные слои, или области, на которые разделяется вся атмосфера по высоте и которые остаются всегда достаточно четко различимыми над любым пунктом земной поверхности, носят название тропосфера, стратосфера и ионосфера. В свою очередь, этим областям свойственна более мелкая внутренняя слоистость, которая, однако, подвержена значительным изменениям во времени.

В тропосфере, распространяющейся от земной поверхности до высоты 8—12 км, сосредоточена почти вся находящаяся в атмо-

сфере влага. Характерным физическим признаком тропосферы является наличие интенсивного перемешивания воздуха в вертикальном направлении. Облакообразование, выпадение осадков и вообще все явления, совокупностью которых определяется понятие *погода*, совершаются почти полностью в тропосфере. В тропосфере температура воздуха весьма закономерно понижается с высотой, в среднем по $6,5^{\circ}$ на каждый километр подъема. Если на высоте 2 км температура воздуха 17° , то пассажир самолета может заранее рассчитать, что при посадке на аэродроме будет 30° тепла.

Стратосферой называется слой атмосферы от 12 до 85 км над земной поверхностью. Для нее характерно почти полное отсутствие облаков и совершенно другое распределение температуры воздуха по высоте. В нижней части стратосферы, до высоты 30—40 км, наблюдается *изотермия*, т. е. постоянство температуры воздуха по высоте. На высотах 40—80 км воздух оказывается всегда теплее, чем в нижележащих слоях. Такое распределение температуры называется *инверсией температуры*, или *инверсией*. Температурный режим стратосферы объясняется наличием в ней озона.

Молекулы озона обладают исключительно высокой способностью поглощать ультрафиолетовые лучи, благодаря чему в стратосфере, несмотря на ее относительно малую плотность, задерживается, превращаясь в тепло, до 2% всей приходящей от солнца лучистой энергии. Эффектом такого поглощения является: во-первых, своеобразный ход изменения температуры в стратосфере; во-вторых, существование на поверхности земли «ультрафиолетовой ночи» днем, так как благодаря избирательности поглощения озоном ультрафиолетовых лучей последние достигают поверхности земли, будучи ослабленными в десятки раз.

При более детальном рассмотрении структуры атмосферы в области верхней тропосферы, на высотах 8—12 км, выделяют переходный слой, именуемый *тропопаузой*, или *субстратосферой*, в свойствах которого признаки тропосферы постепенно угасают, а стратосферы, наоборот, усиливаются.

Аналогично, некоторая переходная зона может быть отмечена и на высотах 55—80 км, где стратосфера постепенно переходит в ионосферу. Ионосфера отличается от нижележащих слоев атмосферы повышенным содержанием ионизированных молекул воздуха и свободных электронов. При распространении в ионосфере радиоволны искривляются вплоть до возникновения полного внутреннего отражения. Повидимому, слой атмосферы, расположенный выше 30—35 км, не имеет прямого влияния на погодообразующие процессы. Поэтому метеорология занимается главным образом изучением атмосферы до этих высот.

М. В. Ломоносов придавал большое значение изучению атмосферы, включая ее высокие слои. В своем «Рассуждении о большой точности морского пути» (1759 г.) он высказал идею орга-

низации постоянных исследований в этой области путем устройства специальных самопищущих обсерваторий для наблюдений над температурой атмосферы на разных высотах. Он сконструировал свою знаменитую «аэродинамическую машинку», являющуюся прообразом современного вертолета и предназначавшуюся для подъемов термометра в свободную атмосферу. Если воспользоваться современной терминологией, то Ломоносовым была впервые в мире высказана идея вертикального зондирования атмосферы с помощью устройств, поднимающихся на недоступные

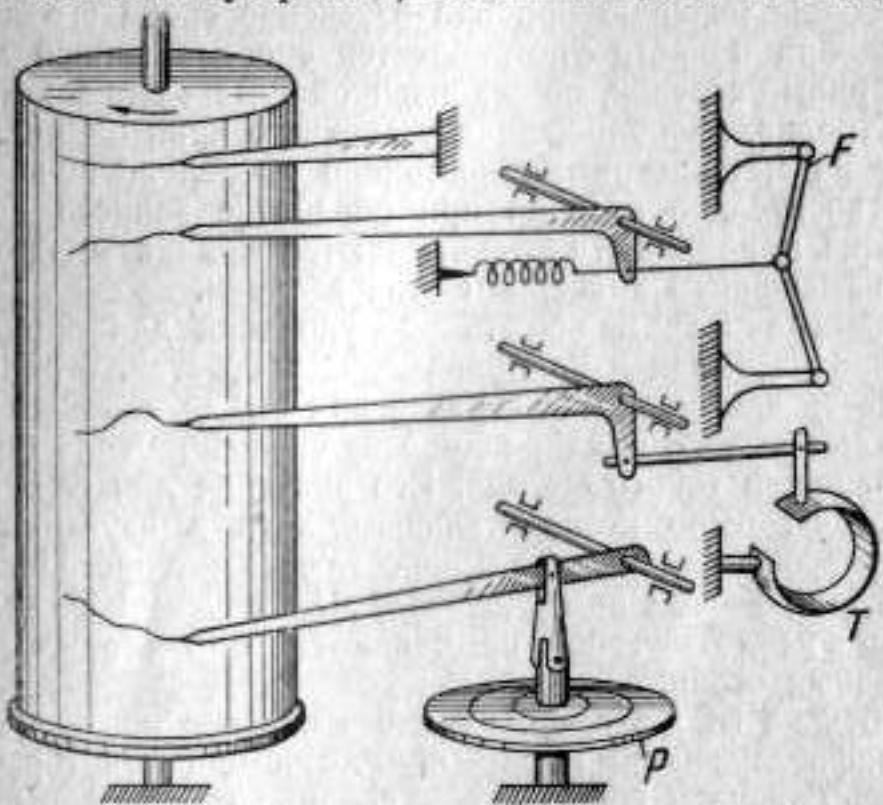


Рис. 1. Схема устройства метеорографа.

наземному наблюдателю высоты. Именно этот слой атмосферы теперь детально изучается с помощью различных метеорологических приборов, в том числе и радиозондов, поднимаемых на резиновых легких шарах, самолетах, ракетах и т. п.

Идея М. В. Ломоносова о вертикальном зондировании атмосферы получила развитие в работах знаменитого русского ученого Д. И. Менделеева, уделявшего в своей многогранной деятельности много внимания вопросам метеорологии. Менделеев предложил строить комбинированные метеорологические самописцы, деталями которых были бы часовой механизм с регистрирующим барабаном, барометр-анероид, биметаллический термометр и волосной гигрометр. Такие приборы вошли в употребление под названием *метеорографов*.

На рис. 1 представлена общая схема метеорографа, на которой показаны анероидная коробка *P*, биметаллический термометр *T* и волосной гигрометр *F*. К поверхности цилиндра, мед-

ленно вращающегося в нем часовым механизмом, прикасаются стрелки, перемещающиеся при деформации измерителей давления P , температуры T и влажности F . Стрелки ориентированы таким образом, чтобы дугообразные перемещения их концов совершились вдоль цилиндра. Если сделать концы стрелок красящими, а на цилиндр наложить белую бумагу, то по истечении некоторого времени с цилиндра может быть снята так называемая метеограмма, на которой будут зафиксированы значения давления, температуры и влажности воздуха, соответствующие месторасположению прибора в течение срока его действия. Весьма удобна и часто употребляется система записи метеограмм остриями стрелок, по закопченной бумаге или алюминиевой фольге. Стрелка, расположенная у верхнего края цилиндра, прочерчивает на метеограмме постоянно расположенную прямую линию, относительно которой при обработке записей давления, температуры и влажности отсчитываются ординаты, пропорциональные измеренным значениям этих величин.

Дороговизна и громоздкость оборудования для подъема метеографов на змеях и на привязных аэростатах, ограниченная применимостью при сильных ветрах и при штиле, а также сравнительно малые высоты зондирования не способствовали большому распространению такого метода. Его значение для службы прогнозов погоды было незначительным, хотя в изучении общих свойств атмосферы змейковые и аэростатные метеографы в свое время сыграли весьма важную роль. Для научных исследований такие приборы до сих пор применяются в отдельных обсерваториях разных стран.

На рубеже XIX и XX вв. началось применение очень легких метеографов, названных зондовыми, с помощью которых в скором времени было открыто существование стратосферы. Зондовые метеографы выпускались в свободный полет на небольших резиновых шарах, наполненных водородом.

Для того чтобы приземление прибора происходило без поломок, метеограф снабжался небольшим парашютом. В прибор вкладывалась записка, обращенная к тому, кто найдет прибор, с просьбой о доставке находки в пункт выпуска.

Основные достоинства зондовых метеографов заключались в том, что им доступны высоты, недостижимые для других подъемных, средств, что их применение не связано с необходимостью иметь сложные наземные стартовые устройства, и, наконец, в том, что стоимость организации и осуществления не только одиночных, но и систематически повторяющихся подъемов оставалась сравнительно невысокой.

Главный недостаток метода зондовых метеографов — неизбежный, зависящий от многих случайностей, большой промежуток времени между выпуском прибора в свободный полет и получением результатов произведенных измерений. Необходимость возвращения прибора и нереальность осуществления этого, на-

пример в арктических районах, совершенно исключало возможность применения зондовых метеографов там, где они были бы наиболее полезными. Этот метод мог успешно применяться лишь в хорошо населенных местах. Попытки применять зондовые метеографы в сочетании с автоматическим устройством, которое разъединит шар и прибор по достижении заданной высоты в пределах дальности, когда опускающийся прибор будет еще хорошо виден из пункта выпуска и, следовательно, поиски и возврат его существенно облегчатся, были оставлены, так как нужные высоты зондирования при этом не обеспечивались.

Однако зондовые метеографы в короткое время позволили достаточно детально исследовать основные свойства атмосферы до очень больших высот, превосходящих 30 км. Из рассмотрения обнаруженных в атмосфере особенностей еще раз подтвердилось, что службе погоды нужны систематические и регулярные наблюдения во всей толще свободной атмосферы в большом числе пунктов. Метод же зондовых метеографов не давал возможность обеспечить необходимой регулярности наблюдений.

С развитием авиации в качестве средства исследования свободной атмосферы стали применяться и самолеты. Систематические подъемы метеографов на самолетах позволяют получать многие полезные данные о состоянии атмосферы. Однако и такой метод не в состоянии достаточно полно удовлетворить запросы службы погоды вследствие дороговизны организации регулярных подъемов самолетов-зондировщиков во многих пунктах и ограниченности высоты зондирования.

Таковы средства исследования атмосферы, применявшиеся во всем мире до 1930 г. Отметим, что метеографы различных систем оказались отличным средством для изучения общих свойств свободной атмосферы, но ни один из методов их использования не обеспечивал запросов службы погоды. Служба погоды нуждалась в хорошо наложенном, регулярном зондировании атмосферы от земли до нижней стратосферы включительно, производимом в большом числе пунктов, распределенных на всей обслуживаемой территории.

Удовлетворить такие требования оказалось возможным только с помощью разработанных в 1930 г. в Советском Союзе зондирующих приборов совершенно нового типа — радиозондов.

ПЕРВЫЙ РАДИОЗОНД

Изобретателем радиозонда и метода его использования для исследования атмосферы является выдающийся советский учёный-аэролог профессор Павел Александрович Молчанов.

Впервые идея метода радиозондов была высказана Молчановым в 1923 г. в его научно-популярной брошюре «Воздушный океан». Молчанов предложил прибор, подобный зондовому метеографу с радиопередатчиком, не записывающий своих показаний, а передающий их радиосигналами в пункт выпуска. Таким

образом данные зондирования могли быть получены немедленно и независимо от дальнейшей судьбы прибора. Эта идея для того времени была исключительно смелой. Радиотехника во всем мире только начинала развиваться. Радиовещание еще только зарождалось, и сведения о распространении радиоволны были крайне скучными. Радиолампы являлись редкостью, а радиоаппаратуру можно было видеть только на государственных радиостанциях. Самый термин «радио» применялся редко, вместо него употреблялось теперь уже забытое наименование «беспроволочный телеграф». Поэтому мысль об использовании радио для целей изучения атмосферы многим показалась преждевременной.

Весьма существенно отметить, что радиозонд — точный и принципиально сложный измерительный прибор. Он имеет метеорологическую часть, шифрующий механизм, двигатель для приведения последнего в действие и миниатюрную радиопередаточную станцию, питающуюся от батарей. Кроме того, радиозонд предназначается для работы в таких тяжелых условиях, при которых многие другие сложные механизмы едва ли смогли бы действовать бесперебойно. Температура в свободной атмосфере у земной поверхности может быть, например в летнее время, более 30° тепла, а в стрatosфере всегда стоит мороз $60-70^{\circ}$; давление может уменьшиться за время подъема в 100 раз против первоначального; при прохождении же сквозь зоны жидких осадков и облаков на прибор в изобилии попадает вода. Из известных в области точного приборостроения устройств в подобной тяжелой обстановке могут работать одни только метеорографы, однако они не имеют ни шифрующих механизмов, ни радиопередатчиков с батареями. Все это, а также отсутствие предшествующего опыта в области дистанционных измерений ни в какой степени не обескураживало изобретателя, и вскоре в Институте аэрометрии¹ в Павловске, близ Ленинграда, под руководством

Изобретатель радиозондов доктор физико-математических наук проф. Павел Александрович Молчанов (1893—1941 гг.)



П. А. Молчанова начались работы по созданию конструкции задуманного им прибора.

Искания были предприняты сразу по нескольким направлениям. Конструирование радиопередатчика для нового прибора взял на себя профессор И. Г. Фрейман, который, однако, скончался, не успев довести своей части работы до полного завершения. Начатое им конструирование специального радиопередатчика было успешно доведено до конца другими специалистами, и задача создания радиотехнической части нового прибора была решена вполне своевременно. Это в немалой степени содействовало общему успеху предпринятых работ.

П. А. Молчанов занимался решением наиболее неизведанной части общей задачи — поисками способов телеметрирования метеорологических величин, пригодных для совмещения с радиопередачей. Именно в этот период им было предложено несколько принципиально различных систем зашифровки данных измерений, впоследствии получивших применение для многих разновидностей радиозондов во всем мире.

К 1927 г. разработка нового аэрологического прибора значительно продвинулась. На международной конференции по исследованиям высших слоев атмосферы, проводившейся тогда в Лейпциге, Молчанов сделал сообщение о цели этих работ, успешном их ходе и о различных возможных вариантах решения общих задач радиотелеметрии.

Необходимо отметить, что методы осуществления автоматических дистанционных измерений с помощью линий радиосвязи в 1927 г. были совершенно неизвестны. В области автоматики и телемеханики тогда существовали немногие телеметрические устройства, причем только такие, которые действовали по проводам. Вследствие этого новизна содержащихся в сообщении Молчанова предложений была особенно интересной, поскольку в них не только заключалась идея методики решения частной задачи аэрологических наблюдений совершенно нового типа, но и излагались общие радиотелеметрические приемы.

В результате общей высокой оценки возможностей, открываемых методом радиозондов для развития широко организованных повсюду аэрологических наблюдений, во многих странах начались форсированные изыскания, направленные к реализации идей П. А. Молчанова, а создание первого радиозонда приобрело оттенок международного соперничества.

Работы по созданию радиозонда были значительно усилены и в СССР. Уже в 1927 г. под руководством Молчанова демонстрировалась в лабораторных условиях действующая модель радиозонда, сигналы которой принимались на небольших расстояниях. По этим сигналам безошибочно определялись значения температуры и давления воздуха. В 1928 г. действующий радиозонд был впервые продемонстрирован и в Москве² на съезде метеорологов. Прибор и радиоприемник были установлены на

¹ По мере развития метеорологической науки, в ней определилось несколько специализированных разделов, и аэрология стала называться разделом метеорологии, посвященный инструментальным исследованиям высоких слоев атмосферы.

разных этажах здания, и все участники съезда имели возможность убедиться в полной технической осуществимости идеи радиозондирования.

Первый в мире успешный выпуск радиозонда в свободный полет был осуществлен 30 января 1930 г. в 13 час. 44 мин. по московскому времени с территории Института аэрометрии Главной геофизической обсерватории (ГГО) в Павловске.

Радиозонд был прикреплен к связке резиновых шаров, наполненных водородом, которые и унесли его ввысь. Во время подъема прибор автоматически измерял температуру и давление воздуха вдоль всей траектории своего полета, причем результаты измерений передавались на землю в виде условных радиосигналов.

Последние сигналы, по которым еще можно было определить значение температуры воздуха, были приняты через 32 минуты после начала полета, с высоты 8300 м. После расшифровки принятых сигналов оказалось возможным составить следующие сведения о распределении температуры воздуха по высотам:

Высота, м	Темпера-тура	Высота, м	Темпера-тура	Высота, м	Темпера-тура
30	-11,0°	3 000	-15,9°	6 000	-28,5°
350	-12,8	3 500	-18,0	7 000	-35,4
500	-11,6	4 000	-20,3	7 350	-38,0
1 000	-11,0	4 500	-22,8	7 500	-38,6
1 500	-11,4	4 740	-24,5	7 800	-40,7
2 000	-12,0	5 000	-24,5	8 000	-40,7
2 500	-13,7	5 500	-25,9	8 300	-40,7

Выпущенный прибор не был найден, однако результаты выполненного зондирования атмосферы от этого нисколько не пострадали.

Практическая ценность нового средства исследования свободной атмосферы убедительно подтверждалась и тем, что результаты измерения оказалось возможным представить в готовом виде в весьма короткий срок после выпуска радиозонда. Таким образом, выпуском первого радиозонда в истории аэрологических исследований, являющихся важнейшей частью современной науки о погоде, была открыта новая славная страница.

Блестящий успех вдохновил весь коллектив сотрудников П. А. Молчанова. Последующая их деятельность по доработке отдельных деталей метода, его внедрению и дальнейшему усовершенствованию прибора проходила ускоренными темпами.

Вскоре выпуски радиозондов начались не только в Павловске, но и в ряде других пунктов. Отметим, что некоторые из таких пунктов были организованы в Арктике.

Благодаря энергичной работе советских аэрологов по внедрению нового метода исследования свободной атмосферы в повседневную практику данные радиозондирования вскоре начали широко применяться при составлении прогнозов погоды. Одной из главных задач, решаемых нашими научно-исследовательскими дрейфующими станциями в районе Северного полюса, является регулярный выпуск радиозондов. Радиозонды стали также основным средством регулярных аэрологических исследований не только в Советском Союзе, но и во всем мире. В наши дни, например, только в СССР ежесуточно выпускается в полет более 400 радиозондов, а для всего мира это число превышает 2000.

Проникновение метода радиозондов в практику аэрологических наблюдений зарубежных стран легко проследить по датам первых удачных выпусков радиозондов.

Так, первый успешный выпуск радиозонда собственной конструкции в Германии состоялся в мае 1931 г. Предпринятая до этого попытка осуществить радиозондирование годом раньше (15 мая 1930 г.) закончилась неудачей, так как не удалось получить какие-либо сведения о состоянии метеорологических элементов.

Во Франции первый выпуск, давший удовлетворительные результаты, состоялся в сентябре 1930 г. В Финляндии первый удачный радиозонд поднялся в воздух в 1931 г. В США собственные радиозонды начали появляться только с 1935 г.

Следует упомянуть, что в период 1927—1929 гг. в США и во Франции производились опыты, при которых в свободный полет на резиновых шарах выпускались небольшие радиопередатчики. Выпуски эти были довольно многочисленными, но производились они в связи с изучением законов распространения радиоволн и для выяснения некоторых особенностей радиопеленгации.

В 1937 г. Международной аэрологической комиссией была издана обзорная работа, в которой описывались разработанные к тому времени во всем мире конструкции радиозондов.

Для составления этого обзора руководителям метеорологических служб различных стран был разослан вопросник. В первом вопросе спрашивалось: имеются ли в Вашей стране радиозонды особых конструкций? Остальные 8 вопросов относились к различным техническим характеристикам радиозондов.

Из 37 стран, в которые был послан этот вопросник, на первый вопрос утвердительно ответили только 7. Радиозонды оказались созданными в Советском Союзе, Германии, США, Финляндии, Франции, Голландии и Японии. В 1939 г. было опубликовано дополнение к ранее изданному обзору, из которого видно, что к этому сроку радиозонды собственных конструкций появились еще только в Италии и Англии. Теперь радиозонды собственной конструкции имеют также Канада, Индия и Швейцария. В остальных странах попрежнему используются импортные приборы.

Совершенствование радиозондов происходило в направлениях повышения точности их действия и общей надежности конструкции, а также увеличения потолка зондирования и числа одновременно определяемых параметров свободной атмосферы. Устремления конструкторов были направлены на упрощение изготовления радиозонда и улучшение его эксплуатационных качеств.

После 1939 г. обзорных работ по конструкциям радиозондов не публиковалось и о состоянии этого вопроса можно судить лишь по изредка появлявшимся в литературе сообщениям об отдельных новых разработках.

К настоящему времени во всем мире разработано свыше ста различных конструкций радиозондов (вместе со многими вариантами, более или менее существенно отличающимися от основных образцов). При этом в практике постоянного применения в разных странах мира привились и используются всего до десяти разновидностей радиозондов, а остальные конструкции в настоящее время представляют лишь исторический и некоторый учебный интерес.

Гибкость метода радиозондов, выражаящаяся в его общедоступности, дешевизне, принципиальной возможности получать высокую степень точности производимых измерений и во многих случаях в безопасности для наблюдателя (например, при необходимости изучать атмосферные процессы внутри грозовых облаков), вызвала появление многих категорий приборов, предназначенных для специальных исследований, а не только для температурного зондирования атмосферы.

Так, известны действующие по принципу радиозонда приборы для измерений атмосферно-электрических величин, для изучения интенсивности солнечной радиации, приборы для исследований космического излучения и пр. Отметим и такие приборы, как *радиозонды для исследований атмосферы на больших высотах*, поднимаемые на эти высоты с помощью особых ракет; *дрейфующие радиозонды*, совершающие продолжительные полеты на заданной высоте, *ретрансляционные зонды*, допускающие определение их точного положения в пространстве по так называемому фазовому методу, предложенному советскими физиками Л. И. Мандельштамом и Н. Д. Папалекси в конце 30-х годов.

Успехи в области конструирования управляемых по радио моделей самолетов и других летательных аппаратов привели к возникновению и попыткам реализации проектов таких радиозондов, которые могли бы быть многократно использованы для зондирования свободной атмосферы в произвольных направлениях.

Известным в этой области является предложенный в 1945 г. советским ученым В. М. Михелем *тегерадиодирижаблезонд*. Первые предложения использовать управляемые по радио модели за рубежом относятся лишь к концу 1947 г.

Известны также конструкции *аэростатных радиозондов*. Они позволяют продолжительно контролировать температуру и давление воздуха, а также скорость и направление ветра на всех высотах, доступных привязанным аэростатам.

Существуют и так называемые *сбрасываемые радиозонды*, производящие зондирование атмосферы не снизу вверх, как обычно, а сверху вниз. Эти радиозонды сбрасывают с самолета или свободно летящего аэростата, и они плавно опускаются на парашютах. Такие приборы находят себе применение, когда по географическим условиям (например, на Крайнем Севере) или по другим причинам наземные пункты наблюдений не могут быть организованы. Прием сигналов сбрасываемых радиозондов производится на самолетных установках или в корзине аэростата.

Известны также радиозонды, транспортируемые в упакованном виде на большую высоту в артиллерийских снарядах либо с помощью ракет, которые по достижении предельной или заранее заданной высоты освобождаются из упаковки и переходят на парашютный спуск, производя в это время зондирование. Их сигналы принимаются на земле. Возможность получить интересующие сведения об основных характеристиках воздуха на значительных высотах, реализуемая с минимальнойтратой времени на подъем прибора, во многих случаях может представить большую ценность.

Родственными радиозондам комплексными измерительными приборами являются также ныне широко известные автоматически действующие *радиометеорологические станции* (АРМС), устанавливаемые в малонаселенных или в труднодоступных районах суши и на буях, и на поплавках, и в открытом море.

Из изложенного следует, что метод радиозондов за сравнительно недолгое время своего существования привел к возникновению большого количества различных, автоматически действующих аэрологических и геофизических измерительных приборов.

СПОСОБЫ ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В РАДИОЗОНДИРОВАНИИ

Внимательное изучение всех до сих пор известных конструкций радиозондов показывает, что в области радиозондирования привились и используются всего пять основных способов телеметрии, отличающихся друг от друга весьма характерными признаками. При этом передача значений отдельных метеорологических элементов производится либо знаками условного кода, либо путем использования промежуточных величин-переносчиков, которыми являются время, число сигналов, длина волн радиопередатчика или частота модуляции создаваемых радиопередатчиком незатухающих или импульсных колебаний.

КОДОВЫЙ СПОСОБ

Кодами называют системы условных комбинаций сигналов или элементарных знаков, употребляемые для передачи сообщений или для приведения в действие каких-либо механизмов. В простейшем случае кодовый знак может быть образован и одним только сигналом. Коды очень широко применяются не только в технике, но и в быту. Если, например, на входной двери висит табличка: «Иванову 1 звонок, Петрову 2 звонка» — это уже ни что иное, как код.

Обязательными признаками каждого кода являются краткость и четкость составляющих его знаков, а самое главное — их условное смысловое содержание по возможности должно быть однозначным.

Смысловой характер кодовых знаков приводит к тому, что наблюдатель в процессе приема кодированных сообщений после некоторой тренировки быстро привыкает «схватывать» кодовые знаки не по подсчету составляющих их коротких и длинных сигналов, а по ритму звучания. Прием кодовых знаков «на слух» подобен процессу чтения текста, когда, не разглядывая отдельные буквы, прочитываются сразу слова или даже группы слов. Указанная особенность кодового способа обеспечивает высокую скорость передачи данных. Все другие способы телеметрических измерений в радиозондировании требуют в процессе приема сигналов вспомогательных измерений или счета, на что расходуется лишнее время.

Участие человека в процессе приема кодовых сигналов значительно повышает надежность передачи, которая остается возможной даже при наличии больших помех и глубоких замираний слышимости. В связи с этим кодовый способ телеметрических измерений в радиозондировании позволяет обходиться радиопередатчиками минимальной мощности.

Возможность применять весьма простую наземную аппаратуру для приема сигналов облегчает задачу оборудования пунктов радиозондирования и делает радиозонды, основанные на использовании кодового способа, особенно пригодными для экспедиционных условий.

В случае необходимости прием кодовых сигналов принципиально возможно автоматизировать с помощью применения специальных ондуляторов или, например, звукозаписывающей аппаратуры.

Большое достоинство кодового способа заключается в том, что телеметрическое измерение значений одних и тех же метеорологических величин в моменты изменения сигналов производится с минимальными погрешностями, так как телеметрический тракт в эти моменты никаких собственных погрешностей не добавляет. Этого нельзя сказать ни об одном из остальных способов телеметрических измерений, где процесс передачи каких угодно доброкачествен-

ных данных всегда сопровождается непременным увеличением общей погрешности результата за счет телеметрического тракта.

Существенно уменьшает преимущества кодового способа обязательность применения датчиков с чувствительными элементами деформационного типа, а также неизбежная ступенчатость (дискретность) получаемых данных. Последнее приводит к тому, что во время радиозондирования кодовым прибором фактически производится поочередно два вида телеметрических измерений: *менее точные и более точные*. Менее точные измерения осуществляются в периоды ожидания изменений в сигналах, причем степень их точности ограничивается ценой деления ступенчатой шкалы датчика, которая является в то же время *порогом чувствительности радиозонда*. Однако положение оказывается совершенно иным для тех моментов, когда происходит смена сигналов. В эти моменты точность измерений резко возрастает и определяется уже в основном *порогом чувствительности датчика*, данными его тарировки, качеством выдержки, влиянием радиации, термической инерцией, гистерезисом и т. д. Порогом чувствительности какого-нибудь измерителя или индикатора принято называть то минимальное изменение наблюдаемой величины, которое еще может быть достаточно отчетливо воспринято.

Необходимый для образования четких знаков кода контраст в радиосигналах может быть создан изменениями амплитуды излучаемых колебаний (чаще всего от нуля до максимума), отклонениями несущей частоты или изменениями частоты модуляции.

Перечисленные особенности кодового способа позволяют определить область его применения. Очевидно, кодовый способ телеметрических измерений наиболее пригоден в радиозондировании для элемента давления с его весьма закономерно изменяющимися по высоте значениями, менее пригоден для температуры и еще менее для влажности. Учитывая, что все метеорологические элементы на больших высотах по мере продолжения подъема радиозонда изменяются крайне медленно, применение кодового способа для телеметрических измерений на высотах порядка 25—30 км будет означать, что исследователю в основном придется довольствоваться лишь данными меньшей точности. С этим недостатком кодового способа борются уменьшением цены деления шкал, в особенности для тех их участков, в пределах которых могут находиться указатели датчиков по достижении радиозондом больших высот.

Все способы телеметрических измерений в радиозондировании могут применяться и в упрощенных вариантах. Упрощения при использовании кодового способа в большинстве своем совершенно оправданы. Они заключаются в неполноте однозначности, что в некоторых случаях может затруднить правильную расшифровку принятых сигналов (в качестве единственного абсолютно кодового радиозонда, все сигналы которого совершенно однозначны, мо-

связанного с часами шифрующего диска или валика на малые углы α_1 и α_2 , вообще друг другу неравные. Положим, например, что $\alpha_2 > \alpha_1$.

Если диапазон передаваемых значений метеорологических величин E ограничен с одной стороны E_1 , а с другой E_2 , период повторяемости измерений по одному элементу равен T_0 , а время, которое может быть использовано для передачи максимального значения величины E и составляет часть T_0 , равно T_1 , то условная цена деления при временном способе телеметрии выражается так:

$$H_0 = (E_2 - E_1) \frac{T_0}{T} \frac{a_2}{2\pi} .$$

Формула эта составлена на основании очевидной прямой пропорциональности цены деления ширине диапазона передаваемых значений величин $E_2 - E_1$, большему частичному углу α_2 , выраженному в долях полного оборота 2π , и обратной пропорциональности отношению $\frac{T_1}{T_0}$, которое можно назвать коэффициентом использования одного цикла по данному элементу.

Из формулы следует, что для повышения точности измерений по временному способу полезно разбивать полный диапазон измеряемой величины на ряд смежных участков ($E_2 - E_1$ будет меньше), отношение $\frac{T_1}{T_0}$ брать близким к единице и стремиться к возможно меньшему значению величины α_2 . Последнее может быть достигнуто применением специальных быстроходных часовых механизмов, баланс у которых может совершать повышенное количество полных колебаний в одну секунду, а соответствующая регулировка обеспечивает равенство α_1 и α_2 . Разделение полного диапазона измерений на ряд поддиапазонов может быть достигнуто как применением многолучевых указателей, так и с помощью многовитковых шифрующих спиралей.

ЧИСЛОВОЙ СПОСОБ

До последнего времени для обозначения этого способа применялся термин «число-импульсный». Основным приемом рассматриваемого способа является преобразование измеряемой величины в пропорциональное ей число однотипных сигналов, подсчитываемых на приемном конце линии телеметрии. Искомая величина определяется по принятому числу сигналов с помощью тарировочной таблицы или графика, выраждающих эту величину в виде функции числа сигналов.

В радиозондировании в качестве переносчиков значений измеряемых величин применяются не только однотипные импульсы, но и однотипные вариации несущей частоты, а также и гораздо более сложные сигналы, иногда даже с отходом от требования

их однотипности (но с соблюдением одинаковости их периода). Так, например, способ телеметрии влажности, применяемый в гребенчатом радиозонде, бесспорно является числовым, между тем как сигналы температуры и давления, по числу которых отсчитываются значения влажности, могут иметь самый различный вид.

Если принять все это во внимание, то термин **число-импульсный** должен быть признан неточным, не охватывающим всех применяемых форм преобразования переносимых величин. В связи с указанным лучше пользоваться названием **числовой способ**.

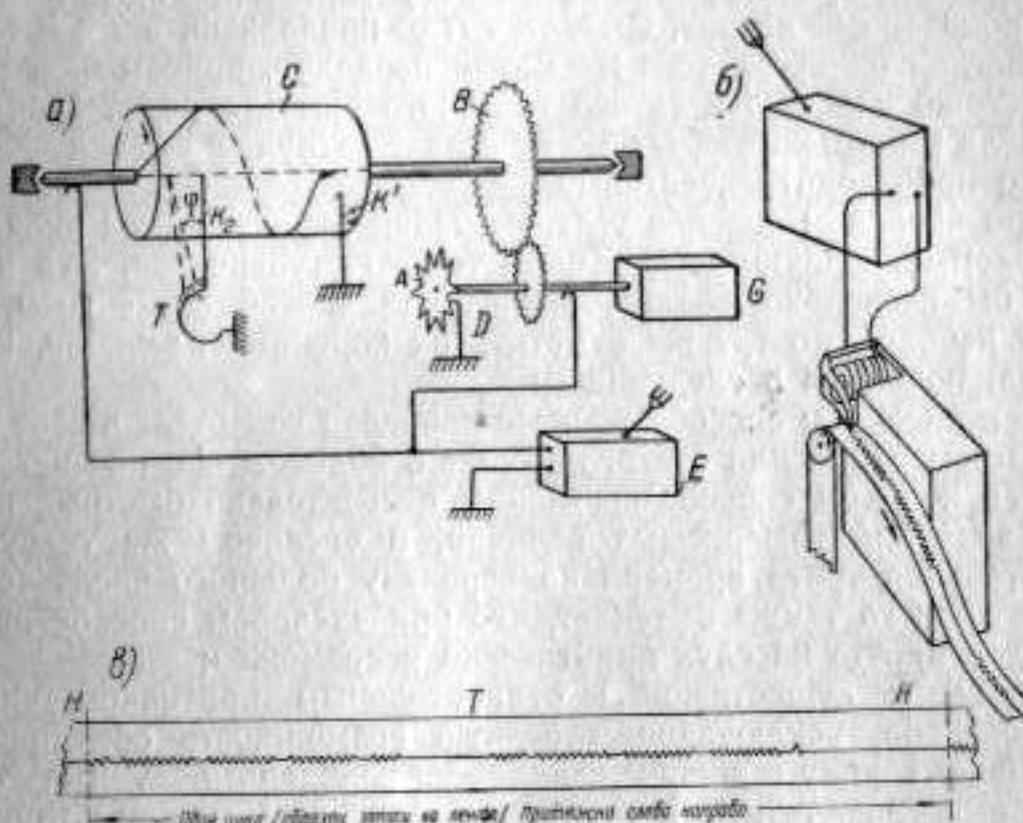


Рис. 3. Числовой способ телеметрии.

На рис. 3а изображена схема шифрующего устройства, которая в общих чертах похожа на устройство для временного способа телеметрий. Принципиальное различие этих двух способов обусловлено наличием 10-лучевой контактной звездочки A на ведущей оси редуктора B с передаточным числом $1:N$. Если N — целое число, то при вращении одному обороту двигателя G барабана C будет соответствовать $10N$ контактов звездочки A с корпусом через пружинку D . При каждом соединении провода с корпусом через звездочку A или через металлическую спираль на барабане C радиопередатчик E создает радиосигналы. К барабану C прикасаются контакт начального сигнала K_1 и указатель датчика температуры K_2 . Когда они касаются

металлического витка, точечные сигналы звездочки *A* на некоторое время оказываются перекрытыми продолжительными сигналами начала и конца отсчета. Нетрудно видеть, что положение указателя температуры на барабане *C* может быть легко определено по числу переданных между этими сигналами точек.

На рис. 3б показана схема приемно-регистрирующего устройства, в котором перо ондулятора отмечает на движущейся бумажной ленте каждый принятый сигнал.

Для того чтобы сделать подсчет числа записанных на ленте сигналов более удобным, один из лучей звездочки *A* отгибают в сторону или даже удаляют. Тогда запись полного цикла сигналов, соответствующего одному обороту барабана *C*, будет иметь вид, показанный на рис. 3в. Здесь *H* — начальный, а *T* — отсчетный сигнал одного и того же цикла передачи, причем благодаря отсутствию каждого десятого точечного сигнала подсчет общего их числа в промежутке *HT* не вызывает затруднений, так как его можно производить десятками.

При числовом способе телеметрических измерений передача всех значений измеряемых величин может быть только ступенчатой. Это казалось бы несколько сближает числовой способ с кодовым, поэтому необходимо тут же отметить их коренные различия, которые заключаются в следующем:

1) в числовом способе процесс передачи содержит в себе элементы измерения или счета, которых в кодовом способе нет;

2) в кодовом способе возможны относительно быстрые передачи значений измеряемых величин, в числовом же требуется значительная траты времени на передачу большого числа точек. Из последнего также вытекает, что при числовом способе прием сигналов просто на слух практически невозможен;

3) самым существенным отличительным признаком числового способа, исключающим всякую возможность объединения его в одну группу с кодовым, является необходимость иметь обязательные «начальный» и «отсчетный» сигналы, между которыми передаются равнoperiodные сигналы, создающие те или иные «числа».

Разрешающая способность числового радиозонда определяется количеством контактов звездочки, приходящихся на один оборот барабана *C*, и числом витков металлической спирали на барабане, которое может быть увеличено до двух-трех.

Условная величина цены деления шкалы для радиозондов числовой системы может быть рассчитана по такой формуле:

$$U_n = \frac{E_2 - E_1}{n},$$

где $E_2 - E_1$ — диапазон возможных изменений измеряемой величины E , а n — соответствующее этому диапазону число точечных сигналов. В качестве примера упрощенного варианта числового способа может служить приведенный ниже способ измерения

влажности гребенчатым радиозондом. Упрощение заключается в том, что количество считаемых сигналов невелико, вследствие чего и прием их производится просто на слух путем «счета в уме».

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ СПОСОБ

При высокочастотном способе телеметрических измерений передача значений метеорологических элементов производится изменениями несущей частоты радиопередатчика. Воздействие на частоту передатчика осуществляется с помощью конденсаторов переменной емкости, управляемых чувствительными элементами, либо температурочувствительными конденсаторами, техника изготовления которых в последние годы шагнула далеко вперед.

Высокочастотному способу также свойственна условная цена деления шкалы, которой определяется максимально достижимая точность передачи измеренных величин.

Обычно несущую частоту выбирают порядка 25 мегагерц (мгц), чему соответствует волна 12 м. Применение меньших частот является неудобным из-за возникающей при этом необходимости увеличения вариаций емкости измерительных конденсаторов, а более высокие частоты нежелательны из-за прогрессирующей при повышении частоты общей нестабильности передатчика. Можно было бы, кажется, уменьшить значение случайных колебаний частоты увеличением глубины модуляции в процессе измерений, однако при этом ухудшаются условия излучения, поскольку радиопередатчик периодически будет оказываться слишком сильно расстроенным по отношению к возбуждаемому им излучателю. Поэтому почти во всех высокочастотных радиозондах для передачи измеренных данных используется полоса частот шириной около 2 мгц при несущей частоте около 23—30 мгц. При этом в большинстве конструкций радиозондов производится поочередная циклическая передача пяти различных частот. Три значения частоты содержат данные давления, температуры и влажности воздуха, а две частоты служат опорными, позволяющими учитывать общую нестабильность радиопередатчика и исправлять результаты телеметрических измерений.

Измерения частоты принимаемых сигналов радиозонда производятся обычно с помощью проградуированного в волнах или в частотах супергетеродина с растянутым диапазоном настроек, причем в схеме радиоприемника должен содержаться и второй гетеродин, обеспечивающий получение тональных сигналов при приеме незатухающих колебаний. Моменты точной настройки на сигналы определяются на слух по «нулевым биениям». Такому методу измерения частоты свойственные субъективные погрешности, не позволяющие считать его очень точным. В частности, нулевые биения для некоторой области сравниваемых частот склонны превращаться в псевдонулевые биения из-за подвержен-

ности ничем не стабилизованных ламповых генераторов явлению увлечения или затягивания частоты.

Это всегда имеет место при приеме сигналов высокочастотных радиозондов, в чем нетрудно убедиться, если прислушаться к характеру переливчатого свиста, по которому определяют подход к моменту точной настройки: изменяющийся по высоте тона свист никогда не перешел бы в нулевые биения, если бы явления увлечения не было. Средняя частота биений F может быть оценена равной 5 кгц. Поскольку увлечение гетеродина приемника равновероятно частотами, большими и меньшими его собственной, можно считать, что ширина полосы частот, внутри которой наблюдается явление увлечения, равна $2F = 10$ кгц. Отсюда следует, что вся совокупность возможных значений частот, которые могут быть измерены по методу нулевых биений внутри диапазона $f_2 - f_1 = 2000$ кгц = 2 мгц, составит

$$\frac{f_2 - f_1}{2F} = \frac{2000}{10} = 200,$$

а условная цена деления при высокочастотном способе телеметрий в общем виде по каждому метеорологическому элементу E определится как

$$U_{\text{вн}} = (E_2 - E_1) \frac{2F}{f_2 - f_1}.$$

Большим достоинством высокочастотного способа телеметрий является возможность применения датчиков предельно упрощенной конструкции, к тому же почти полностью разгруженных от работы по преодолению вредных сил трения. Некоторые датчики, как например датчик температуры, могут вовсе не иметь каких-либо подвижных частей, если применить температурчувствительные конденсаторы.

Процесс измерений при высокочастотном способе принципиально может выполняться почти с такой же быстротой, как и при кодовом, причем в этом отношении высокочастотный способ превосходит временной и числовые способы, при которых процедура измерений по каждому элементу неизбежно растягивается во времени.

Для специальных измерений величин, изменяющихся в сравнительно узких пределах, высокочастотный способ может обеспечивать высокую степень точности передач, т. е. он пригоден для выполнения и весьма тонких измерений. Измерения частоты в таких особых случаях могут к тому же осуществляться вполне объективными методами, которые, однако, нельзя считать пригодными для сетевого радиозондирования вследствие их достаточной сложности.

Для высокочастотного способа тоже могут быть указаны примеры его применения в упрощенном виде. Таким примером

является способ непрерывного контроля хода изменений температуры в промежутках между сигналами контактного термометра в морском радиозонде (см. стр. 61).

НИЗКОЧАСТОТНЫЙ СПОСОБ

Сущность данного способа заключается в том, что переносчиком значений измеряемых величин служит низкочастотный сигнал, действующий на амплитуду радиопередатчика. В своем полном виде низкочастотный способ применен в моделях радиозондов США (стр. 67) и Англии (стр. 69), а в упрощенном варианте используется для осуществления облакомерных измерений с помощью гребенчатого радиозонда (стр. 47).

Специфической особенностью низкочастотного способа является возможность сравнительно простыми в техническом отношении приемами осуществлять воздействие на частоту модуляции датчиками реостатного типа, удобной разновидностью которых являются широко распространенные теперь термисторы, а также электрические гигрометры.

Частота ламповых генераторов низкочастотных колебаний, действующих с использованием емкостно-индуктивных колебательных контуров или создающих релаксационные колебания с помощью конденсаторов и сопротивлений, практически весьма устойчива. Она заметно не изменяется, если, например, включенный генератор трогать руками, подносить к нему проводящие предметы и производить другие попытки воздействий случайного характера.

Вследствие указанного при низкочастотном способе телеметрий радиопередатчик может быть сделан отделяемым от метеорологической части, а датчики могут тарироваться без выхода в эфир, т. е. без радиозонда.

В то же время генерируемые для модуляции колебания остаются подверженными воздействию таких дестабилизирующих факторов, как изменения напряжений батарей накала и анода или общие значительные изменения температуры всех деталей схемы. Это заставляет в целях исключения возможных погрешностей при измерениях применять в модуляционных радиозондах датчики опорных постоянных частот аналогично тому, как подобные же датчики применяются при способе высокочастотном, или пользоваться при обработке данных зондирования типовыми эмпирическими поправками.

Для низкочастотного способа также может быть рассчитана условная величина цены одного деления общей шкалы передаваемых величин, поставленная в зависимость от величины минимального отклонения частоты ΔF , которая еще может быть измерена с помощью используемой для приема сигналов специальной аппаратуры. Применяя принятые ранее обозначения границ измерений измеряемых величин E_2 и E_1 , а соответствую-

ПЕРВЫЙ ГРЕБЕНЧАТЫЙ РАДИОЗОНД

На рис. 4 представлен внешний вид первого радиозонда. Прибор состоит из двух самостоятельных частей: метеорологическая часть заключена в алюминиевый кожух от метеорографа, а радиопередатчик и источники питания имеют отдельную упаковку. Последующие экземпляры радиозондов собирались уже в общем кожухе.

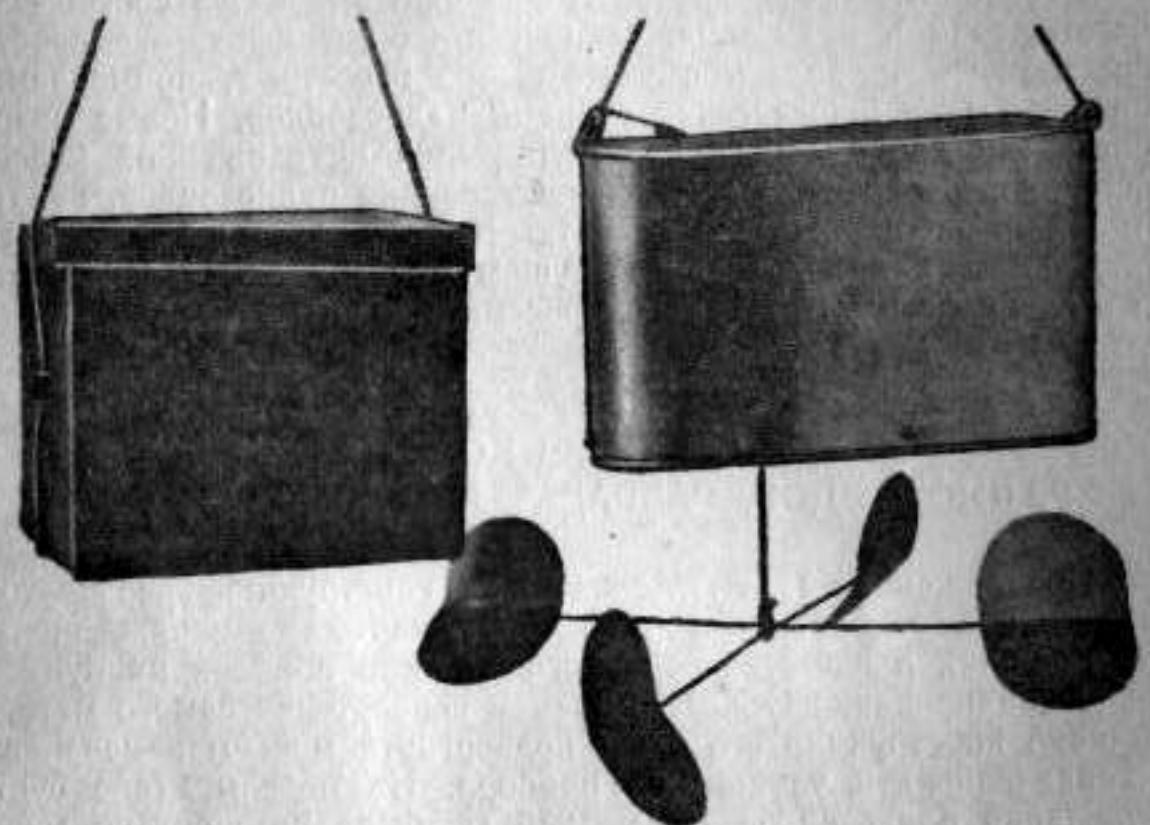


Рис. 4. Внешний вид первого радиозонда.

На рис. 5а представлена принципиальная схема прибора, а на рис. 5б — схема радиопередатчика.

Биметаллическая скоба T при изменениях температуры меняет свою кривизну и при этом перемещает металлический указатель K_T по контактной шкале, составленной из пяти изолированных друг от друга и от корпуса прибора пластинок. Пластины с одного края имеют зубцы прямоугольной формы и собраны в дугообразно изогнутый пакет. Каждая пластина с зубцами несколько напоминает гребенку, откуда и произошло название *гребенчатый радиозонд*. Взаимное расположение зубцов на пластинках таково, что перемещающийся от одного конца шкалы до другого указатель плавно скользит по их краям, не проваливаясь между зубцами и поочередно создавая контакт с каждой из пластинок. Все гребенки соединены проводниками

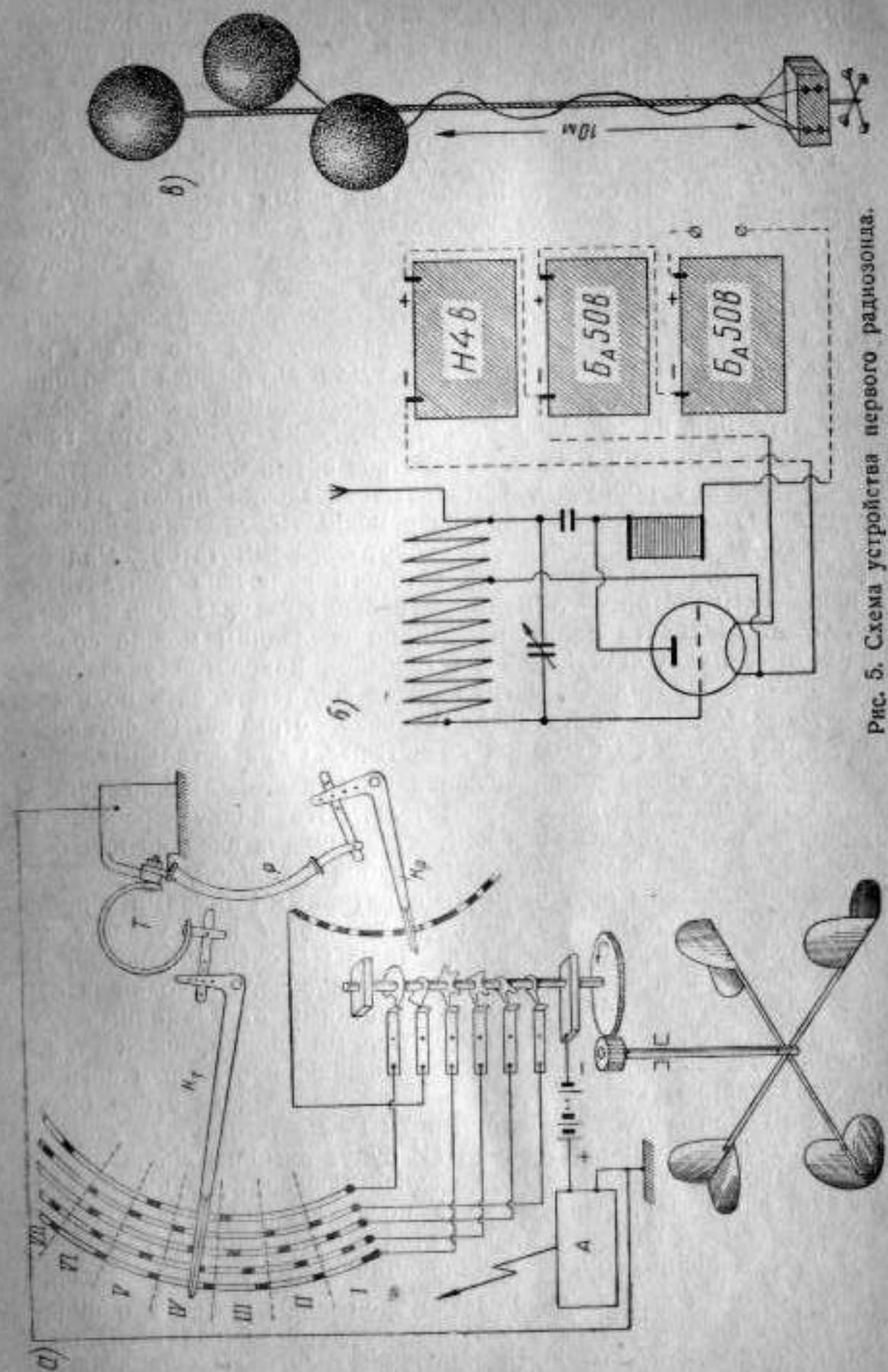


Рис. 5. Схема устройства первого радиозонда.

с пружинящими полосками (ламелями), входящими в механическое кодирующее устройство радиозонда — коммутатор, приводимый в действие крыльчаткой.

Ось коммутатора, вращающаяся со скоростью около одного оборота в секунду, изолирована от корпуса прибора и несет на себе фигурные контактные пластинки (звездочки), выступы которых при каждом обороте на короткое время касаются пружинящих ламелей. Поскольку указатель K , соединен с корпусом радиозонда, ось коммутатора оказывается в течение каждого оборота на какое-то время тоже соединенной с корпусом.

Звездочки коммутатора, каждая из которых расположена против соответствующей отдельной ламели, как это видно на рисунке, сделаны различной формы. Для внутренней гребенки звездочка выполнена в виде диска с небольшим вырезом, вследствие чего при нахождении указателя K , на зубцах этой гребенки ось коммутатора лишь на короткое время будет оставаться несоединенной с корпусом. Остальные звездочки имеют разное число выступов и создают кратковременные соединения числом от одного до четырех за каждый оборот оси коммутатора. Радиопередатчик A , в анодную цепь которого включена контактная цепочка: коммутатор — ламель — гребенка — указатель — корпус, будет создавать радиосигналы, по последним можно сразу определить, на зубцах какой из гребенок находится указатель температуры. Протяжный сигнал будет соответствовать положению указателя на внутренней гребенке, отрывистые сигналы в виде точек, числом от одной до четырех, — на остальных.

Несколько сложнее определение — на каком именно зубце данной гребенки находится указатель. Эта задача решается группированием зубцов — вся контактная шкала сделана как бы состоящей из ряда секций по четыре зубца в каждой. На рис. 5а эти секции отделены друг от друга пунктирными линиями и пронумерованы римскими цифрами. В секциях I и II указатель, плавно перемещаясь сверху вниз, дважды поочередно касается всех гребенок, кроме внутренней, вследствие чего исходящие от радиозонда сигналы будут только короткими от «единицы» до «четверки», обычно называемыми сигналами единиц, двоек и т. д. В секции III «единица» окажется замененной протяжным сигналом, создаваемым внутренней гребенкой, так как ее зубец оказывается в этой секции расположенным на месте отсутствующего зубца гребенки единиц. В секции IV будут слышны снова лишь короткие номерные сигналы, последовательные от единицы до четверки, а в следующей секции V после единицы будет услышан протяжный сигнал, так как в этой секции зубец внутренней гребенки замещает собой отсутствующий зубец гребенки двоек.

Внутренняя гребенка, зубцы которой вкраплены в общую контактную шкалу реже, чем зубцы всех остальных гребенок, была названа *контрольной*, а протяжные сигналы — *контроль-*

ными сигналами температуры. Введением контрольных сигналов было ликвидировано то однообразие всех секций температурной шкалы, при котором существовала бы возможность ошибиться на целую секцию, особенно в тех случаях, когда из-за наличия помех часть сигналов радиозонда принимается с недостаточной уверенностью.

Значительно проще измеряется давление, так как в процессе подъема радиозонда его значения могут только лишь убывать. Для измерений давления воздуха в радиозонде была применена коробка Бурдона P , которая, распрямляясь при понижении наружного давления, перемещает металлический указатель K_P по контактной шкале, составленной из двух гребенок — металлической и целлулоидной. Зубцы этих гребенок чередуются таким образом, чтобы указатель мог скользить по шкале не проваливаясь, для чего все просветы одной гребенки закрываются зубцами другой и наоборот.

Металлическая гребенка изолирована от корпуса и соединена проводником с пружинящей ламелью, против которой на оси коммутатора имеется еще одна контактная звездочка в форме небольшого сектора. Расположен этот сектор так, что он при вращении оси коммутатора начинает касаться пружинящей ламели в тот момент, когда передается последняя точка каждого из возможных «номерных» сигналов температуры, либо когда начинается кратковременная пауза, если передается протяжный контрольный сигнал температуры. Угловые размеры сектора сигналов давления сделаны такими, чтобы при равномерном вращении оси коммутатора время его касания к пружинящей полоске было приблизительно в три раза большим, чем время передачи одной точки. Когда указатель давления находится на целлулоидном зубце, номерные сигналы температуры состоят только лишь из точек, а в контролльном сигнале температуры имеется заметная пауза. При переходе указателя давления на металлический зубец и в течение всего времени его нахождения на этом зубце последняя точка каждого из сигналов температуры превращается в «тире», а контролльный сигнал — в почти непрерывный сплошной сигнал, т. е. происходят отчетливо различимые изменения в сигналах, по которым можно безошибочно определять положение указателя на шкале давления. На случай, если какие-либо радиопомехи создадут вынужденный перерыв в приеме сигналов, каждый третий металлический зубец гребенки давления сделан значительно шире соседних зубцов. Этот отличительный признак зубцов 3, 9 и т. д. облегчает расшифровку сигналов давления и делает ее возможной даже в тех случаях, если в записи принятых сигналов будут встречаться некоторые пробелы. Такая структура шкалы давления гребенчатого радиозонда вследствие ее практичности сохранилась до наших дней.

Выпуски первых радиозондов позволили выработать основы

методики радиозондирования, используемые до настоящего времени во всем мире.

Вкратце методика радиозондирования состоит в том, что прибор предварительно тарируется, затем производится специальная подготовка его к выпуску, далее осуществляется так называемая выдержка радиозонда в помещении и вне помещения, после чего прибор выпускается в полет. Выдержки необходимо делать для того, чтобы «привязать» показания радиозонда, являющегося относительным прибором, к тем фактическим значениям температуры и давления воздуха у земли, опираясь на которые при обработке принятых от радиозонда сигналов можно было бы с помощью тарировочных данных произвести их расшифровку.

Тарировка радиозонда производится раздельно по температуре и давлению. Для тарировки по температуре обычно пользуются спиртовой ванной, которая с помощью твердой углекислоты охлаждается до -65° и ниже. С помощью специальных механических мешалок охлажденный спирт в ванне интенсивно перемешивается для того, чтобы гарантировать одинаковость его температуры по всему объему. Температура ванны непрерывно измеряется точным спиртовым термометром. Радиозонды помещают в ванну таким образом, чтобы их биметаллические датчики температуры погрузились в охлажденный спирт. Выждав некоторое время, необходимое для того, чтобы нарушенное внесением этих предметов постоянство температуры по всему объему восстановилось, производят отсчеты положений указателей на гребенках с одновременной записью показаний спиртового термометра. После этого ванну подогревают на $20-25^{\circ}$ и вновь производят отсчеты, повторяя такую операцию несколько раз. Последняя точка определяется для области положительных температур порядка 40° . Вслед за этим вычерчиваются сертификатные кривые для датчиков температуры каждого из радиозондов в виде графиков, отнесенных к прямоугольной системе координат. Вдоль оси абсцисс откладываются зубцы гребенчатой шкалы температур, а вдоль оси ординат — показания образцового термометра.

Тарировка радиозонда по давлению оказалась более сложной, так как трубка Бурдона деформируется не только при изменении давления, но и при изменении температуры. Для того чтобы учитывать температурные влияния на результаты измерений давления, датчик давления тарируют дважды: при комнатной температуре и при глубоком охлаждении. Процесс тарирования осуществляется с помощью специальных тарировочных барокамер, снабженных вакуумными насосами и ртутными манометрами, позволяющими точно измерять степени достигнутых разрежений воздуха. Барокамеры для тарировки гребенчатых радиозондов должны быть прозрачными или иметь специальные смотровые окна, расположенные таким образом, чтобы гребенчатые шкалы и указатели давления тарируемых приборов были

отчетливо видны. В связи с тем что откачка воздуха из барокамеры до разрежения порядка 7—8 мм рт. ст. (т. е. когда давление внутри барокамеры уменьшается за время откачки приблизительно в 100 раз против нормального атмосферного) требует значительной затраты времени, обычно тарируют не один лишь прибор, а сразу несколько. Когда тарировка осуществляется при отрицательных температурах, радиозонды помещаются в барокамеру, частично погруженными в ванночку с охлажденным спиртом. Вычерченные после этого на одном и том же бланке две тарировочные кривые позволяют в дальнейшем определять влияние температуры на результаты измерений давления и введением поправок во время обработки принятых от радиозонда сигналов получать правильные значения давления.

Введение достаточно точных поправок облегчается тем, что результаты измерений температуры во время радиозондирования получаются практически одновременно с данными давления.

Специальная подготовка радиозонда к выпуску заключается в проверке исправности его механических частей, в удалении следов окисления металла на всех контактных поверхностях и в регулировке степени нажима всех указателей на гребенчатые шкалы.

В процессе подготовки прибора к выпуску осуществляется также и монтаж радиопередатчика с источниками питания в общем кожухе радиозонда, заканчивающийся настройкой передатчика совместно с антенной и радиоприемником, на котором должны приниматься сигналы.

Для выдержки радиозонд устанавливают в комнате над всасывающим отверстием специальной вентиляционной установки с таким расчетом, чтобы притекающий к этому отверстию комнатный воздух омывал биметаллический датчик температуры радиозонда со скоростью, не меньшей чем 3 м/сек.

Биметалл дает показания, соответствующие температуре окружающего прибор воздуха, только при наличии хорошей вентиляции. Без вентиляции эти показания могут заметно отличаться от температуры воздуха.

После снятия показаний датчика температуры радиозонд выносят из помещения и вновь выдерживают 7—10 минут, опять-таки при наличии искусственной вентиляции. Затем прибор выпускают в полет.

Во время приема сигналов радиозондист-оператор ведет специальный протокол радиозондирования, записывая все изменения принимаемых сигналов и время их приема, отсчитываемое от момента выпуска радиозонда. Отсчет времени производится по секундомеру.

При обработке данных зондирования сначала определяются изменения температуры воздуха в зависимости от времени, для

чего по протокольным записям и по сертификату тарировки на миллиметровой бумаге строится график температуры.

Далее на этом же графике строится кривая зависимости высот радиозонда от времени. Высоты определяются по гипсометрической таблице на основании данных поверки датчика давления с учетом уже известной температуры воздуха. Затем вычерчивается кривая истинных давлений, соответствующих различным высотам, и, наконец, наносятся данные относительной влажности воздуха (снова в виде функции времени). Полученный после всего этого график легко позволяет определять нужные характеристики свободной атмосферы для любых высот.

Для того чтобы результаты произведенного зондирования атмосферы могли быть использованы Центральным институтом прогнозов, во всех пунктах сети составляются и немедленно передаются в Москву специальные кодированные телеграммы.

Таким образом, становится ясным, что разработка метода радиозондов заключалась не только в создании пригодной конструкции выпускаемого в свободный полет зондирующего прибора. В дополнение к конструкции потребовалось разрабатывать приемы тарирования, нужно было найти рациональные формы обработки данных и выполнить ряд других изысканий, направленных к тому, чтобы обеспечить практическую применимость нового метода в широких масштабах.

Первые радиозонды делались и выпускались с соблюдением ряда предосторожностей, многие из которых оказались излишними. Так, например, все контактные детали прибора, как-то: гребенки, указатели и контактные части коммутатора, изготавливались из чистого листового серебра; в качестве источников питания применялись кислотные аккумуляторы и довольно мощная лампа типа УБ-132. Источники анодного напряжения брались с напряжением до 160 в.

Отсутствие специальных больших оболочек для подъема радиозондов значительно усложняло выпуск. На рис. 5в показан обычный для первых радиозондов способ их выпуска на связке малых шаров. По инициативе П. А. Молчанова было организовано производство больших резиновых оболочек. Каждая такая оболочка, наполненная водородом, могла поднять прибор в свободную атмосферу.

Важной конструктивной особенностью, которая вместе с основами устройства датчиков и коммутатора переносилась во все последующие модификации гребенчатого радиозонда, является применение легкой, но весьма жесткой рамки из профилированных алюминиевых полосок, на которой смонтированы метеорологическая часть и коммутаторное устройство прибора. Такая конструкция каркаса прибора, при которой элемент, обладающий максимальными ресурсами жесткости, несет на себе все основные детали и защищен от повреждений сравнительно слабо связанным с ним легким кожухом, весьма целесообразна, так как

случайные деформации кожуха не вызывают изменения положений указателей датчиков. Основная рамка даже самого последнего из гребенчатых радиозондов (РЗ-049) по своему устройству почти полностью повторяет рамку метеорологической части первых приборов, что является лучшим подтверждением высокой практичности найденного когда-то решения.

ГРЕБЕНЧАТЫЙ РАДИОЗОНД 1934 г.

Устройство метеорологической части этой модели (рис. 6) свидетельствует о наличии уже в первые годы существования метода радиозондов большого прогресса в конструировании приборов. Коробка Бурдона в приборе помещена не внутри кожуха, а вне его, рядом с биметаллом, что позволило учитывать влияние температуры на измерения давления гораздо точнее, чем прежде.

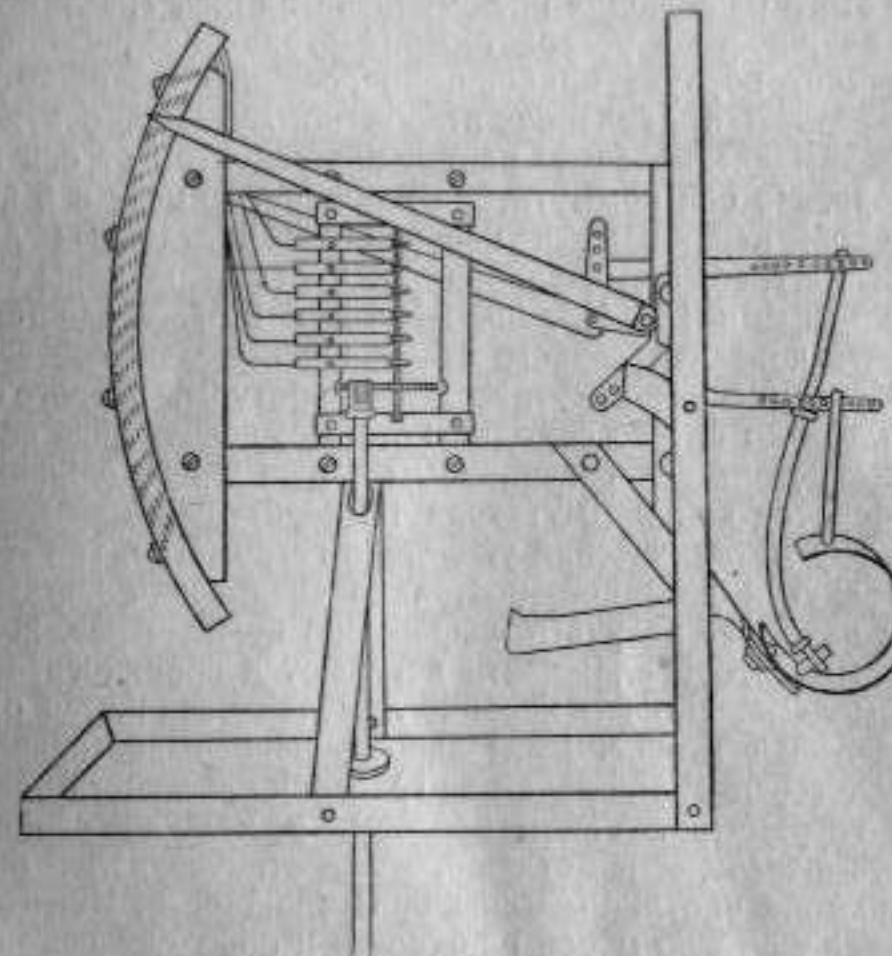


Рис. 6. Схема радиозонда 1934 г.

В качестве источников питания с этой модели началось применение батареек наливных цинково-марганцевых элементов типа Лекланше со снижением анодного напряжения до 90 в. Батарейки и радиопередатчик помещались в общем кожухе, закрывавшем метеорологическую часть, вследствие чего полетный вес радиозонда составлял уже около 1500—1600 г. Однако измеряемыми

элементами попрежнему оставались только температура и давление воздуха, поэтому основные усилия конструкторов радиозонда в тот период были направлены к тому, чтобы дополнить устройство радиозонда также и датчиком влажности (гигрометром).

ГРЕБЕНЧАТЫЙ РАДИОЗОНД С ДАТЧИКОМ ВЛАЖНОСТИ

В качестве измерителя (датчика) относительной влажности воздуха был применен волосной гигрометр, металлический указатель которого перемещался по контактной шкале, подобной гребенчатой шкале датчика температуры. Зубцы гребенок влажности были сделаны гораздо более мелкими, поскольку деформации пучка волос в сравнении с деформациями биметалла весьма незначительны и размах движений указателя влажности для крайних ее значений невелик.

Схема этого радиозонда представлена на рис. 7. Для передачи сигналов влажности в устройство радиозонда введен также изолированный от корпуса прибора, но соединенный с коммутатором температуры и давления второй коммутатор, ось которого вращается замедленно (в 20 раз) через редуктор от оси первого коммутатора. На оси коммутатора влажности имеется 5 контактных секторов, периодически касающихся контактных ламелей, соединенных с гребенками влажности. Угловые размеры секторов сделаны кратными 18° (18, 36, 54, 72. и 90°), вследствие чего длительность контакта первого сектора с ламелью соответствует одному обороту оси коммутатора температуры, второго — двум и т. д., вплоть до пятого сектора, который, коснувшись своей ламели, будет оставаться соединенным с нею в продолжение пяти полных оборотов оси коммутатора температуры.

Поскольку металлический указатель гигрометра, так же как и указатели других датчиков, постоянно соединен с корпусом, то радиозонд начинает излучать непрерывно каждый раз, когда все секторы коммутатора влажности вступают в соприкосновение со своими ламелями. Причем касание ламелей начинается одновременно для всех секторов. Длительность непрерывного излучения зависит от того, на зубце какой из гребенок влажности находился указатель гигрометра. Таким образом, в каждой серии из 20 сигналов температуры и давления часть этих сигналов оказывалась «закрытой» протяжным сигналом влажности. Число закрытых сигналов служило мерой влажности и определялось по числу оставшихся, прослушиваемых сигналов температуры.

Для того чтобы эти новые для радиозонда продолжительные сигналы можно было отличать от *контрольных сигналов температуры*, контрольная звездочка на коммутаторе температуры была сделана семилучевой. Это позволило прослушивать контрольные сигналы как своеобразную трель учащенно следующих друг за другом точечных сигналов, отчетливо выделяющихся на фоне всех остальных сигналов и пауз. Такое решение оказалось

настолько удачным, что во всех последующих моделях гребенчатого радиозонда, вплоть до настоящего времени, контрольные

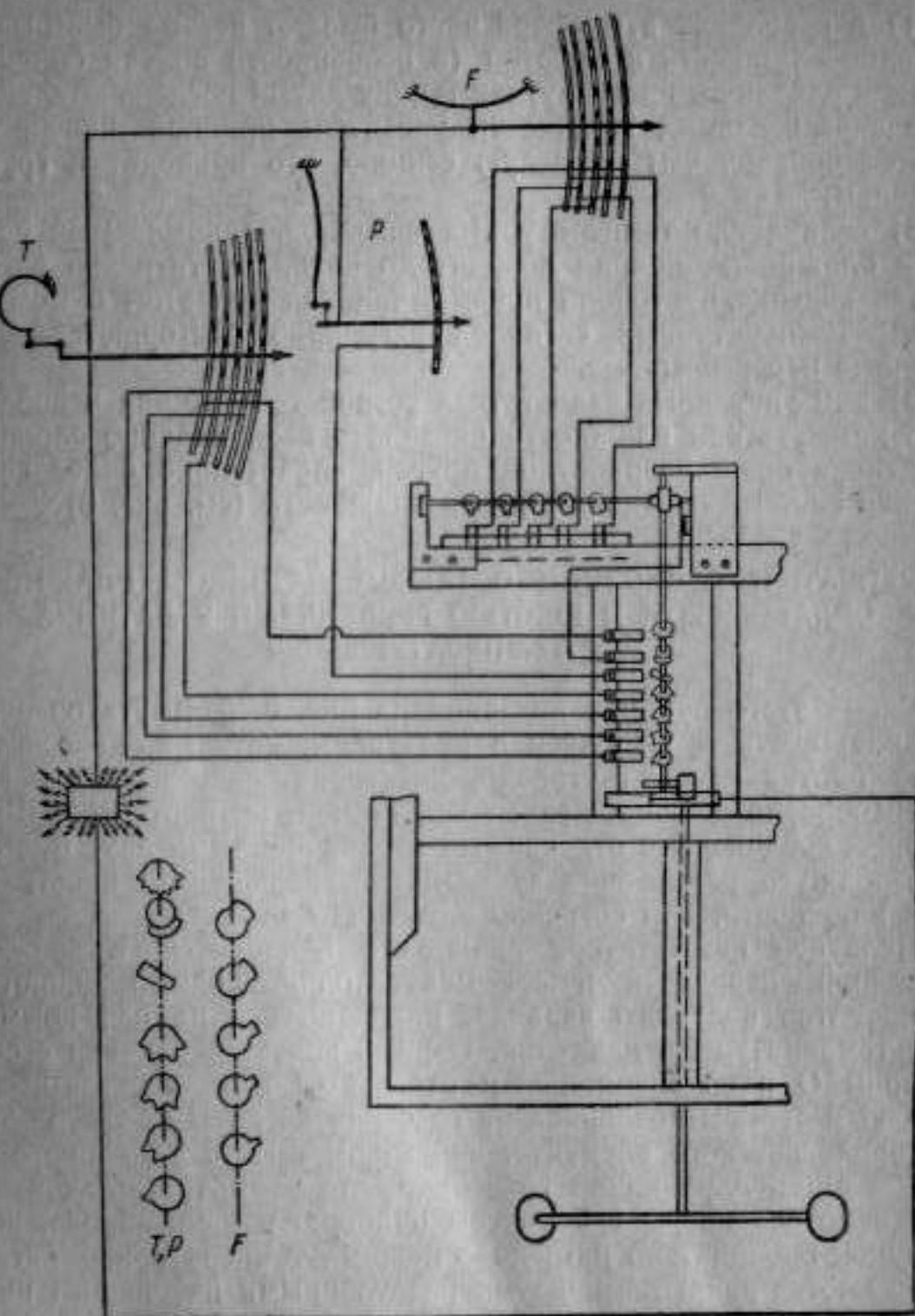


Рис. 7. Схема первого радиозонда с датчиком влажности.

сигналы температуры всегда создаются звездочкой с семью выступами или лучами, расположенными на вдвое меньших угловых расстояниях друг от друга, чем лучи звездочек сигналов температуры. Это обеспечивает их четкое различие.

Примененный способ телеметрии влажности имел следующие недостатки, выявленные в процессе опытных выпусков прибора:

1) в свободной атмосфере часто бывают весьма быстрые изменения влажности с высотой (в особенности вблизи облаков); в таких случаях в промежутках между двумя последовательными передачами данных влажности указатель прибора иногда смещается больше, чем на целую секцию, это приводит к грубым ошибкам;

2) если число температурных сигналов, закрываемых сигналами влажности, подряд доходит до пяти, ощущительно затрудняется ведение протокола приема, так как при этом в моменты смены температурных сигналов регулярно повторяются вынужденные перерывы;

3) при указанных недостатках устройство датчика и добавочного коммутатора влажности оказалось неоправданно сложным.

Вскоре была разработана другая, значительно более совершенная система передачи данных влажности (см. рис. 8).

ГРЕБЕНЧАТЫЙ РАДИОЗОНД С НОВЫМ ДАТЧИКОМ ВЛАЖНОСТИ, ОБЛАКОМЕРОМ И ШЕСТЬЮ ГРЕБЕНКАМИ У ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ

Схема этого прибора показана на рис. 8. Коммутатор сигналов влажности *A* выполнен с ползунком, который, двигаясь по кругу против часовой стрелки, последовательно касается 13-ти кольцеобразно расположенных пластинчатых контактов, 10 из которых соединены с отдельными изолированными друг от друга и от корпуса радиозонда зубцами, составляющими шкалу датчика влажности, или гребенку влажности *B*.

Ползунок коммутатора влажности приводится в движение червячной передачей и совершает один полный оборот за 20 оборотов ведущего червяка, находящегося на оси коммутатора температуры и давления. Первый контакт соединен с облакомером *O* и со специальным отдельным металлическим «контрольным зубцом давления» на гребенчатой шкале датчика этого метеорологического элемента, вклеенном вместо удаленного там 9-го зубца целлюлоидной гребенки. Второй и третий контакты постоянно соединены с корпусом прибора, и каждый раз, когда ползунок проходит по ним, два смежных температурных сигнала оказываются закрытыми двумя разделенными небольшим интервалом протяжными «позвынными влажности». Через некоторое число переданных после этого сигналов температуры и давления снова будет услышан протяжный сигнал, который может быть назван *отсчетным*. Появление этого сигнала обусловлено тем, что ползунок коммутатора влажности дошел до контакта, с которым через соответствующий зубец гребенки влажности в данный момент соединен находящийся на этом зубце металлический указа-

тель гигрометра. При таком устройстве число сигналов температуры и давления, переданных в промежутке между двойным и одинарным протяжными сигналами, точно определяет номер того зубца, на котором находится указатель гигрометра.

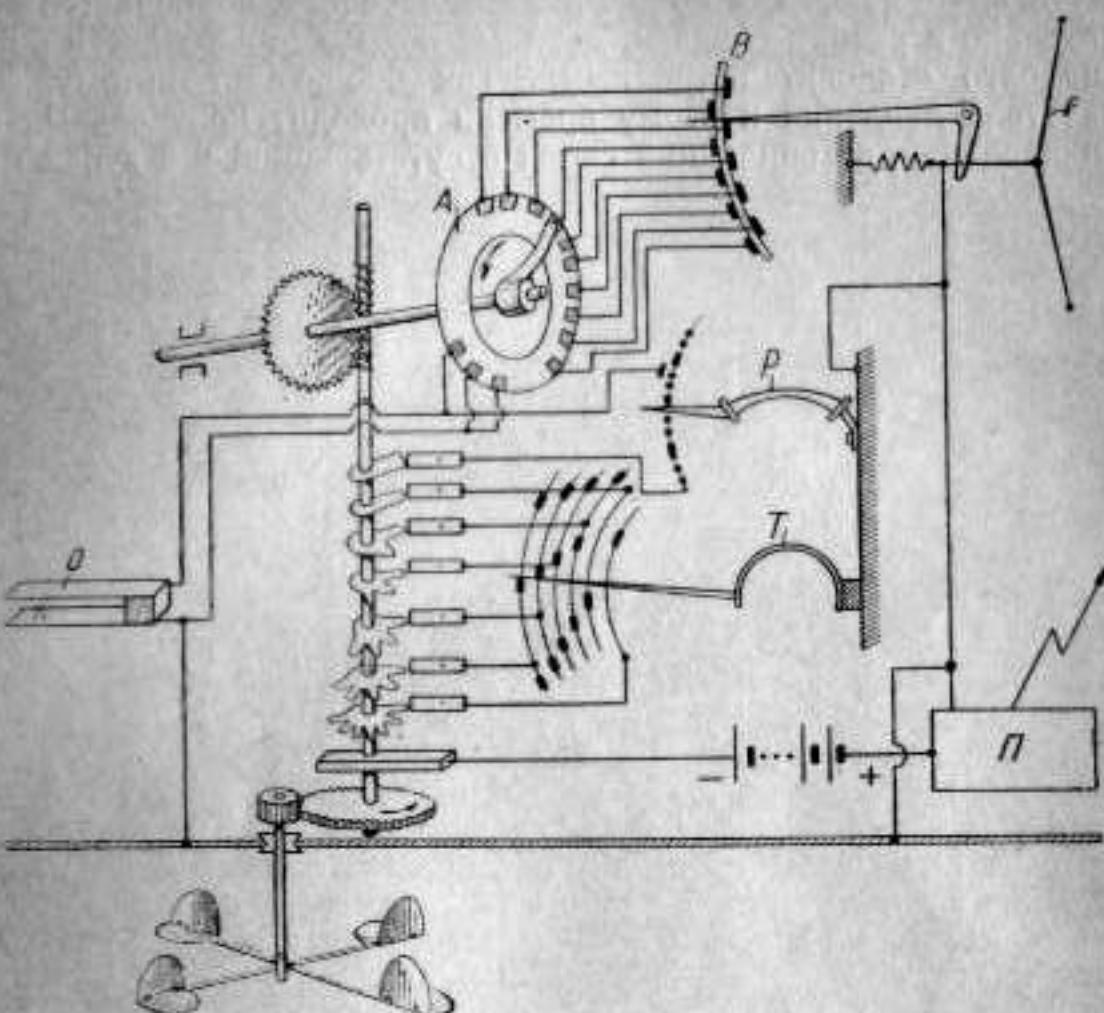


Рис. 8. Схема радиозонда с новым вариантом датчика влажности и облакометром.
P — радиопередатчик.

Облакомер *O* образован двумя параллельными, горизонтально расположенными биметаллическими пластинками, верхняя из которых зачернена, изолирована от корпуса и соединена с первым контактом коммутатора влажности радиозонда. В обе пластины на их концах вклепано по одному контакту, которые соприкасаются друг с другом при всех возможных изменениях температуры окружающего воздуха, так как деформации пластин одинаковы. К позывным влажности при этом добавляется еще один протяжный начальный сигнал, и, таким образом, из-за наличия облакомера позывные звучат трижды подряд.

Облакомер на радиозонде монтировался так, чтобы он выступал над кожухом прибора сверху. От вентиляции его предохранял стеклянный полусферический колпак.

Как только радиозонд поднимался выше слоя облаков, на зачерненную пластинку попадали лучи солнца, и она, изгибаясь сильнее нижней, нарушала контакт, вследствие чего позывные влажности становились вместо тройных двойными.

На высоте порядка 8000 м, где облачность наблюдается сравнительно в редких случаях, двойные позывные влажности вновь ненадолго становятся тройными. Так происходит потому, что указатель давления к этому времени проходит контрольный зубец давления, замещающий собой отсутствующий 9-й зубец цеп-

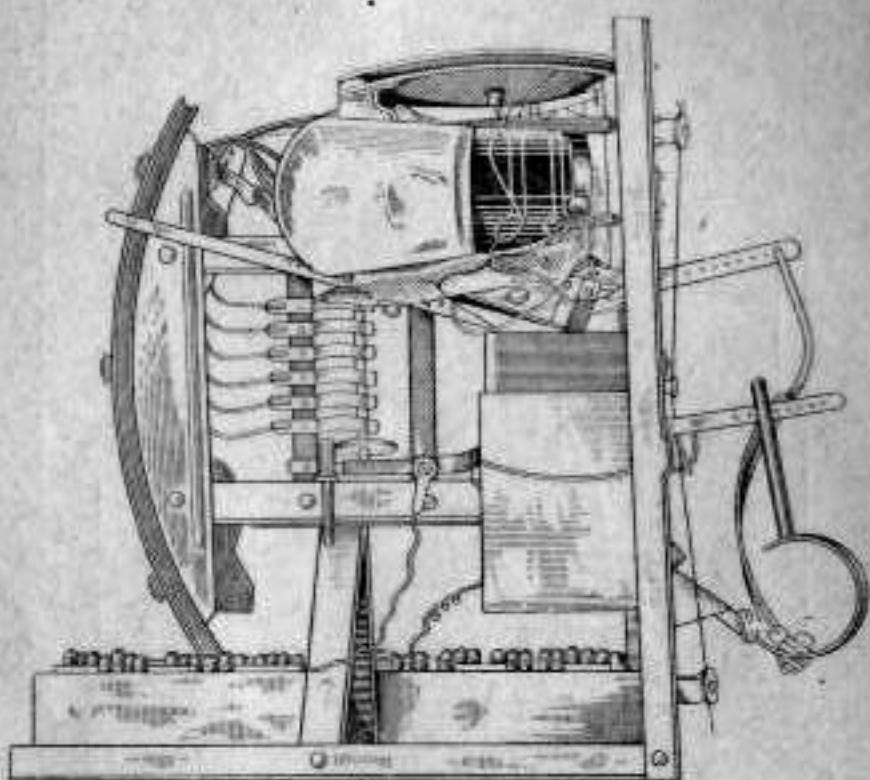


Рис. 9. Первый радиозонд, изготовленный заводским способом.

лулоидной гребенки. Контрольный сигнал давления повысил гарантию надежности расшифровки остальных, принятых от радиозонда сигналов давления для тех случаев, когда радиоприему сопутствовали сильные помехи.

Описанный здесь способ измерения влажности впоследствии привился и применяется в гребенчатом радиозонде до настоящего времени. От применения биметаллического облакомера после многих испытательных выпусков отказались, так как его действие не было достаточно надежным. Отказались и от применения гребенчатой шкалы датчика температуры, в каждой секции которой в последующих моделях было не 4, а 5 зубцов (пятым сигналом была «пятерка температуры», создаваемая лишней гребенкой и добавочной звездочкой с пятью лучами в коммутаторе температуры и давления). Выяснилось, что подобное усложне-

ние устройства датчика температуры не прибавляет радиозонду никаких-либо новых достоинств и, в то же время несколько затрудняет прием температурных сигналов.

Для изготовления контактных частей радиозонда в основном применялось чистое серебро, однако для части деталей применялось и поверхностное серебрение. Для изготовления кожуха прибора постепенно стали пользоваться вместо целлулоида окрашенным в белый цвет картоном, причем и это не только не ухудшило, но даже несколько повысило качество радиозондирования.

Возрастающая потребность в радиозондах привела к организации в 1934 г. массового производства их на Ленинградском заводе «Гидрогеоприбор». В конструкцию прибора были внесены многие изменения. Радиозонды изготавливали мелкими сериями, по несколько сот штук; приборы каждой новой серии почти всегда имели какие-нибудь изменения, отличающие их от ранее выпущенных. До 1936 г. заводские радиозонды не имели еще гигрометра, однако в конце этого года часть приборов была изготовлена с датчиком влажности. Начиная с 1937 г., все радиозонды были снабжены этим, третьим, датчиком и имели контрольный зубец в гребенке давления. Общий вид радиозонда выпуска 1936-37 г. дает рис. 9. Внизу устанавливались две батареи анода, накальная батарейка прикреплялась выше их на специальной полочке. Еще выше монтировался радиопередатчик. Биметалл, коробка Бурдона и пучок волос гигрометра при вставлении прибора в его картонный кожух оказывались заключенными в защитную шахту, ослабляющую влияние прямой солнечной радиации при выпусках прибора в дневные часы.

РАДИОЗОНД РЗ-035

В сравнении с предыдущим вариантом прибора в окончательный вариант модели РЗ-035 были введены следующие изменения:

- 1) ширина прибора уменьшена на 40%;
- 2) в комплект частей прибора введена добавочная картонная защита (шахта) от влияния прямой солнечной радиации;
- 3) в радиопередатчике, конструкция которого была существенно переработана, органом настройки взамен воздушного конденсатора был сделан более надежный полупеременный слюдянный конденсатор (триммер).

Гребенки и указатели датчиков делались из нейзильбера, гальванически покрываемого серебром. С 1939 г. серебрение деталей было заменено никелированием.

Значительное уменьшение ширины прибора сделалось возможным после того, как была изменена конструкция анодных батареек. Их стали делать в виде секций в коробочках, содержащих по 15 последовательно соединенных элементов, как и современные анодные батарейки типа РЗА-21.

РАДИОЗОНД РЗ-043

Начиная с 1944 г., модель РЗ-043 применялась на сети станций около 5 лет. Разработка ее была выполнена на Свердловском заводе гидрометприборов. Общий вид радиозонда представлен на рис. 10. Основное его отличие от предыдущей модели состоит в реконструкции узла влажности.

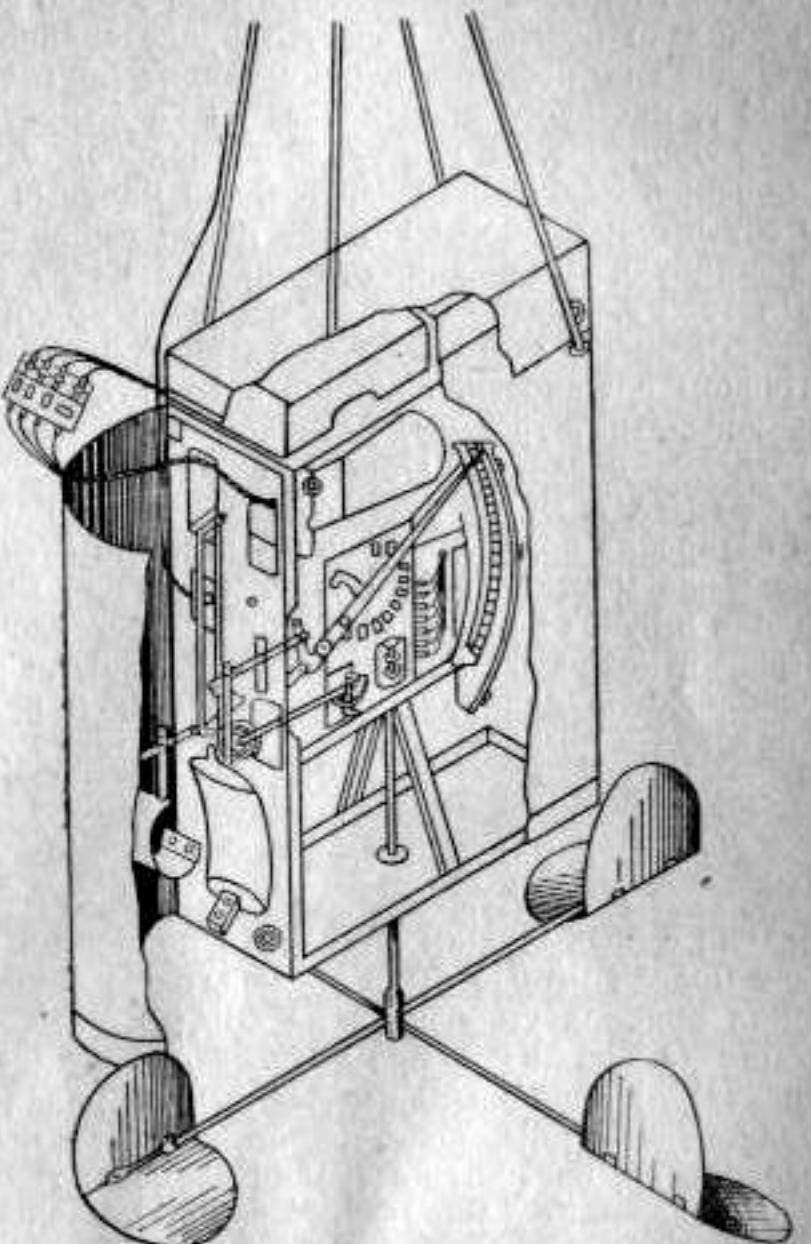


Рис. 10. Радиозонд РЗ-043.

В датчиках влажности РЗ-035 и всех прежних моделях гребенчатого радиозонда применялся пучок, состоящий из 90—120 отдельных волосков.

В радиозонде РЗ-043 применен датчик влажности, содержащий в себе всего лишь около десятка волосков, что позволяет одной косой волос обеспечить выпуск около десяти тысяч радио-

зондов. Кроме того, датчик влажности заметно меньшей толщины быстрее реагирует на изменения влажности.

Существенно улучшена в этой модели и конструкция коммутатора влажности вместе с гребенкой влажности, составившего теперь более простой в изготовлении и монтаже самостоятельный узел.

Батареи питания радиопередатчика были вынесены на верхнюю крышку кожуха, что создало значительные удобства при подготовке радиозондов к выпуску. Для подключения батареи к радиопередатчику в конструкцию введен четырехпроводный вилочный разъем.

РАДИОЗОНД РЗ-043М

Данная модель (см. рис. 11б) применялась на сети метеорологических станций в 1949—1951 гг. От предыдущей она отличается следующими особенностями:

1) реконструирована гребенчатая шкала датчика давления, целлулоидная гребенка которой заменена на изолированную от корпуса металлическую гребенку. Это устранило необходимость подпиливать контактные зубцы гребенок у длительно хранящихся радиозондов, вызывающуюся усыханием целлулоидных зубцов;

2) в рычажных передачах от биметалла и барометрической коробки к их указателям применены не шарнирные, а полусвободные опорные сочленения при помощи специальных тяг, имеющих продольные прорези. При прежней, шарнирной конструкции рычажных передач во время регулировки радиозонда перед выпуском и биметалл, и барокоробка подвергались сильным принудительным деформациям, производимым для проверки легкости скольжения указателей по их контактным шкалам. Новая конструкция датчиков избавила биметалл и барокоробку от возникающих при этом вредных напряжений, так как указатели не привязаны к паводкам чувствительных элементов, а только опираются на них с помощью пружинок, выбирающих люфт.

Сравнительно сложная методика введения температурных поправок в измеряемые значения давления, а также стремление применить более однородные, чем коробки Бурдона, чувствительные элементы давления в виде мембранных анероидных коробок вызвали разработку следующей модели, которая в настоящее время и используется.

РАДИОЗОНД РЗ-049

Самым существенным отличием модели РЗ-049 от всех предыдущих является применение в ней значительно усовершенствованного датчика давления, в устройство которого был введен специальный термокомпенсатор. Благодаря присутствию термокомпенсатора чувствительный элемент давления (барокоробку)

оказалось возможным поместить внутри прибора, что сделало шахту радиозонда лучше вентилируемой и повысило степень использования общего объема внутри кожуха.

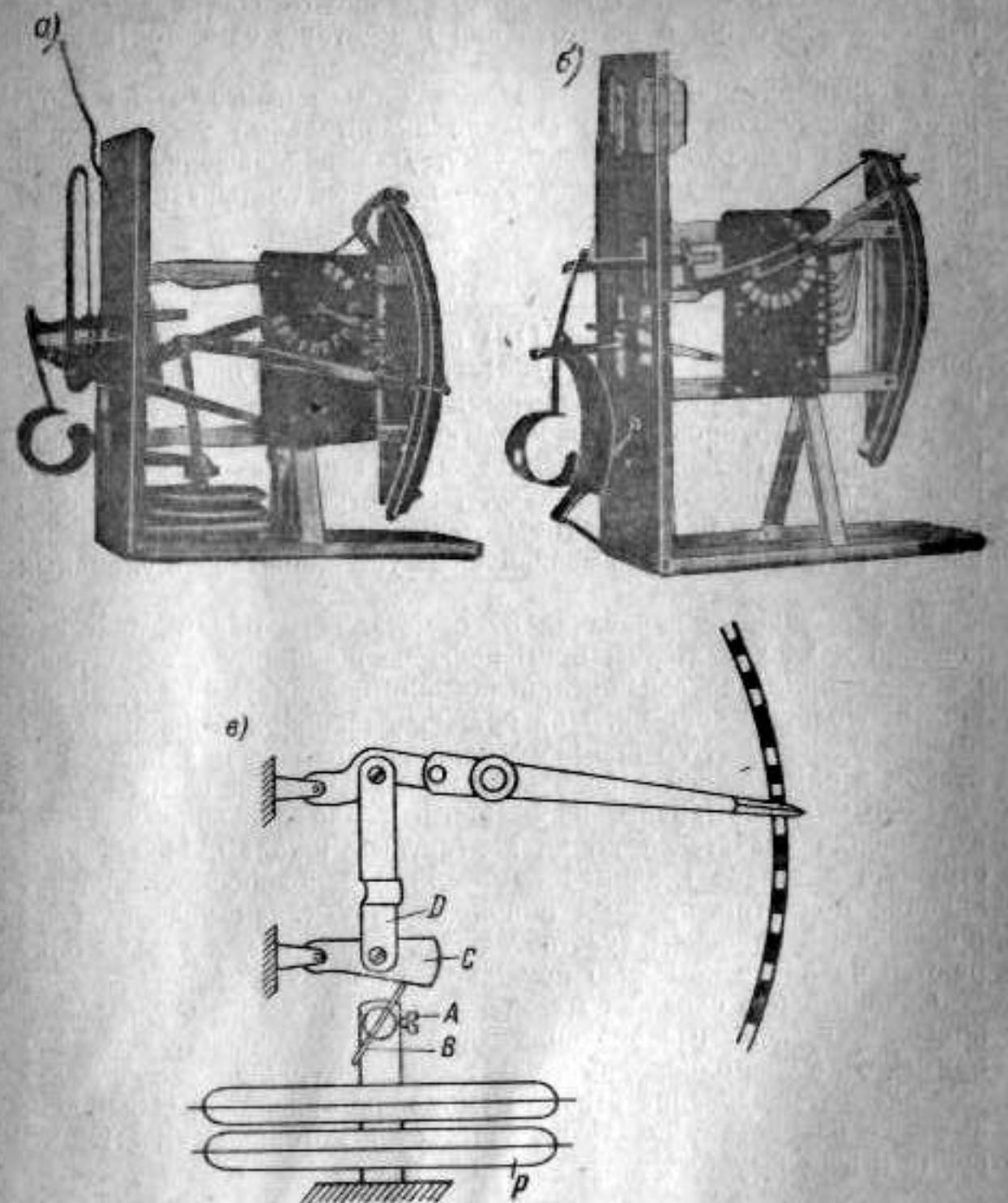


Рис. 11. Радиозонды.
а — РЗ-049, б — РЗ-043М без кожухов, в — термокомпенсатор.

На рис. 11а показан прибор РЗ-049 без кожуха, а на рис. 11б для сравнения РЗ-043М. Новый чувствительный элемент для измерений давления состоит из двух, последовательно соединенных

между собой мембранных анероидных коробок, смонтированных на добавочном жестком кронштейне в нижней части радиозонда. Указатели давления и температуры снабжены балансирующими грузиками, устраняющими искажение значений этих измеряемых величин при вертикальных рывках.

В отличие от всех ранее выпускаемых радиозондов в модели РЗ-049 все оси указателей имеют концы, сделанные не в виде цапф, а в виде острий, что значительно уменьшило трение.

Устройство примененного здесь термокомпенсатора показано на рис. 11в. На штоке барокоробок Р, движения которого совершаются в вертикальном направлении, с помощью регулируемого шарнира А укреплена биметаллическая пластиночка В, на ребро которой опирается подвижный сектор С. Сектор С с помощью фигурной тяги D управляет положением указателя на гребенчатой шкале давления.

Действие компенсатора состоит в том, что точка соприкосновения биметалла и сектора при изменениях температуры окружающего воздуха перемещается вдоль нижней кромки сектора вследствие деформаций биметалла, чем и осуществляется компенсация обычно наблюдаемого при этом изменения чувствительности барокоробок. При понижении температуры упругость барокоробки увеличивается, вследствие этого чувствительность ее уменьшается. Поэтому биметалл компенсатора ориентирован таким образом, чтобы с понижением температуры точка его соприкосновения с сектором смешалась влево, вследствие чего уменьшение чувствительности барокоробок компенсируется увеличением передаточного числа механизма указателя. Помимо указанного изменения передаточного числа, биметалл компенсатора при своих деформациях осуществляет еще и прямое воздействие на положение указателя давления в зависимости от того, под каким углом в каждый данный момент нижняя кромка сектора встречается с плоскостью биметалла. Таким образом, примененный в модели РЗ-049 термокомпенсатор при всей простоте своего устройства выполняет довольно сложные функции по компенсации изменений чувствительности и одновременно с этим по компенсации изменений положения указателя, т. е. является двойным компенсатором. Применение описанного термокомпенсатора избавило от необходимости вводить поправки на температуру в данные давления, упростило тарирование радиозонда и ускорило получение результатов зондирования, которые к тому же стали более точными.

В целях улучшения защиты от солнечной радиации в приборе РЗ-049 применен постоянный добавочный экран, окружающий биметалл датчика температуры.

Из других особенностей, которыми РЗ-049 отличается от предшествующих приборов, могут быть указаны следующие:

1) гребенчатая шкала давления составлена из трех металлических гребенок вместо двух. Третья гребенка несет на себе три

контрольных зубца, заменяющих отсутствующие 5, 9 и 15-й зубцы второй гребенки (которая ни с чем не соединена, так как в свое время была введена в конструкцию РЗ-043М взамен гребенки из целлулоида);

2) реконструирована крыльчатка и ее редуктор;

3) радиопередатчик вынесен за пределы кожуха радиозонда и выполняется в отдельной упаковке вместе с батареями, устанавливаемой на радиозонде сверху в виде радиоблока;

4) крепление прибора в кожухе сделано более удобным и надежным;

5) общие габариты прибора уменьшены при сохранении в полной неприкосновенности основных размеров всех его контактных шкал и указателей. Уменьшение габаритов прибора заметно повысило его жесткость.

Полетный вес прибора РЗ-049 снижен до 1000 г.

На этой модели заканчивается модернизация гребенчатого радиозонда, и в дальнейшем появляются приборы другого типа. Развитие же самого метода пошло по линии использования радиозондов для определения других параметров свободной атмосферы, а также по пути применения их в комплексе с радиолокационной техникой. Так, например, летящий радиозонд является весьма удобным объектом для теодолитных наблюдений¹.

С 1934 г. была начата систематическая работа над созданием методики и аппаратуры для определения положения радиозондов в пространстве с помощью радиопеленгования. Практическая важность этих работ велика, так как пеленгация устранила все ограничения, связанные с облачностью, а ветровые данные могут получаться систематически и бесперебойно параллельно с данными температурного зондирования.

В 1937 г. угловая точность определения направления (азимута), в котором находится летящий радиозонд, была доведена до 1°, что позволяло считать методику определения заоблачных ветровых данных разработанной до степени ее практической годности. В 1943 г. эти наблюдения упразднены, потому что к этому времени в области аэрологических наблюдений в Советском Союзе стало широко использоваться новое, весьма удобное в практическом отношении средство — радиолокация.

С 1950 г. в практике радиозондирования стал использоваться совершенно новый тип радиозондового передатчика, действующий в диапазоне ультракоротких волн и создающий не непрерывное, а импульсное излучение. Для того чтобы радиозонд можно

¹ По данным таких наблюдений может быть построена истинная траектория полета радиозонда и вычислены направление и скорость ветра на всех проходимых прибором высотах. Ветровые наблюдения такого рода более точны, чем наблюдения с помощью шаров-пилотов, поскольку по сигналам радиозонда можно получить достаточно достоверные данные о высоте прибора, в то время как при шаропилотных наблюдениях сведения о высотах могут быть получены только лишь путем расчетов.

было выпускать, смотря по обстоятельствам, с радиопередатчиками коротковолнового или ультракоротковолнового типа, их конструкция была оформлена в виде полностью автономных радиоблоков. Радиоблок представляет собой радиопередатчик и батареи питания, заключенные в отдельной закрытой картонной коробочке, размеры которой позволяют удобно прикреплять ее поверх радиозонда при подготовке прибора к выпуску.

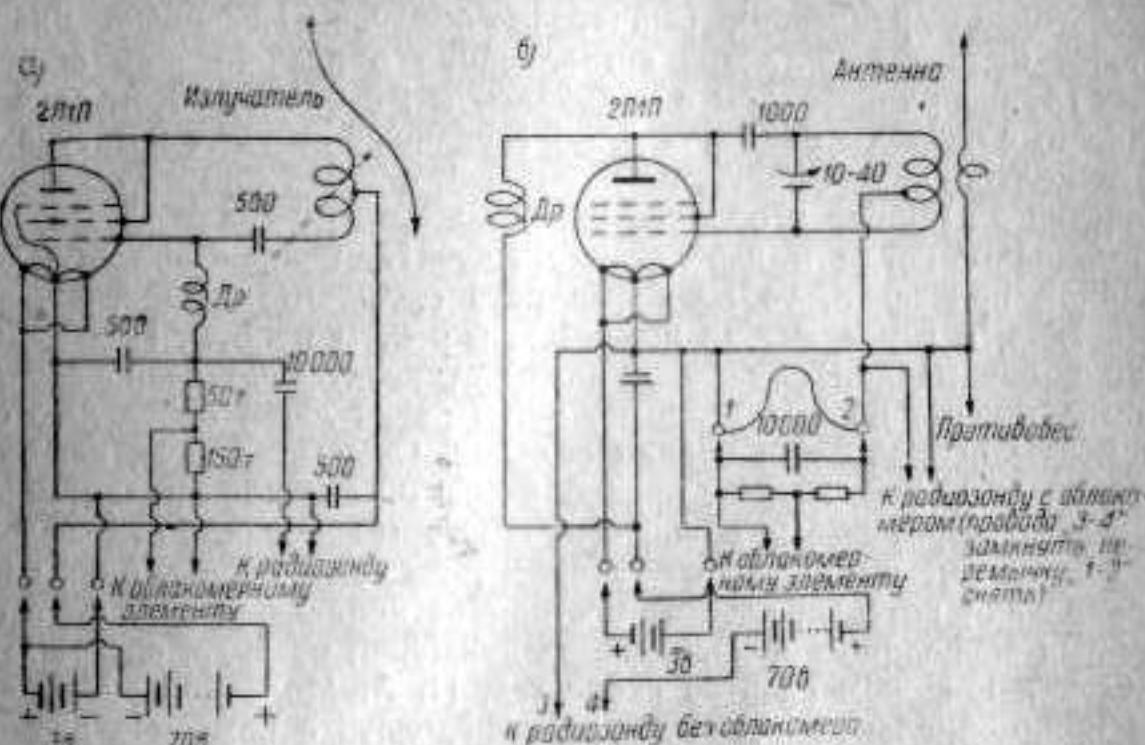


Рис. 12. Схема пеленгуемого ультракоротковолнового радиозондового передатчика.
а — PRB-051, б — коротковолнового передатчика RB-051A.

На рис. 12 приведены принципиальные схемы передатчиков PRB-051 (ультракоротковолнового) и RB-051A (коротковолнового), используемых в современном радиозондировании. Как можно видеть, в схемах обоих передатчиков предусмотрена и возможность подключения облакомера.

Ранее уже указывалось, что попытки использовать радиозондирование для определения высоты границ верхнего слоя облачности с помощью присоединяемых к радиозондам биметаллических облакомеров не дали удовлетворительных результатов и были оставлены.

В 1949 г. был разработан специальный облакомер, названный ОП-3, позволяющий во многих случаях правильно измерять высоту границ облачных слоев. Действие этого прибора основано на изменениях омического сопротивления особого влагочувствительного элемента, наблюдавшихся при попадании прибора в облако и при выходе из него. В облакомере ОП-3 применяется радиопередатчик, действующий в импульсном режиме с частотой

следования импульсов, управляемой величиной сопротивления влагочувствительного элемента.

Идею применения влагочувствительного элемента для определения высоты облаков оказалось возможным использовать и в радиозондовых передатчиках. При этом, если радиозонд снабжается передатчиком типа ПРБ-051 с облакометрией приставкой, его сигналы будут слышны в заметно повышенном тоне при попадании прибора в облака и тон сделается снова низким, как только радиозонд выйдет из облаков. Несколько иначе может быть осуществлена сигнализация о прохождении облачных границ радиозондом с радиоблоком РБ-051А. В этом случае основные сигналы радиозонда, образованные сериями незатухающих колебаний, не претерпевают никаких изменений от того, находится ли прибор в облаке, или вне его.

Однако, когда к передатчику РБ-051А подключена облакометрия приставка, то во время пауз он не прекращает своего действия, а переходит на импульсный режим работы. При наличии облакометрии паузы становятся тонально звучащими, причем по изменениям высоты звука легко определяются моменты прохождения границ облаков. Озвучение пауз, как показали опыты, не мешает приему основных сигналов радиозонда.

Следующим весьма важным параметром свободной атмосферы являются имеющиеся в ней турбулентные образования, одним из проявлений которых служит постоянное наличие узко локализованных восходящих и нисходящих движений воздуха, совершающихся в широком спектре скоростей. П. А. Молчанов указывал на принципиальную возможность определять с помощью радиозондов вертикальные движения воздуха в свободной атмосфере, однако эта возможность долгое время оставалась не реализованной. Лишь в 1945 г. научным сотрудником Центральной аэрологической обсерватории П. Ф. Зайчиковым были разработаны теория и методика подобных измерений и проведены наблюдения.

В методике Зайчикова используется то обстоятельство, что при наличии восходящих потоков на пути радиозонда его крыльчатка замедляет свое вращение, а при встречающихся нисходящих течениях, наоборот, вращается ускоренно. Количественная оценка всех неравномерностей вращения крыльчатки поднимающегося радиозонда, которая может быть легко осуществлена путем простого подсчета числа передаваемых в одну минуту или в меньший отрезок времени температурных сигналов, позволяет составить правильное представление о степени турбулентности атмосферы во время зондирования.

Таким образом, со временем в радиозондировании были изысканы многие возможности повышения эффективности использования каждого выпущенного в полет прибора, которые, однако, пока не всегда еще используются. Продолжение работ в области усовершенствования радиозондов и методов радиозондирования является одной из важных задач современной аэробиологии.

Наряду с усовершенствованием методики радиозондирования с помощью гребенчатых сетевых приборов, начиная с 1935 г., в СССР приступили к разработкам новых конструкций радиозондов. Ниже приводятся краткие описания некоторых из этих разработок, представляющих наибольший интерес с принципиальной и технической сторон.

ГРЕБЕНЧАТЫЙ РАДИОЗОНД С ТЕРМОМЕТРОМ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Схема данного прибора представлена на рис. 13. Вспомогательный биметалл t_1 , по достижении радиозондом стратосферы

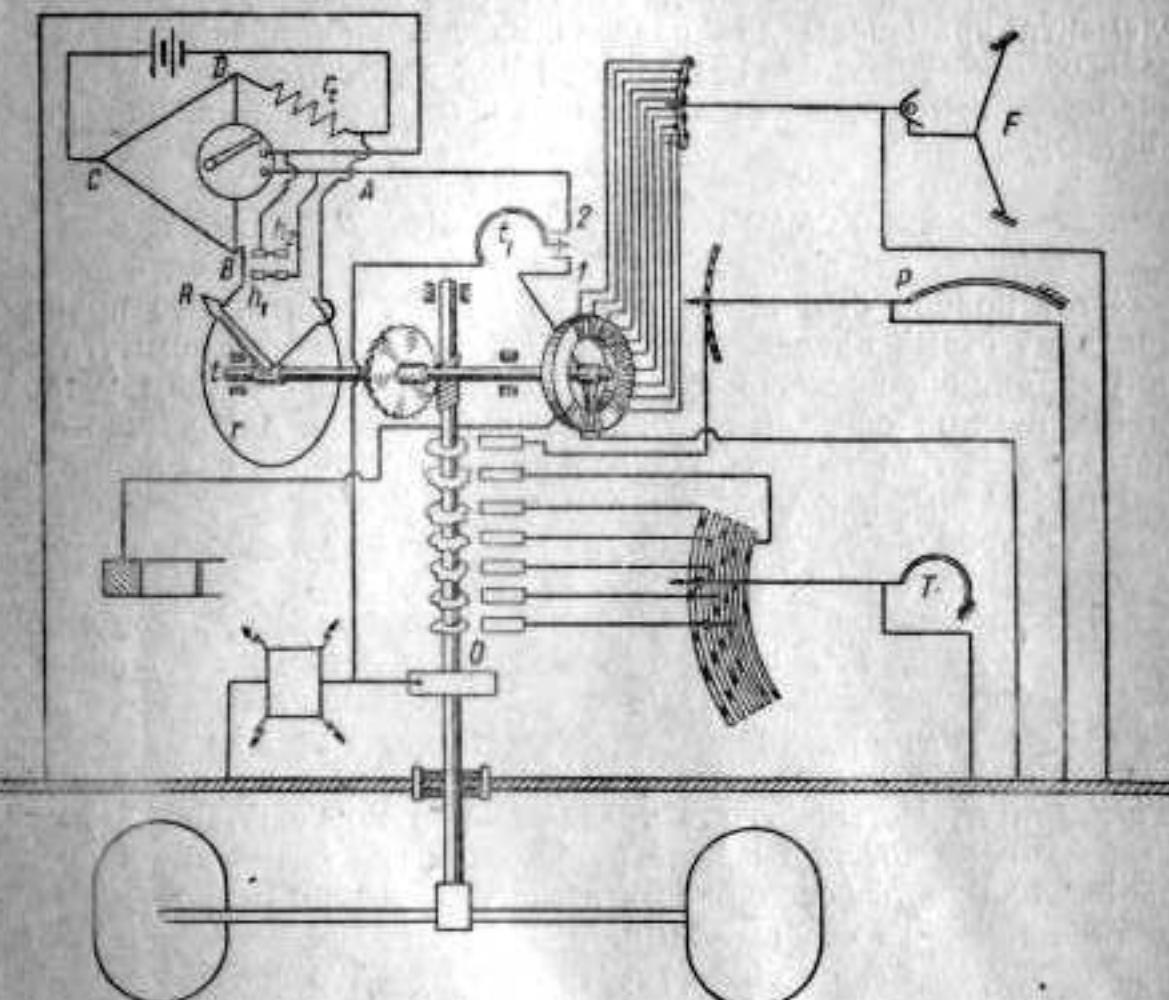


Рис. 13. Схема гребенчатого радиозонда с термометром сопротивления.

размыкает контакт 1 и замыкает контакт 2, благодаря чему коммутатор влажности отключается от схемы и вводится в действие ползунок R. Касаясь контактов h_2 и h_1 , этот ползунок создает сигналы начала отсчета показаний термометра сопротивления, после чего, скользя далее по реохорду r , уравновешивает в какой-то момент мостиковую схему, имеющую в качестве плеча r , платиновый чувствительный элемент термометра сопротивления. В момент равновесия мостика стрелка гальванометра (вернее,

гальванометрического реле), переходя на соответствующие контакты, создаст отсчетный сигнал, закрывающий очередные температурные сигналы до тех пор, пока ползунок R не закончит полного оборота.

Очевидно, что при таком способе телеметрирования всего может быть передано до 18 различных положений ползунка R на реохорде, так как хотя полный оборот этого ползунка совершается за 20 оборотов оси коммутатора температуры, 2 оборота используются для передачи сигналов начала отсчета.

Эта модель достаточно сложна и практического применения не получила, но она представляет интерес как первая схема радиозонда, в котором для одного и того же метеорологического элемента применены два раздельных датчика, действующих на разных принципах, причем один из них рассчитывается на узкий диапазон изменений измеряемой величины, с повышенной точностью.

КОММУТАТОРНЫЙ РАДИОЗОНД

Этот прибор был предложен Б. М. Лебедевым. Его принципиальная схема представлена на рис. 14. Сущность коммутаторного принципа заключается в выполнении шифрующим устройством, помимо основных функций, роли шкалы для каждого из датчиков. В гребенчатом радиозонде коммутатор и шкалы датчиков раздельны, в коммутаторном они совмещены. Такое совмещение позволило существенно упростить конструкцию радиозонда и сократить его размеры.

Простота радиозонда видна по принципиальной схеме прибора. Три диска T , F и P , по окружности которых всерообразно выступают эластичные металлические полоски, выполняют роли указателей датчиков соответственно температуры, влажности и давления. На валике AB имеются системы звездочек $abcd$, $a'b'c'd'$ и E . Четырех- или трехчашечная крыльчатка на левом конце валика CD при полете радиозонда обеспечивает вращение обоих валиков, в совокупности являющихся шифрующим устройством прибора и его шкалами.

Звездочки $abcd$ ($a'b'c'd'$) устроены подобно звездочкам коммутатора температуры гребенчатого радиозонда и также создают точечные сигналы, когда их лучи касаются гибких полосок диска T . В зависимости от поворота этого диска гибкие полоски устанавливаются напротив однолучевой, двухлучевой и т. д. звездочек, вследствие чего будут передаваться сигналы с числом точек от одной до четырех.

Звездочки $a'b'c'd'$ расположены на валике AB так, что их прикосновения к гибким полоскам диска F совершаются в течение другой доли каждого оборота валика AB , а звездочка E (вернее, сектор) ориентирована так, что, прикасаясь при своем вращении к эластичным полоскам диска P , создает сигналы — тире.

начало которых всегда совпадает с последней точкой любого из температурных сигналов, т. е. построение сигналов температуры и давления сделано в точности таким же, как и в обычном гребенчатом радиозонде.

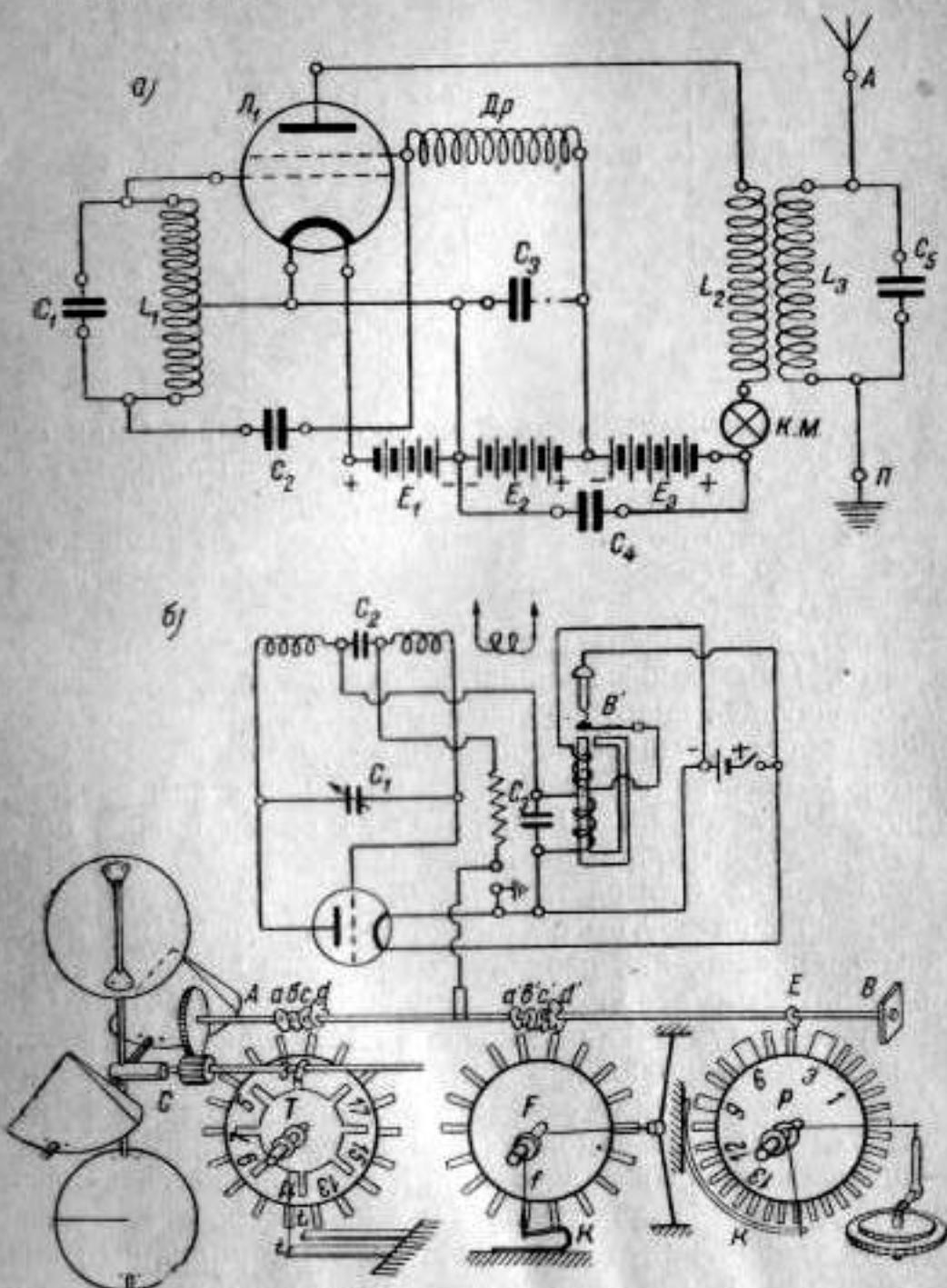


Рис. 14. Коммутаторный радиозонд.
а — схема радиопередатчика с батарейным питанием, б — полная схема прибора с питанием от зуммер-трансформатора.

Таким образом, сигналы всех датчиков распределены внутри одного периода оборота валика AB и передаются без взаимных помех в такой последовательности: температура, давление, влажность, небольшая пауза, снова температура и т. д.

Сигнализация о данных влажности в коммутаторном радиозонде, как можно видеть, отличается от того, что было известно по гребенчатому радиозонду. Звездочки $a'b'c'd'$ имеют лучи различной ширины, взаимное расположение которых поясняется табл. 1.

Таблица 1

Звездочки влажности	Количество лучей		
	широких	двойной ширины	узких
a'	1	—	—
b'	1	—	1
c'	1	—	2
d'	—	1	2

Сигналы влажности всегда начинаются с тире. Один оборот валика AB совершается за 3—4 секунды, и если принять во внимание, что волосной гигрометр обладает значительной инерцией, а также учесть, что используемых гибких полосок на диске F будет немного, то надобности вводить контрольные сигналы по этому элементу нет.

Наоборот, для температурных сигналов контрольные сигналы необходимы. Они и обеспечиваются однолучевой звездочкой на оси CD , создающей короткие точечные сигналы прикосновениями к гибким полоскам малого добавочного диска, расположенного на некотором расстоянии от диска T на одной с ним оси.

Валик CD совершает 20 оборотов за время одного оборота валика AB , и, таким образом, появление на фоне остальных сигналов радиозонда отрывистых точек, учащенно и непрерывно следующих друг за другом в течение некоторого времени, может быть зафиксировано, как передача очередного контрольного сигнала температуры. Расположение гибких полосок на малом добавочном диске датчика температуры сделано таким, чтобы последовательность появления контрольных сигналов среди основных сигналов температуры была подобна применяемой в гребенчатом радиозонде. Возможно, более полное приближение системы сигналов нового радиозонда к привычной сигнализации гребенчатого прибора диктовалось желанием избежать необходимости переучивания ставшего уже весьма обширным штата сетевых радиозондистов-операторов, что, конечно, следует признать вполне рациональным.

Прежде чем была создана конструкция, способная выдержать испытание, было построено до пятнадцати вариантов коммутаторного радиозонда.

Вес различных моделей колеблется в пределах от 250 до 325 г.

Изобретение Б. М. Лебедевым коммутаторного принципа явилось весьма существенным вкладом в развитие радиозондирова-

ния. Достоинства этого принципа заключаются в том, что чувствительные элементы всех датчиков в значительной мере освобождены от нагрузки перемещения указателей по контактным шкалам, что позволило сделать их менее инерционными и более чувствительными. Позднее коммутаторный принцип был использован в конструкции радиозонда УРЗП (см. стр. 54), а также в нескольких системах зарубежных радиозондов. Несомненно, что и в будущих конструкциях радиозондов он еще может найти применение.

Разработанная модель радиозонда компактна и легка, все ее части доступны для свободного осмотра и регулировок, так как шахта с чувствительными элементами сделана открывающейся. Радиопередатчик прибора выполнен впервые в истории конструирования радиозондов вместе с батареями питания в виде совершенно самостоятельного радиоблока, подключаемого к прибору перед выпуском. Автономность радиоблока позволила выполнить его конструкцию в нескольких вариантах, при одном из которых вместо анодной батареи было предложено применять миниатюрную катушку Румкорфа — зуммер-трансформатор. Конструкция сделала прибор пригодным для массового изготовления.

Из недостатков коммутаторного радиозонда самым существенным является отсутствие фиксации положений дисков-указателей во время передачи сигналов по каждому метеорологическому элементу. Легкая подвижность дисков приводила к тому, что моменты смены сигналов при испытательных выпусках прибора иногда отмечались неуверенно.

РАДИОЗОНД УРЗП¹ 1942 г.

Устройство радиозонда УРЗП поясняется рис. 15, где изображена принципиальная схема прибора (а), показано устройство его шифрующего механизма (б, г) и приведены схемы датчиков давления, температуры и влажности (в).

В рассматриваемом радиозонде используется коммутаторный принцип Б. М. Лебедева. Определение положений указателей датчиков и образование соответствующих сигналов совмещены в шифрующем механизме, основой которого является кодовый сектор А. Указатели датчиков соприкасаются с кодовым сектором, который служит для них шкалой только на время очередной передачи, оставаясь в остальное время совершенно свободными (см. рис. 15г). Это позволило проектировать чувствительные элементы датчиков УРЗП по температуре и влажности в форме весьма маломощных устройств и с малой инерционностью.

Кодовый сектор состоял из 100 металлических кодовых сегментов, по дуге которых выступами и углублениями были обра-

¹ УРЗП — универсальный радиозонд, поднимаемый.

зованы цифровые знаки азбуки Морзе от 00 на первом сегменте до 99 на последнем. Все сегменты были собраны вместе с изоляционными прокладками между ними в стопку и стянуты длинными сквозными шпильками с гайками на концах, причем немного выступающие прокладки образуют на боковой поверхности стопки 100 канавок. Дном каждой канавки являлся металл кодовых сегментов. Указатель каждого из датчиков заканчивался контактным острием, при вращении кодового сектора,

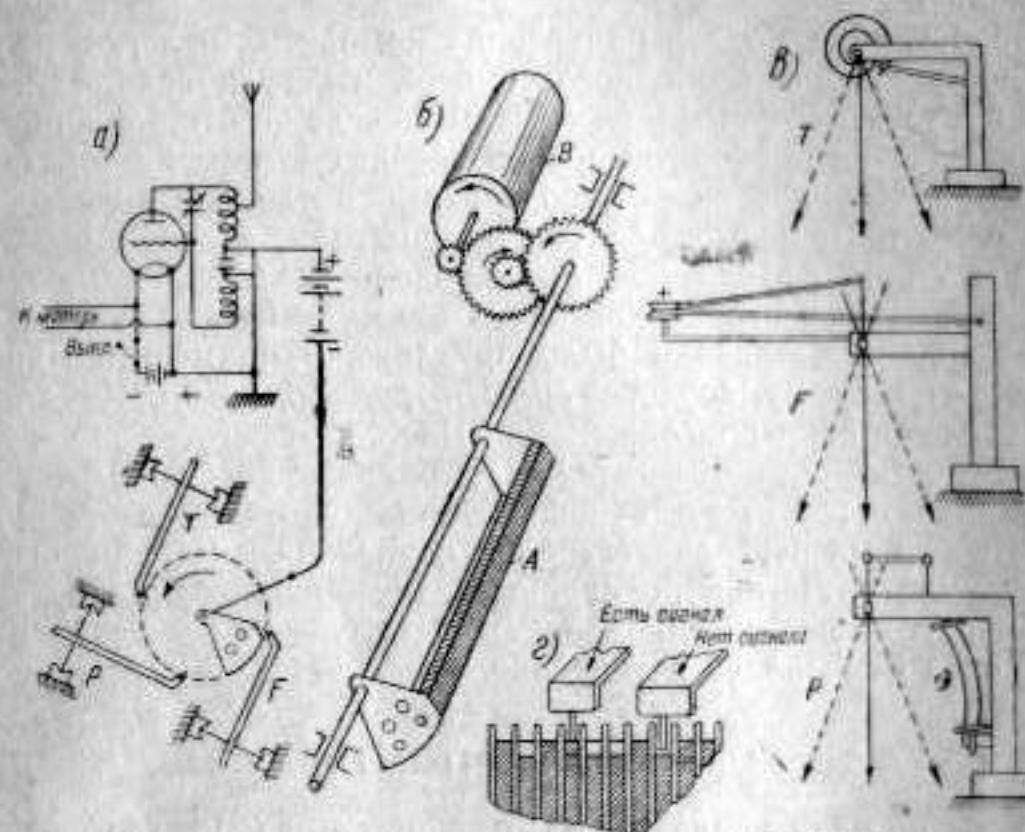


Рис. 15. Схемы и детали радиозонда УРЗП.

попадавшим в ту канавку, против которой оно оказывалось установленным действием соответствующего чувствительного элемента. Острие, скользя по выступам дна канавки (кодовым сегментам) и повисая над впадинами, обеспечивает передачу свойственной данной канавке пары цифр. Кодовый сектор *A* приводился во вращение миниатюрным электромотором *B*, питаемым от батареи накала радиопередатчика. Благодаря применению замедляющего редуктора один оборот кодового сектора совершался за 4 секунды. Цикл передачи содержит в себе односекундную паузу, после которой последовательно передавались три пары цифр, относящихся соответственно к температуре, давлению и влажности.

Радиозонд УРЗП явился единственным прибором, действующим с использованием только лишь одного кодового принципа телеметрии при строгой однозначности всех передаваемых сигналов. Это означает, что любая из измеряемых величин опре-

деляется полностью каждым из отдельно принятых сигналов, тогда как в приборах других систем (например, в гребенчатом или в коммутаторном радиозондах, а также в германском радиозонде Грава) обработка принятых сигналов возможна лишь при условии, что известна почти вся последовательность их изменений, происходивших с момента выпуска.

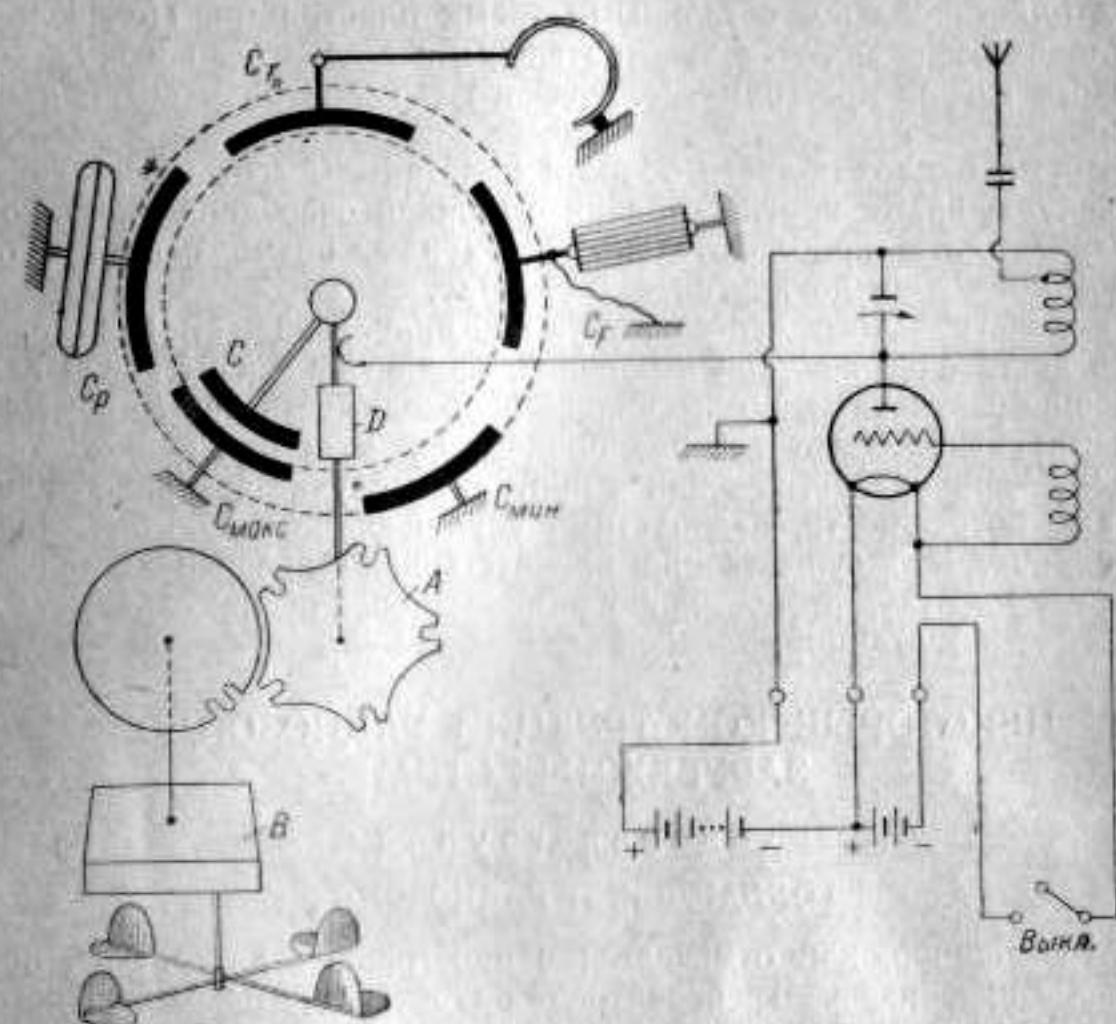


Рис. 16. Схема радиозонда «Волна».

A — Мальтийский крест, *B* — редуктор, *C* — пластины, *D* — изолатор.

Несомненное достоинство радиозонда УРЗП заключается в его кодовом принципе, основанном на азбуке Морзе, который обеспечивал прием передачи любым связистом на слух.

Прибор не нашел себе применения из-за сложности изготовления наборного кодового сектора. Однако совершенно очевидно, что ряд целесообразных идей, заложенных в его конструкции, может быть использован при конструировании радиозондов кодовой системы.

РАДИОЗОНД «ВОЛНА»

Радиозонд «Волна» (рис. 16) действует на основе высокочастотного принципа телеметрии. Механизм радиозонда, при-

водимый в действие крыльчаткой, обеспечивает скачкообразное перемещение конденсаторной пластины C по кругу с остановками напротив пяти других пластин, с каждой из которых пластина C образует конденсатор, подключенный к контуру радиопередатчика. Две из этих пластин неподвижны и создают с пластиной C максимальную и минимальную емкости, в пределах которых могут изменяться емкости измерительных конденсаторов, образуемых пластиной C с остальными тремя пластинами. Положения последних управляются чувствительными элементами в виде волосного гигрометра, биметаллического термометра и анероидной коробки.

Время одного полного оборота пластины C составляет около 25 секунд, время противостояния с каждой очередной пластиной конденсатора — приблизительно 4 секунды, время перехода от одной остановки до другой — 1 секунду.

Вследствие того что конструкция радиозонда «Волна» сделана достаточно жесткой и прочной, прибор при испытаниях дал хорошие результаты, но выявилась необходимость применять для приема сигналов тот же радиоприемник, с помощью которого прибор тарировался, так как в противном случае возникали случайные погрешности, недопустимо ухудшающие результаты зондирования. Это существенно препятствовало внедрению радиозонда «Волна» для постоянного использования на сети метеорологических станций.

НЕКОТОРЫЕ КОНСТРУКЦИИ РАДИОЗОНДОВ ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

Кодовая группа ГОЛЛАНДСКИЙ РАДИОЗОНД

Этот прибор, как отмечается в иностранной литературе, построен по образцу гребенчатого радиозонда, разработанного в СССР. В первоначальной его модели датчика влажности не было, а сигналы температуры и давления были такие же, как у гребенчатого радиозонда.

После 1937 г. конструкция прибора была изменена с добавлением в нее датчика влажности. Изменению подвергся также и код. На рис. 17а представлена схема метеорологической части прибора с шифрующим устройством, основной частью которого является кодовый цилиндр A из изоляционного материала с нанесенными на его поверхности металлическими полосками-контактами (на схеме цилиндр показан в развернутом виде).

Необходимые переключения осуществляются с помощью двух систем щеток, расположенных друг против друга, вдоль образующих цилиндра в его диаметральной плоскости. Сигналы в этом варианте прибора передаются в виде знаков азбуки Морзе посредством (контактных) шкал и указателей P , T , F .

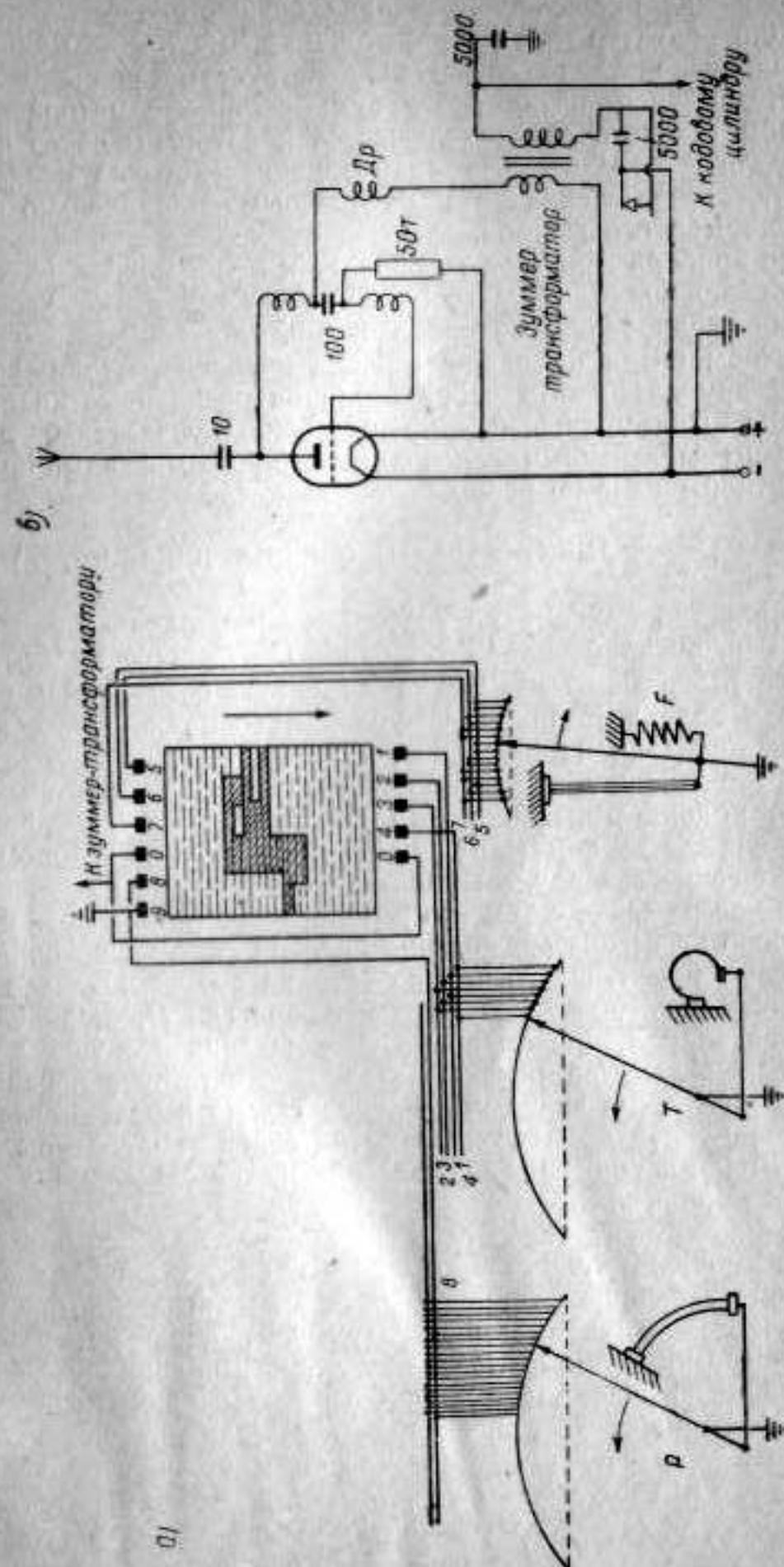


Рис. 17. Схема голландского радиозонда.

Вращение шифрующего валика осуществляется через понижающий редуктор от электромоторчика импульсного типа.

Радиопередатчик (рис. 17б) действует на волне 6 м и получает анодное питание от зуммер-трансформатора, первичная обмотка которого подключается к батареям через шифрующее устройство. Общее питание радиопередатчика и электромотора обеспечивается двумя, соединенными параллельно батареями карманного фонаря.

Вес прибора в полной готовности к полету 585 г. Контактные шкалы сделаны в виде дугообразных полосок, обмотанных серебряными изолированными проволоками, уложенными в один слой так, чтобы витки на рабочем ребре полоски лежали вплотную друг к другу. На этом ребре изоляция после намотки проволок счищена. Для уменьшения трения концы указателей датчиков снабжены маленькими серебряными роликами, катящимися по контактной шкале по ребру полоски.

РАДИОЗОНД ПИКАРА И ЛАРСЕНА (США, 1937 г.)

Устройство прибора поясняется схемой, приведенной на рис. 18а. Шифрующий валик, набранный из 26 пластмассовых шайб с выфрезированными по их окружности знаками азбуки Морзе в виде выступов и углублений (одна из шайб, несущая знак *a*, показана на рис. 18б), вращается со скоростью одного оборота в секунду от редукторного механизма, который с помощью ролика и перекинутого через него шнуря приводится в движение весом самого радиозонда. Шнурок, на котором радиозонд подвешен к шару, вытравляется из прибора на длину около 5 м за час. В связи с тем что в полете расстояние между шаром и прибором изменяется, антenna сделана свисающей вниз.

С осью шифрующего валика связана вращающаяся в 4 раза медленнее ось ползункового переключателя *P*, подключенного к передатчику *A*, причем время прохождения ползунком каждой из четырех ламелей переключателя соответствует передаче одного знака. Этими знаками последовательно передаются сигналы начала цикла, а затем показания датчиков температуры *T*, давления *P* и влажности *F*, вследствие чего полный цикл длится около 4 секунд.

Датчики имеют указатели, скользящие по однотипным контактным шкалам, состоящим из 25 равных по своим угловым размерам серебряных контактов. Одноименные контакты всех трех датчиков (например, 1, 2 и т. д.) соединены между собой, и каждая такая комбинация подключена к подвижному контакту *K* шифрующего валика. На рис. 18в схематично показано устройство датчиков. Датчики давления и температуры снабжены своеими указателями, расположенными так, что когда один из указателей сходит с последнего контакта шкалы, другой вступает в соединение с первым контактом, вследствие чего при из-

менении этих величин в пределах всего диапазона шкала используется дважды.

Полетный вес радиозонда равен 900 г.

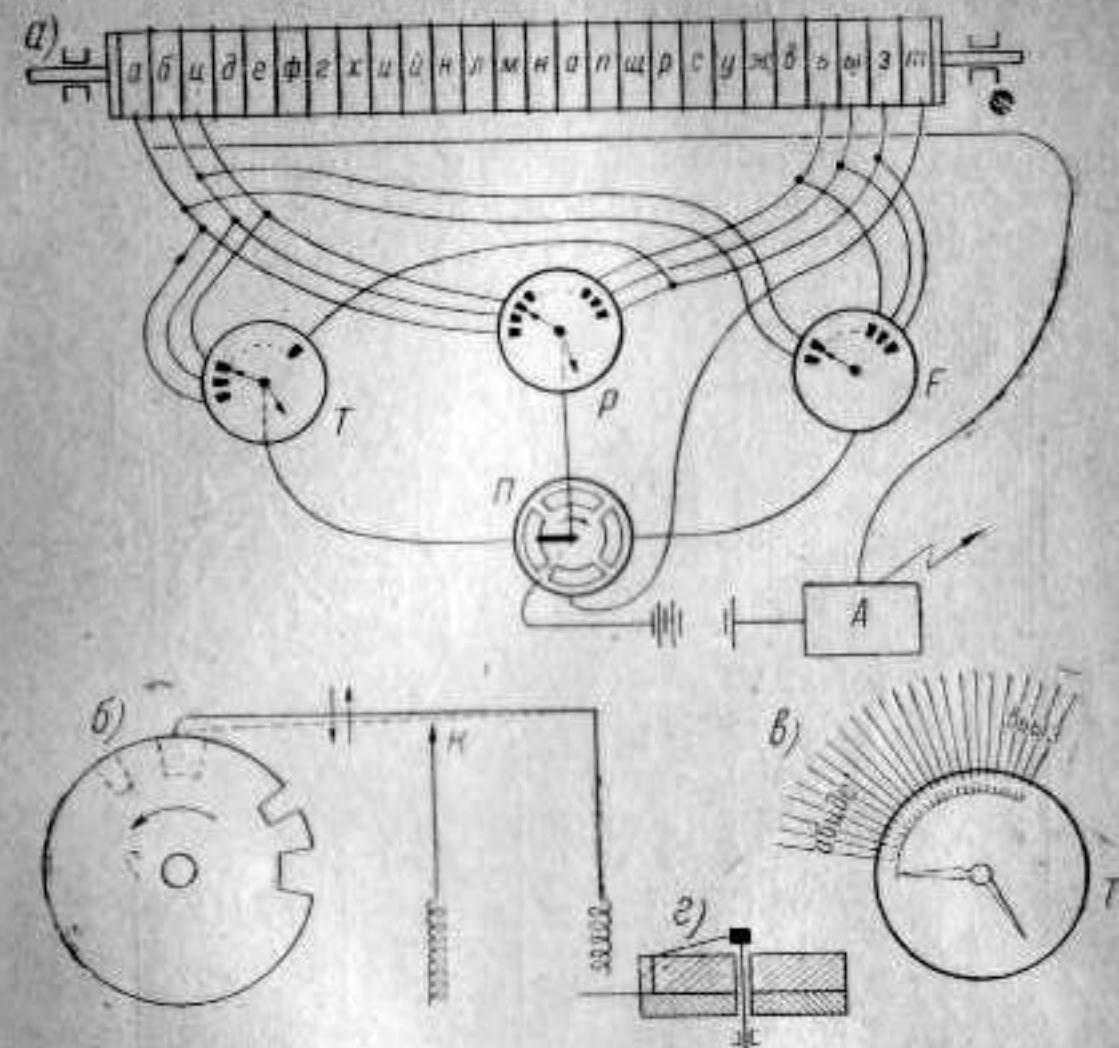


Рис. 18. Схема радиозонда Пикара и Ларсена.

РАДИОЗОНДЫ ГРАВА

В радиозондах Грава использован коммутаторный принцип Б. М. Лебедева. Первые модели этого прибора конструктивно несколько похожи на ранее описанный прибор УРЗП. В них также применен кодовый сектор, однако он состоит всего из 20 кодовых пластин, на каждой из которых нанесены знаки азбуки Морзе.

Указатели датчиков выполнены в виде десятилучевых звездочек, лучи которых при изменении метеорологических элементов взаимодействуют с сектором поочередно.

Радиопередатчик настраивается магнетитовым сердечником и действует в диапазоне 29—31 м.

Чувствительность датчиков на 1 знак составляет для давления $P = 0,4$ мм, температуры $T = 0,25^\circ$, влажности $F = 2,5\%$.

Вращение кодового сектора производится от электромотора. Конструкция прибора сложна, число деталей превышает 300.

В 1950 г. радиозонд Грава подвергся коренной модернизации, указатели датчиков были сделаны одинарными, как в УРЗП, а датчики конструктивно упрощены. Значительно проще стал и весь прибор. Его кодовый сектор стал выполнятьсь в виде своеобразно изогнутой металлической прямоугольной пластинки с прямыми параллельными бороздками, имеющими размеры и профиль, подобные бороздкам граммофонной пластинки. Таких бороздок на кодовом секторе размещается всего около 500, причем

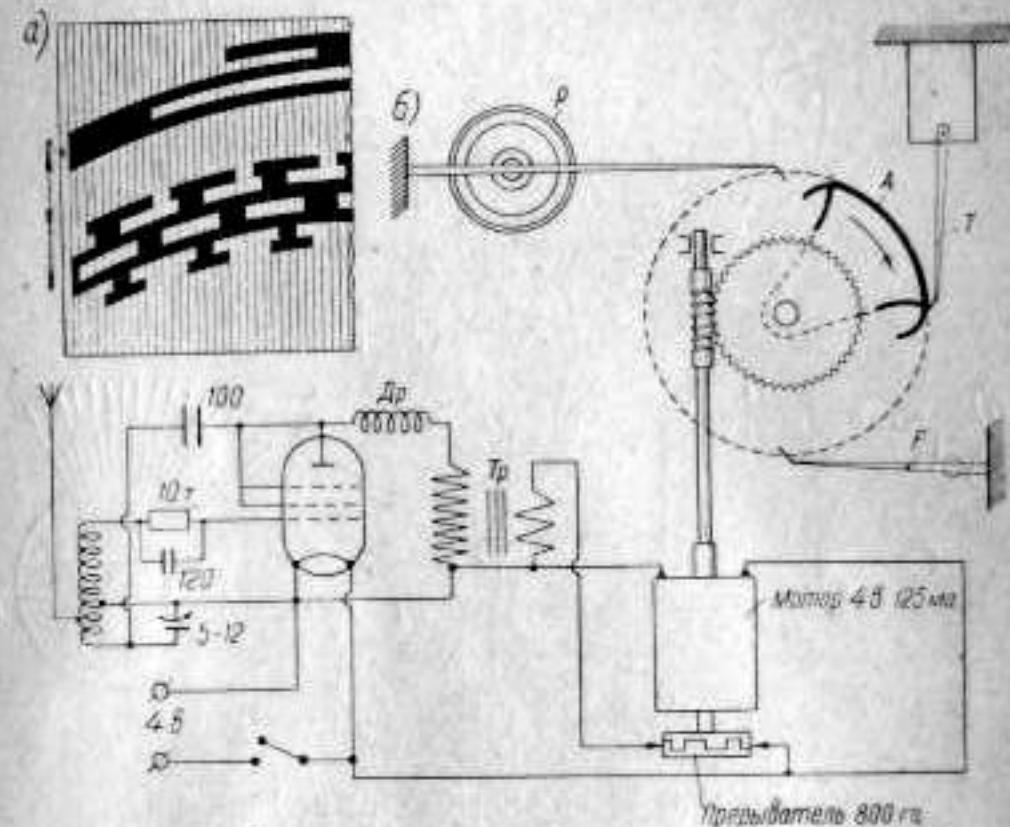


Рис. 19. Схема модернизированного радиозонда Грава.

с помощью прочного изолирующего лака на них нанесен специальный рисунок, обеспечивающий при скольжении острия указателя вдоль каждой бороздки последовательную передачу двух знаков азбуки Морзе.

На рис. 19 приведена схема модернизированного радиозонда Грава. На рис. 19а показан принцип построения контактного рисунка кодового сектора А: вся пластинка покрыта изолирующим лаком и зачернены области чистого металла.

НЕМЕЦКИЙ «МОРСКОЙ РАДИОЗОНД»

В этом радиозонде применено два радиопередатчика I, II, действующих на разных волнах: I — $\lambda = 39$ м, II — $\lambda = 31$ м (рис. 20а). Сигналы температуры и влажности радиозонда со-

здаются с помощью периодического закорачивания специальных трехвитковых катушек связи, расположенных вблизи контуров радиопередатчиков, вследствие чего частота их излучения ступенчато изменяется. Каждое такое изменение частоты является основным сигналом.

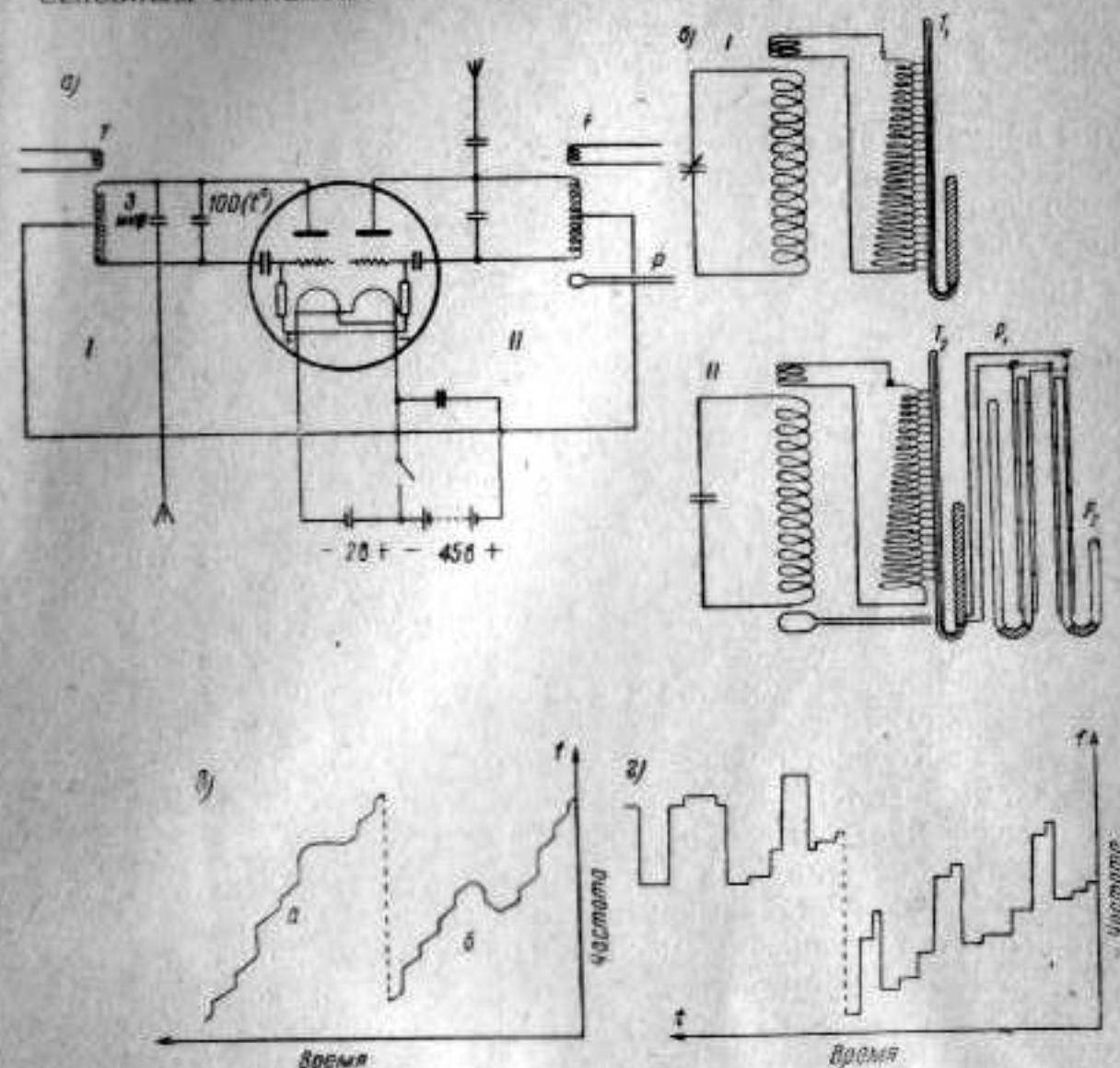


Рис. 20. Морской радиозонд.
а — принципиальная схема, б — схема устройства датчиков, в и г — графики приема сигналов.

Датчиками температуры и влажности служат сухой T_1 и смоченный T_2 ртутно-таллиевые контактные термометры (рис. 20б) (4%-ный сплав таллия и ртути имеет точку плавления около -60°).

Сигналы давления создаются двумя контактными ртутно-таллиевыми вакуумметрами P_1 и P_2 , изменяющими частоту передатчика сигнала смоченного термометра более крупными ступенями с помощью замыкаемого и размыкаемого витка связи.

Конденсатор t емкостью 100 пикофарад ($p\text{f}$) в схеме радиопередатчика I сухого термометра чувствителен к температуре. Он

вынесен в шахту радиозонда и является вспомогательным сухим термометром, позволяющим контролировать ход изменений температуры воздуха в промежутках между показаниями контактного термометра.

Таким образом, основным способом измерений метеорологических элементов данным прибором является кодовый в его упрощенной форме, или сигнальный.

Для вспомогательных наблюдений за изменениями температуры применен высокочастотный способ также с упрощением, которое состоит в отсутствии необходимости производить точные измерения частот. Здесь высокочастотный способ используется лишь для качественных измерений.

Прием сигналов морского радиозонда производится одновременно на два различных радиоприемника двумя радиооператорами, отмечающими на графиках ход изменений частоты. На рис. 20^в представлен график приема сигналов «сухих» термометров, а 20^г — сигналов «смоченного» термометра и вакуумметров. На рис. 20^в зарегистрированы скачкообразные изменения частоты на фоне ее плавных изменений, создаваемых температурочувствительным конденсатором в 100 пФ. Здесь получили свое отражение два характерных случая изменения температуры с высотой: *а* — в слое изотермии, *б* — в инверсионном слое. На рис. 20^г частота изменяется только ступенями, причем, как это видно, сигналы смоченного термометра (мелкие ступени, вдущие в одну и ту же сторону) и датчиков давления легко различимы, так как, помимо значительно большей величины ступеней давления, они еще характерны тем, что каждые два смежных больших скачка частоты совершаются в противоположные стороны.

Датчики давления, или вакуумметры P_1 и P_2 , действуют по принципу расширения замкнутого объема воздуха, толкающего столбик ртутьно-таллиевой смеси в капилляре с впаянными контактами. Их два, и действуют они поочередно: когда датчик с большим начальным объемом P_1 на какой-то высоте вытолкнет столбик ртутьно-таллиевой смеси, в действие вступают контакты второго датчика P_2 , рассчитанного на более высокие степени разрежения наружного воздуха. Показания подобных датчиков весьма сильно зависят от температуры, однако поскольку данные температуры поступают одновременно с данными давления, то возможно введение поправок.

РАДИОЗОНД А. ЛАНГА (ГЕРМАНИЯ)

Радиозонд А. Ланга является единственным из построенных по принципу временного способа измерений, получившим достаточно широкое распространение. Шифрующее устройство *А* в виде цилиндрика из изоляционного материала, в который впрессованы два металлических полувитка спирали, взаимодействует

с восьмилучевым указателем температуры *T*, создавая отсчетные сигналы по этому элементу (рис. 21).

Сигналы влажности создаются с помощью прямой металлической полоски *F*, расположенной на специально устроенном уступе шифрующего цилиндрика, и контактного указателя, смещающегося по касательной к его поверхности. Эти сигналы занимают часть периода, отведенного для передачи температурных данных. Вращение шифрующего валика производит часовой механизм *B* типа карманных часов, выполненный с некоторыми изменениями, обеспечивающими надежность его хода при температуре -70° .

Сигналы давления передаются в виде создаваемых контактной шкалой *D* датчика давления *P* периодических перерывов в излучении радиопередатчика. Кроме того, при передаче сигналов давления имеются еще очень кратковременные перерывы, являющиеся начальными и отсчетными паузами для измерений температуры и влажности. Радиозонд А. Ланга используется с автоматическим регистратором, с барабана которого по окончании подъема прибора снимается готовая метеограмма.

Полетный вес прибора около 700 г.

Хорошая механическая прочность конструкции радиозонда А. Ланга позволила применять один и тот же прибор много-кратно (разумеется, с повторными тарировками после каждого возврата и необходимого мелкого ремонта). Для увеличения сохранности приборов их снабжали парашютами. Главными недостатками радиозонда А. Ланга являются присущие временному способу неудобства массовой тарировки.

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ГРУППА

ФИНСКИЕ РАДИОЗОНДЫ (ВАЙСАЛА)

В первых образцах финских радиозондов телеметрирования давления и температуры производились только высокочастотным способом.

В дальнейшем, приблизительно с 1936 г., конструкция финского радиозонда и его схема приобрели вид, сохраняющийся и

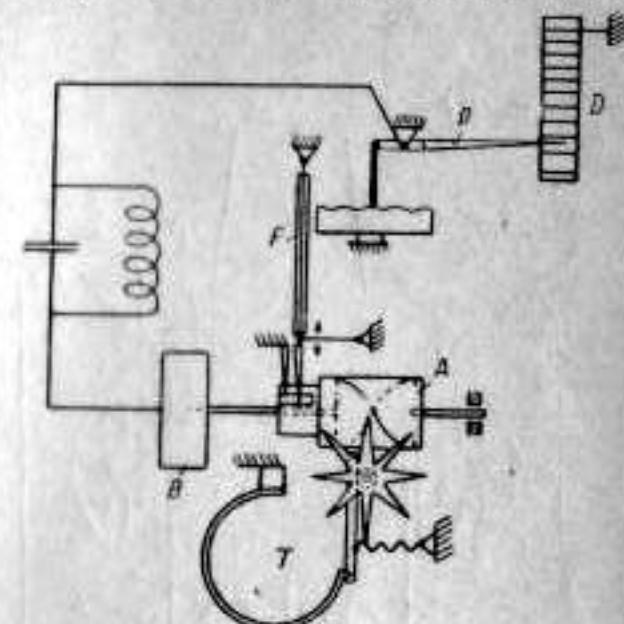


Рис. 21. Схема радиозонда А. Ланга.

до настоящего времени. Схема прибора приведена на рис. 22а. Как видно из рисунка, эта схема в принципе такая же, как схема радиозонда «Волна», однако действие ее несколько иное, так как в финском радиозонде переключатель измеряемых элементов вращается со скоростью нескольких оборотов в секунду. Сигналы

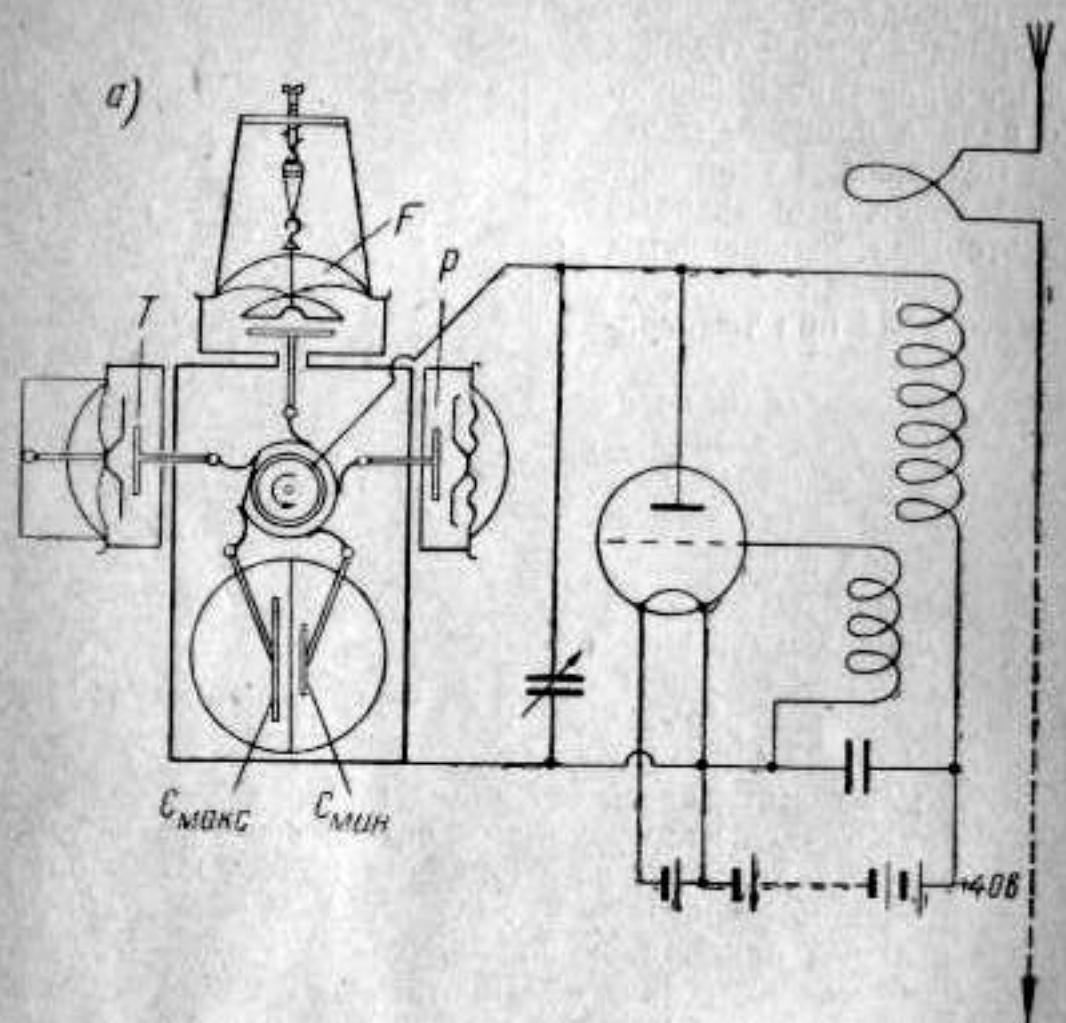


Рис. 22. Схема финского радиозонда.

по каждому элементу здесь слышны в виде часто следующих друг за другом точек, причем слышны они практически сразу по всем элементам.

Вследствие этого повторяемость измерений по тому или иному из измеряемых элементов зависит только от опыта призывающего сигналы радиозондиста-оператора. Финский радиозонд имеет полетный вес около 300 г. Он действует на волнах порядка 11–13 м, где мало помех, однако из-за чрезмерной упрощенности конструкции получение устойчиво точных результатов радиозондирования по заблаговременно сделанным тарировкам этим прибором затруднено. Питание прибора производится от кислотно-аккумуляторной комбинированной батарейки.

ЯПОНСКИЕ РАДИОЗОНДЫ

В Японии высокочастотные радиозонды выполняются без каких-либо механических переключателей, так как в них применено по несколько совершенно самостоятельных радиопередатчиков. Типичная схема японского радиозонда представлена на рис. 23а. Все датчики в ней связаны с переменными конденсаторами контуров I, II, и III.

В качестве датчика температуры применяется ртутно-таллиевый термометр с жестянной манжеткой на его капилляре. Перемещающийся внутри капилляра при изменениях температуры столбик ртутно-таллиевой смеси с манжеткой образуют переменную емкость, управляющую частотой. Имеющийся в контуре II радиопередатчика гигрометра F подобный же термометр T_2 служит для автоматического введения поправок на температуру в показания гигрометра. Антенны передатчиков сигналов температуры и влажности направлены к шару и разведены наверху бамбуковой палкой, антенна передатчика приемника давления P свисает вниз. Прием сигналов радиозонда ведется на три отдельных радиоприемника со шкалами, имеющими точную градуировку по частотам.

В последние годы основным типом японского радиозонда стал прибор с двумя радиопередатчиками, схема которого представлена на рис. 23б. Для передачи данных давления здесь уже применен сигнальный способ.

Источником анодного питания японских радиозондов служат зуммер-трансформаторы, применяемые во всех без исключения моделях.

Как видно из рис. 23, сравнительные конденсаторы для контроля частоты радиопередатчика не применяются. Контроль осуществляется эмпирическими поправками на непостоянство частоты, вводимыми в показания всех датчиков при обработке принятых сигналов.

РАДИОЗОНДЫ КЕЛЬЦЕРА И ГРАВА (ГЕРМАНИЯ)

Радиозонды этой системы были разработаны в нескольких вариантах, общим внешним признаком которых является кожух из желтого бакелизированного картона, имеющий вид горизонтально расположенного цилиндра с двумя алюминиевыми крышками по торцам.

Так же как в японских радиозондах, конденсаторы опорных частот, облегчающие учет случайных отклонений частоты радиопередатчика, здесь отсутствуют. Датчиком температуры служит биметалл, управляющий конденсатором переменной емкости; датчик давления действует по сигнальному способу, создавая периодические кратковременные исчезновения принимаемого сигнала. Датчик влажности отсутствует.

Однако радиозонды Кельцера и Грава недостаточно удовлетворительны, поэтому в 1945 г. Беккером были разработаны новые конструкции.

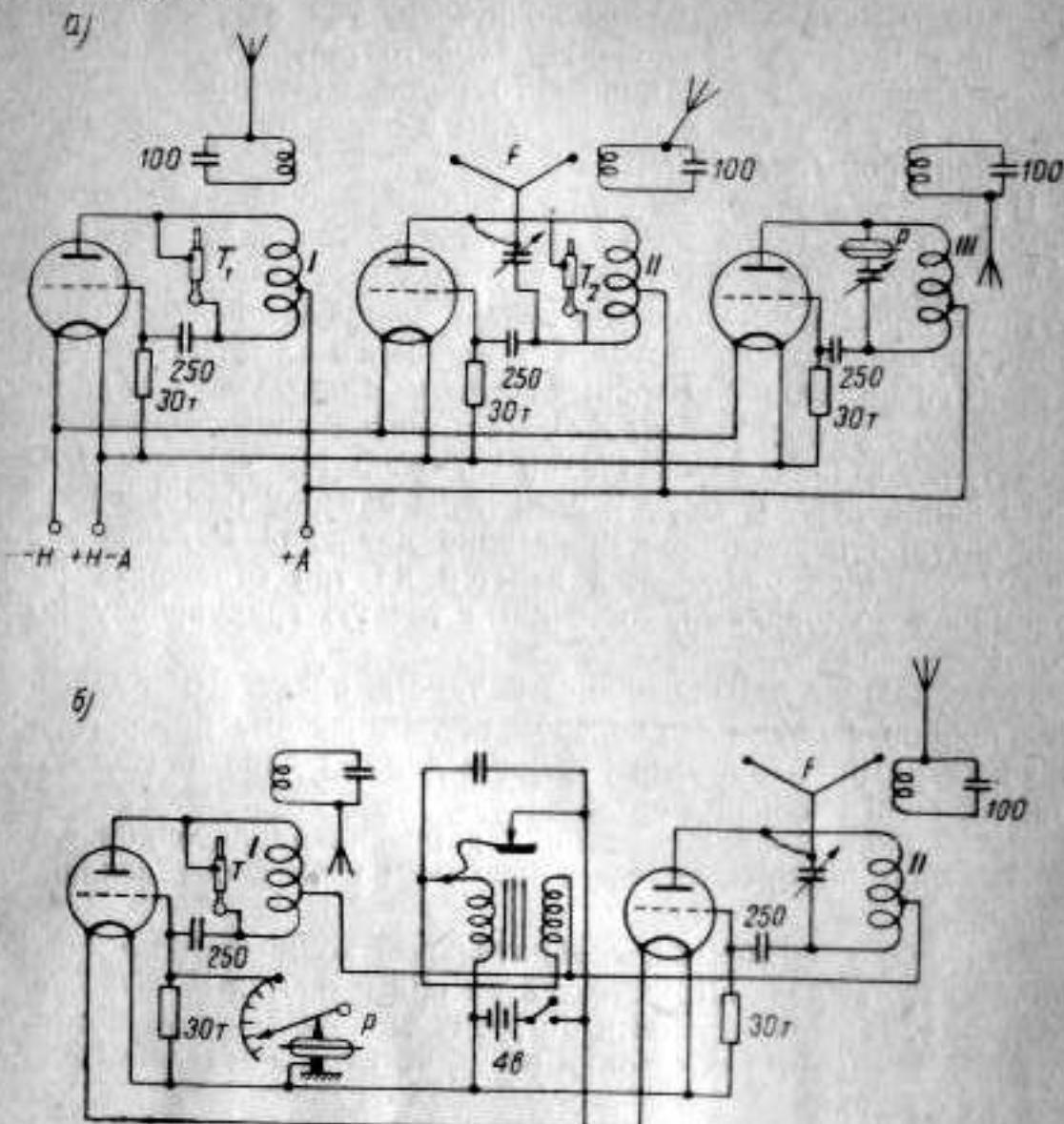


Рис. 23. Схемы японских радиозондов.

РАДИОЗОНДЫ БЕККЕРА (ГЕРМАНИЯ)

Радиозонды Беккера имеют два вида одной и той же принципиальной схемы: 1) для постоянных сетевых наблюдений и 2) для научных работ, повышенной точности. Принципиальная схема представлена на рис. 24. В этом приборе, так же как и в радиозондах «Волна» и финских, применены чувствительные конденсаторы и центральный переключатель. Переключатель приводится во вращение электромотором, создавая ежесекундную повторяемость передач по всем элементам. Датчиками температуры T и влажности F являются температурочувствительные конденсаторы «сухой» и «смоченный», а измерения давления P

обеспечиваются переменным конденсатором, управляемым анероидной коробкой.

В модели научно-исследовательского назначения датчик давления, электромотор и батареи защищены от охлаждения специальными сосудами Дьюара.

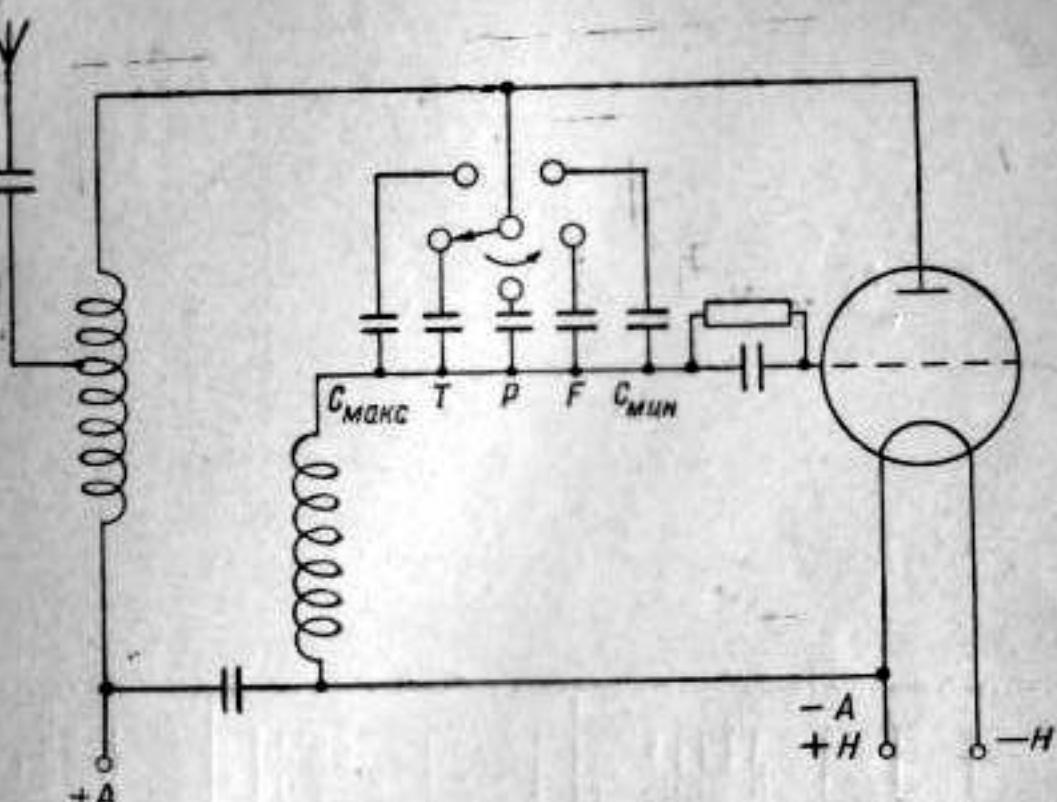


Рис. 24. Принципиальная схема радиозонда Беккера.

Для приема сигналов радиозондов Беккера разрабатывался автоматический регистратор с пишущим устройством, ритмично двигающимся над бланком радиометеограммы и наносящим при этом отметки, соответствующие ежесекундным измерениям температуры «сухим» и «смоченным» термометрами, а также отметку давления.

Низкочастотная группа

РАДИОЗОНДЫ БЮРО СТАНДАРТОВ США

Разработка этих радиозондов была начата в 1936 г. Только к 1944 г. основные черты прибора были окончательно определены.

Отличительная особенность принципиальной схемы прибора, служащего сетевым в США и экспортруемого в ряд других стран, заключается в применении датчика давления, выполняющего функции переключателя P для датчиков температуры и влажности (рис. 25).

На рис. 25а показана принципиальная схема ранних образцов, 25б — окончательный вариант с незначительными изменениями, используемый и в современных моделях. Изменения коснулись главным образом излучающей части радиопередатчика,

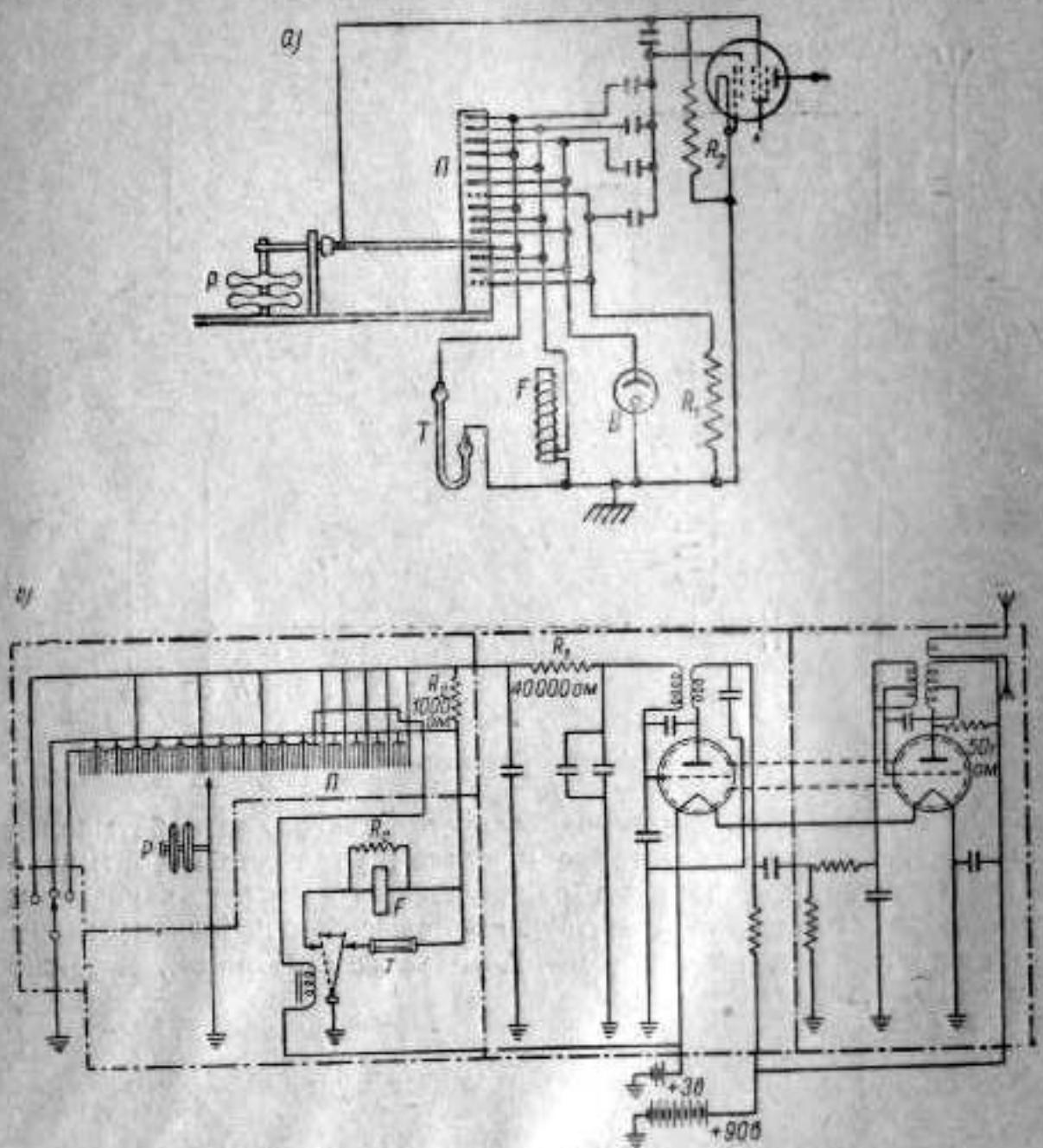


Рис. 25. Принципиальные схемы радиозондов Бюро Стандартов США.

изготавляемой на диапазоны волн от 4,4 м до 7,8 см, причем сантиметровые волны применяются совместно с наземной аппаратурой для двухкоординатного пеленгования (с радиотеодолитами).

Датчик давления P во всех разновидностях схемы действует по сигнальному способу телеметрий и в принципе мало чем

отличается от датчика давления советского гребенчатого радиозонда.

Датчиком температуры служит термистор T , датчиком влажности — электролитический гигрометр F . Последние образцы такого гигрометра представляют собой полоски тонкого оргстекла с металлизированными краями, покрытые с обеих сторон слоем желатина с примесью гигроскопичного вещества — хлористого лития. Металлизированные края полоски служат для включения гигрометра в измерительную схему.

Передача сигналов осуществляется по методу модуляции несущей частоты передатчика низкими частотами, вырабатываемыми отдельным генератором релаксационного типа.

Основными параметрами колебательного контура релаксационного генератора являются датчики температуры и влажности, изменение сопротивления которых вызывает соответствующие изменения частоты модуляции. Все частоты модуляции находятся в пределах от 0 до 190 гц. Помимо двух переменных частот, определяемых термометром и гигрометром, посредством включения контрольного сопротивления K_1 и сопротивления K_2 передаются еще две постоянные «опорные» частоты, необходимые для учета искажений частотного масштаба случайными дестабилизирующими факторами (температура радиодеталей самого радиозонда, изменения напряжений батареек питания и т. д.). В схему прибора включен также фотодиод B , служащий в качестве облакомера.

Прием осуществляется специальным регистратором с частотомером-самописцем, действующим в диапазоне низких частот от 0 до 200 гц. Фиксирование принимаемых данных регистратором производится ежесекундно в течение всего подъема радиозонда.

В зависимости от типа применяемых радиопередатчиков полный вес радиозонда составляет от 1500 до 1800 г.

В последних образцах американского радиозонда противорадиационная защита датчика температуры не применяется. Термисторы, окрашенные белой краской с высокой отражательной способностью (типа свинцовых белил), укрепляются на выносных кронштейнах-зажимах совершенно открыто.

Точность измерений температуры и давления с помощью американского радиозонда приблизительно такая же, как и у советского гребенчатого радиозонда. Данные влажности получаются более детальными, поскольку электролитическим гигрометрам свойственна значительно меньшая инерционность.

АНГЛИЙСКИЕ РАДИОЗОНДЫ

На рис. 26а показана принципиальная схема первого радиозонда Англии, разработка которого была закончена в 1938 г. В качестве датчиков давления и температуры применены катушки с железными сердечниками и с подвижными якорьками,

положения которых определялись деформациями чувствительных элементов — биметалла и анероидной коробки. Низкочастотный генератор, действующий на лампе L_1 , в зависимости от позиции якорька катушки создает частоты от 1400 до 1700 гц, а подобный ему генератор на лампе L_2 — от 700 до 1400 гц. Оба вида частот

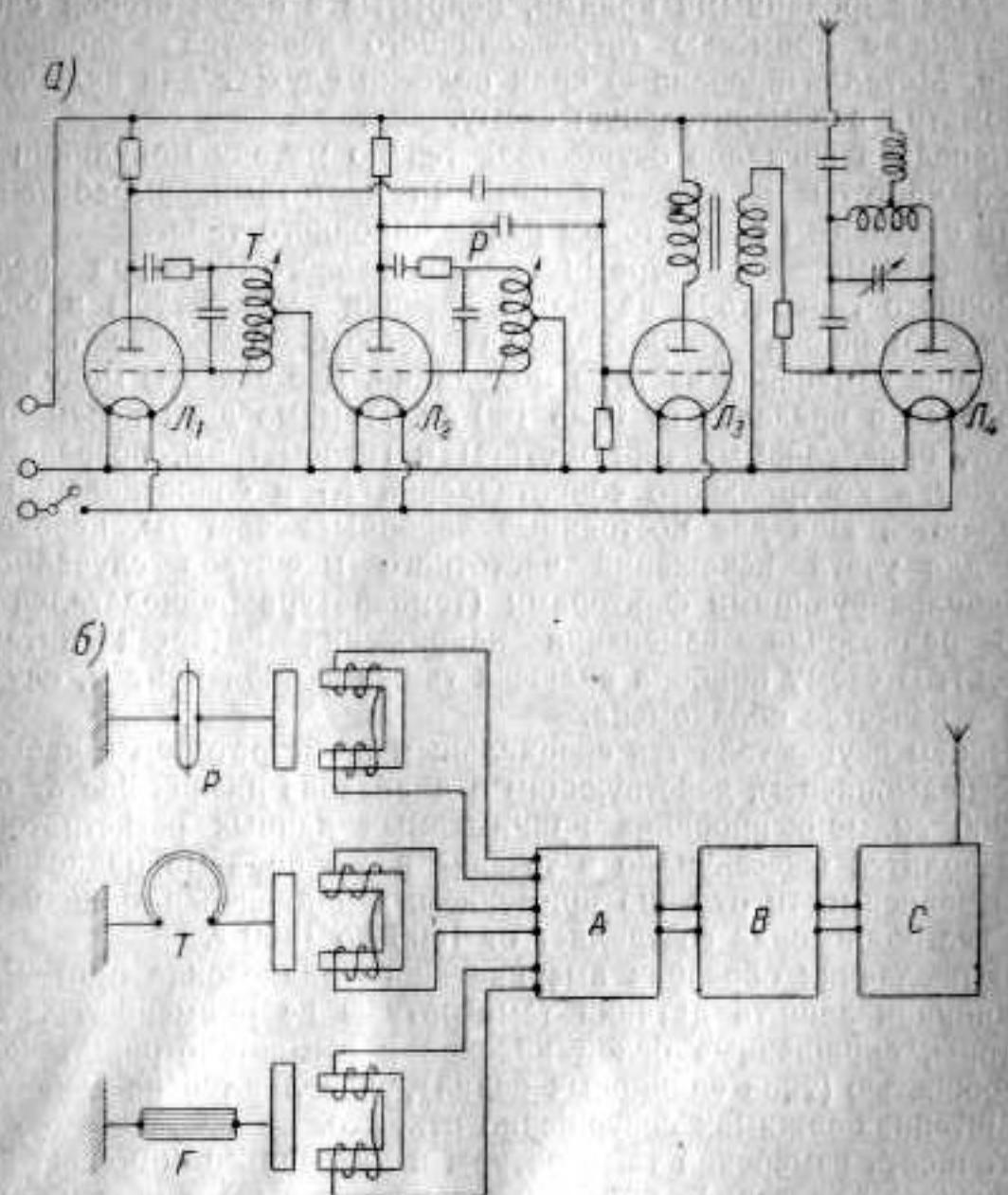


Рис. 26. Схемы радиозондов Томаса (а) и обсерватории Кью (б).

смешиваются в сеточной цепи лампы L_3 , являющейся модулятором для высокочастотного генератора на лампе L_4 (его волна 8,6 м).

Датчика влажности в приборе не было.

Принятые сигналы радиозонда с выхода радиоприемника по даются на 2 катодных осциллографа, снабженных точно калиброванными звуковыми генераторами. С помощью этих устройств производится непрерывное раздельное измерение частот

обоих слагающих частоты модуляции. Вес этой модели без батарей питания 1940 г, с батареями — 2920 г.

На рис. 26б изображена принципиальная схема более совершенной модели английского радиозонда, разработанной с учетом опыта предшествующей конструкции и введенной в постоянное применение с 1946 г.

Эта конструкция известна, как «радиозонд обсерватории Кью». Здесь уже имеется и датчик влажности F , а также переключатель A , обеспечивающий с помощью модулятора B и радиопередатчика C поочередную передачу данных по каждому элементу, производимую со скоростью около трех циклов в минуту в нижних слоях атмосферы и уменьшающуюся до одного цикла в минуту на высоте стратосфера. Двигателем переключателя служит чашечная ветрянка с горизонтальной осью. Несмотря на довольно значительную сложность устройства радиозонда, даваемые им результаты не отличаются большой точностью. Точность измерений давления доходит до 10 мб, температуры — до 0,8°, влажности — до 20%.

Ошибка в измерениях температуры, вызываемая солнечной радиацией, на высоте 14 км может достигать 4°.

Полетный вес прибора составляет 1400 г, возможный диапазон рабочих волн радиопередатчика 10,35—11,2 м. В качестве источников питания радиозонда применены кислотные аккумуляторы, подобные используемым до последнего времени в финском радиозонде.

Наземное оборудование состоит из радиоприемника, катодного осциллографа и калиброванного генератора низкой частоты, действующего в диапазоне 700—1000 гц.

Прием сигналов и их обработка производятся двумя радиозондистами-операторами, сменяющими друг друга каждые 10 минут. Перерывы в наблюдениях операторы используют для немедленной обработки полученных данных, вследствие чего полный результат произведенного зондирования телеграфируется, спустя 15 минут после прекращения приема сигналов радиозонда. Одновременно с приемом сигналов производится пеленгование радиозонда, причем пеленгаторная установка является совершенно самостоятельным устройством со своим обслуживающим персоналом.

НЕКОТОРЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДА РАДИОЗОНДОВ

Развитие метода радиозондов, как и совершенствование самих приборов, пока еще далеко от своего завершения. Современное сетевое радиозондирование должно удовлетворять следующим требованиям.

1. Данные зондирования должны полностью освещать обслуживаемую территорию, для чего соседние пункты регулярных

выпусков радиозондов должны быть расположены не далее 250 км друг от друга.

2. Радиозондирование на всей сети пунктов должно производиться через каждые 6 часов при соблюдении одновременности выпусков всех радиозондов в пределах одного и того же часа.

3. Результаты зондирования должны поступать со всей сети в распоряжение Центрального института прогнозов не позднее, чем через 1,5 часа после выпуска радиозонда. При этом должны обеспечиваться достоверные данные о состоянии всех метеорологических элементов свободной атмосферы для высот до 25 км включительно.

4. Гарантированная точность измерений по отдельным метеорологическим элементам должна определяться соответственно данным, помещенным в табл. 2.

Таблица 2

Метеорологический элемент	Единицы измерений	Высота, км		
		0—2	2—9	9—25
Давление	мб	3	2	1
Температура	°С	0,25	0,30	1,00
Относительная влажность	%	5	5	5
Скорость ветра (в % от измеренных значений для всех скоростей, больших чем 10 м/сек.)	%	5	10	20
Скорость ветра при малых ее значениях	м/сек	0,5	—	—
Направление ветра	угл. град.	10	15	25
Высоты границ облачных слоев . . .	м	50	100	—
Турбулентность, характеризуемая величиной вертикальных ускорений летящего радиозонда (в долях ускорения силы тяжести g)	g	0,25	0,15	0,05

Опыт применения радиозондов подтверждает, что наиболее неудовлетворительны бывают получаемые с их помощью сведения о влажности, которые в настоящее время имеют большое значение для прогнозов погоды. Кроме того, выяснилось, что в дневное время ошибки измерений температуры воздуха в стратосфере, вызванные действием солнечной радиации, очень велики. Установлено также, что высота зондирования ограничивается весом радиозонда в гораздо меньшей степени, чем качеством радиозондовых оболочек, вследствие чего весовые характеристики приборов различных конструкций в пределах до 1 кг теперь можно вполне считать второстепенными.

Теперь уже известно, что в радиозондировании целесообразно применять радиоволны только метрового и дециметрового ди-

апонов, как обеспечивающие чистый прием и возможность двух- и трехкоординатного пеленгования для получения данных о ветре и точного контроля высоты подъема радиозондов.

Несомненно, что наиболее существенно ускорить получение готовых данных зондирования могло бы увеличение скорости подъема радиозонда при автоматической регистрации результатов измерений в пункте приема.

Прогресс в различных областях науки и техники создает новые возможности и для радиозондирования. Так, например, современная технология производства высокочувствительных термосопротивлений и термоконденсаторов с весьма устойчивыми во времени характеристиками позволяет осуществить широкое применение их в радиозондах. Все большее применение в радиозондах находит радиолокационная аппаратура, эффективность использования которой повышается внесением рациональных изменений, допускаемых специфичностью объекта наблюдений. Эта специфичность заключается в том, что летящий радиозонд перемещается в пространстве со значительно меньшими угловыми скоростями относительно пункта наблюдений, чем, например, самолет, а также в том, что в сфере наблюдения одной радиолокационной установки в течение всего сеанса зондирования находится только один прибор.

Радиолокационные методы и приборы оказалось возможным применять и в тех случаях, когда отражающий объект или источник слабых радиосигналов находится за пределами Земли и отделен от нее межпланетным пространством. Необходимые изменения аппаратуры и ряд специфических усовершенствований методики приема очень слабых радиосигналов привели к возникновению новой отрасли науки, известной теперь под названием *радиоастрономии*. До недавнего времени избирательность радиоприема базировалась исключительно на использовании явления резонанса. Теперь резонансные методы уже не являются единственными, позволяющими обнаруживать слабые сигналы среди многих помех. С развитием радиоастрономии появились новые превосходные способы обнаружения слабых радиосигналов, основанные на использовании статистических закономерностей. Сочетание методов радиоастрономии с радиолокационной методикой создает весьма благоприятные перспективы и для дальнейшего развития радиозондирования.

В 1946 г. В. В. Костарев предложил оригинальный *радиозонд без передатчика*. Сущность этого предложения состоит в том, что выпускаемый в полет радиозонд снабжается отражателем со скачкообразно изменяющейся отражательной способностью, управляемой шифрующим механизмом и датчиками. В качестве такого отражателя может служить провод длиной в полволны с замыкаемым или размыкаемым разрывом в его середине, что осуществимо с помощью простого реле.

Если за таким прибором наблюдать с помощью радиолока-

тора, действующего на той волне, на которую рассчитан отражатель, то принятые отраженные сигналы окажутся глубоко модулированными по амплитуде и их нетрудно превратить в звуковые сигналы, совершенно подобные обычным сигналам радиозонда.

Радиозонды без передатчика пока не нашли себе применения из-за ограниченной дальности действия обычного радиолокатора, однако теперь, когда методы радиоастрономии во многих случаях позволяют произвести увеличение дальности астрономических масштабов, эта разновидность радиозондов может оказаться очень полезной, так как, помимо дешевизны и уменьшенного веса, особым их достоинством является возможность весьма точно определять координаты летящего прибора. Вполне вероятно, что комбинирование методики обычного радиозондирования с радиолокационными наблюдениями повышенных дальностей позволит полностью отказаться от идеи использования ретрансляционных радиозондов, поскольку эти приборы все же слишком сложны и, следовательно, всегда будут значительно дороже и тяжелее обычных радиозондов.

Рассматривая перспективы дальнейшего совершенствования метода радиозондов, необходимо учесть и достижения современной радиотелеметрии. В настоящее время в практической радиотелеметрии используются две основные принципиально различные системы: 1) с частотным разделением каналов и 2) с разделением каналов во времени. Максимальное число каналов при первой системе составляет всего лишь около 10, и это ограничение суживает ее применимость.

Вторая (временная) система основана на использовании новейшей электронной аппаратуры, разработанной для точных измерений весьма малых промежутков времени и необходимой во всех без исключения радиолокационных установках. Применение такой аппаратуры позволяет получать практически неограниченное число каналов измерений высокой точности с почти неограниченной их повторяемостью.

В качестве дополнения к установленной классификации телеметрий в радиозондировании сейчас можно было бы предложить, например, электронный способ телеметрий, который явился бы производным от временного, числового и низкочастотного способов, взятых вместе.

Существующие в области радиозондирования приборы и установки для измерений отрезков времени, частоты колебаний или регистрации числа импульсов дают полное основание рассматривать указанные способы телеметрий совершенно раздельно, но если воспользоваться электронной аппаратурой и применить новую методику измерений, то эти способы могут оказаться и объединенными.

В настоящее время широко известны электронные счетчики импульсов, действующие безошибочно и безотказно при любых

скоростях повторений сигналов. Такие счетчики могут служить не только для подсчета числа сигналов, но и для определения частоты периодических колебаний или для измерений малых отрезков времени. Так, для измерений частоты достаточно добавить к счетчику автоматическое устройство, включающее его, например, точно только на 1 секунду. При этом условии каждое включение счетчика даст в результате значение частоты, измеренной с точностью до 1 гц. Если включать счетчик не на одну, а на 10 секунд, то постоянная частота при этом будет измерена уже с точностью до 0,1 гц, на 100 секунд — до 0,01 гц и т. д.

Для измерения отрезков времени пользуются таким приемом: к счетчику добавляется точно действующий генератор какой-либо частоты, например 1000 гц, а также быстродействующий электронный или механический переключатель, присоединяющий к счетчику указанный генератор в начале измеряемого интервала времени и отключающий в конце. Естественно, что при таком условии гарантированная абсолютная точность измерения данного отрезка времени составит около 0,001 секунды, а если вспомогательную частоту увеличить, то возрастет и точность измерения.

Столь универсальный прибор, как электронный счетчик импульсов, принципиально легко может быть приспособлен в качестве приемного или регистрирующего устройства для радиозондов, где метеорологические величины преобразуются в число импульсов или время между долгими сигналами начала и конца отсчета, или могут воздействовать на частоту модуляции. Это делает принципиальную возможность объединения временного, числового и низкочастотного способов телеметрий в радиозондировании доказанной.

Поскольку в настоящее время известны многие электронные устройства для точной дозировки интервалов времени (например, различные дозаторы экспозиций при фотографических работах, калибраторы для радиолокационных станций и др.), легко себе представить такой радиозонд временного типа, в котором бы не было никаких шифрующих механизмов, а интервальные сигналы создавались бы за счет изменяющихся под воздействием метеорологических величин сопротивлений или конденсаторов. В отличие от ранее известных систем, такой радиозонд вполне может быть назван *электронным радиозондом*.

При выборе пути дальнейшего развития и совершенствования метода радиозондов необходимо учитывать реальность создания электронных систем радиозондов.

Несомненно, что методика и аппаратура радиозондирования еще требуют значительных усовершенствований, но есть все основания полагать, что в недалеком будущем в Советском Союзе появятся радиозонды, которые позволят привести качество аэрологических измерений в полное соответствие с требованиями народного хозяйства.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Земная атмосфера и методы ее исследования	5
Первый радиозонд	9
Способы телеметрии, применяемые в радиозондировании	15
Основные типы конструкций радиозондов, разрабатывавшихся в СССР	27
Некоторые конструкции радиозондов зарубежных стран	56
Некоторые перспективы дальнейшего совершенствования метода радиозондов	71

Хахалин Виктор Степанович

РАДИОЗОНДЫ

Отв. редакторы: М. С. Стернзат и Н. П. Фатеев.

Редактор М. М. Ясногородская. Техн. редактор М. Я. Флаум.

Корректоры: З. А. Белкина и Р. В. Гросман.

Сдано в набор 29/X 1955 г. Подписано к печати 29/XI 1955 г.
Бумага 60×92¹/₀. Бум. л. 2,38. Печ. л. 4,75. Уч.-изд. л. 4,85.
Тираж 2500 экз. М-60032. Индекс МЛ-122.
Гидрометеорологическое издательство. Ленинград, В. О., 2-я линия, д. 23.
Заказ № 911. Цена 1 руб. 45 коп.

2-я типолитография Гидрометеоиздата, Ленинград. Прачечный пер., д. 6.