ПОЛИТУПРАВЛЕНИЕ ГЛАВСЕВМОРПУТИ

Стахановцы Арктики

551.6
Д. Х.

И. БУШЕВ

ОПЫТ АЭРОЛОГОВ БУХТЫ ТИХОЙ

ИЗДАТЕЛЬСТВО ГЛАВСЕВМОРПУТИ 1939

С-293162

551.5
Б-948

ПОЛИТУПРАВЛЕНИЕ ГЛАВСЕВМОРПУТИ

БИБЛИОТЕЧКА
„СТАХАНОВЦЫ АРКТИКИ“
Книжка 13

И. БУШЕВ

ОПЫТ АЭРОЛОГОВ БУХТЫ ТИХОЙ

1944 г.
С-293162
АРХИВ
КНИГОХРАНИЛИЩЕ
ОБЛ. БИБЛИОТЕКИ
г. СВЕРДЛОВСК

ИЗДАТЕЛЬСТВО ГЛАВСЕВМОРПУТИ
ЛЕНИНГРАД · 1939

551.51

Изучение погоды в Арктике является частью общей проблемы освоения Северного морского пути. Знание погоды необходимо для работы всех видов транспорта, для нормальной и надежной эксплоатации и безопасности кораблевождения по Северному морскому пути.

Прогноз (предсказание) погоды требует внимательного исследования высоких слоев атмосферы. Современная наука считает, что воздух, пребывающий длительное время в одних и тех же условиях, т. е. на одной и той же широте, над одной и той же подстилающей поверхностью, при слабых ветрах имеет более или менее одинаковую температуру и одинаково насыщается влагой и пылью. Этот воздух, характеризующийся особым, ему присущим физическим состоянием, метеорологи называют **воздушной массой.**

Когда эта масса начинает перемещаться, она в нижней своей части может значительно изменить свои первоначальные свойства (под влиянием земной или водной поверхности, над которой она протекает). Зато в более высоких слоях воздушная масса долго сохраняет свою первоначальную характеристику.

Над арктической областью формируется арктическая масса воздуха, обладающая низкой температурой, хорошей прозрачностью и малым содержанием водяных паров. Перемещаясь, она приносит на новое место свою погоду. Арктическая масса воздуха зимой может достигнуть южных широт и даже в среднеазиатских республиках — Узбекистане, Таджикистане, Туркмении — способна создать условия настоящей арктической погоды.

Размеры воздушных масс достигают нескольких тысяч километров в поперечнике. Две массы различного происхождения могут долгое время проходить почти

«бок о бок», не смешиваясь; иначе говоря, различные воздушные массы ведут себя как две несмешивающиеся жидкости (например, масло и вода).

Пограничный слой, разделяющий две массы, всегда располагается наклонно в сторону более холодного воздуха. Если граница между двумя массами не особенно резко выражена и свойства одной постепенно переходят в свойства другой, — переходная зона называется **фронтальной массой.** Чаще бывает, что свойства воздушной массы на протяжении нескольких десятков километров резко меняются и далее следует уже другая масса. При этом переходный слой носит название **фронтальной поверхности раздела,** а пересечение этой поверхности с землей называется **линией фронта** или просто **фронтом.**

Фронт перемещается вместе с воздушными массами. При прохождении фронта через какую-либо метеорологическую станцию наблюдаются резкие скачки основных метеорологических элементов, т. е. резкое изменение погоды. Эти скачки заметнее в высоких слоях, чем у поверхности земли.

Погода делается не столько у поверхности земли, сколько в так называемой **тропосфере.** Тропосфера — это нижний слой атмосферы, примерно до высоты 10 км. Говорят, что тропосфера является «лабораторией погоды».

Исследованием физических свойств масс воздуха на высоте, а также всех явлений, происходящих на границе раздела двух масс, занимается та часть науки о погоде, которая носит название **аэрологии.**

Аэрологические методы изучения атмосферы стали интенсивно развиваться с начала нынешнего столетия. Исследования температуры и давления на больших высотах, производившиеся отдельными исследователями на воздушных шарах в XIX веке, не могут итти в счет, так как подобные наблюдения, ввиду их дороговизны и сложности, не применялись для повседневных нужд.

В 1893—1894 годах Л. Ротч в США, а затем Тейсеран де-Бор во Франции начали систематические аэрологические наблюдения, сначала шарами-зондами, а затем путем подъема метеорологических приборов на змеях.

В первом случае к шару, объемом 1—2 куб. м, подвешивался самопишущий прибор, регистрирующий темпе-

ратуру, давление и влажность воздуха на различных высотах. Воздушный шар с растянутым по его поверхности парашютом и привязанным к нему прибором пускался свободно в атмосферу. На некоторой высоте оболочка лопалась, а прибор снижался на парашюте. Данные, записанные прибором, обрабатывались после его нахождения.

Пользуясь методом шаров-зондов, Тейсеран де-Бору и Ассману удалось почти одновременно открыть существование **стратосферы** — того слоя атмосферы, лежащего над тропосферой, в котором температура воздуха по вертикальному направлению остается неизменной (тогда как в тропосфере температура с высотой понижается).

С 1909 года в аэрологии был введен метод шаров-пилотов, сразу же получивший широкое распространение. Небольшие резиновые шары, емкостью от 0,1 до 0,5 куб. м, выпускались в свободный полет; за положением шара наблюдали с помощью теодолита. По данным этих наблюдений можно вычислить скорость и направление ветра в высоких слоях атмосферы.

Метод шаров-пилотов, благодаря его дешевизне и практичности, особенно развился во время империалистической войны 1914—1918 годов, когда артиллерии и авиации понадобилось знать о направлении и скорости ветра на различных высотах.

Развитие авиации позволило значительно расширить аэрологические наблюдения. К самолетам подвешиваются самопишущие приборы — метеорографы, регистрирующие атмосферное давление, влажность, температуру.

Вместе с тем за последнее десятилетие, в связи с развитием радиосвязи, получили широкое применение радиозонды. У нас в Советском Союзе это — основной метод изучения атмосферы.

АРКТИЧЕСКАЯ АЭРОЛОГИЯ

В Арктике, где сеть метеорологических станций не может быть настолько густой, чтобы удовлетворить всем требованиям службы погоды, аэрологические наблюдения особенно необходимы.

Для изучения процессов погоды и общей динамики атмосферы пункты ежедневного наблюдения должны быть расположены так, чтобы ни одно из атмосферных

образований (в частности, линии фронтов) не осталось незамеченным. Широта фронта часто бывает ограничена 10—15 км. Следовательно, метеорологические станции должны располагаться на очень близком расстоянии одна от другой, что, конечно, невозможно, особенно в Арктике. Поэтому приходится избирать другой путь: использование аэрологических методов наблюдений, которые позволяют открыть приближение фронта задолго до его прохождения через место наблюдения.

Каждое аэрологическое зондирование до высоты 2 км дает возможность обнаружить линию фронта на расстоянии 200 км от места наблюдения. Этим расстоянием и определяется радиус действия аэрологической станции. При зондировании до высоты 4 км радиус действия увеличивается вдвое.

Вместе с тем самые тщательные метеорологические наблюдения, проводимые, как правило, на высоте 2 м, не могут отразить физическое состояние всей воздушной массы. Обычно они регистрируют только местные изменения, вносимые подстилающей поверхностью в тонкую пленку приземного воздуха. Примером того, насколько метеорологические данные полярных станций искажают, в зависимости от земной поверхности, фактическое положение с ветрами на высоте, служат такие данные:

Полярные станции	Средняя скорость ветра (м/сек.)		Отклонение скорости	Число наблюденных случаев	Отклонение в направлении ветра	Число наблюденных случаев
	у земли	на высоте 500 м				
Остров Врангеля	1,2	8,5	+ 7,3	9	—	—
Бухта Варнек	4,3	14,4	+ 10,1	21	+ 49°	20
Мыс Четырехстолбовой . .	3,1	12,2	+ 9,1	15	+ 41°	7
Бухта Тихая	1,7	10,7	+ 9,0	43	+ 46°	18
Остров Диксона	3,0	11,2	+ 8,2	37	+ 33°	27
Мыс Челюскина	2,6	10,8	+ 8,2	20	+ 25°	18
Бухта Тикси	0,8	9,8	+ 9,0	46	+ 55°	17
Мыс Уэлен	1,0	10,0	+ 9,0	32	+ 32°	20
По всем станциям .	2,2	11,0	8,8	223	+ 40°	127

Эта таблица показывает, что среднее значение ветра по флюгеру совсем не отражает истинного движения воздуха. Скорости ветра на высоте 500 м на 9—10 м в секунду выше, чем скорости, отмеченные у поверхности земли.

В направлении ветра также наблюдается разница, достигающая в среднем 40°. В некоторых случаях показания флюгера совершенно непригодны для характеристики воздушных течений.

Как показывают материалы полярных станций Тикси и Уэлен, наземными наблюдениями вовсе не отмечаются сильные ветры в тропосфере: флюгер показывает скорость 1 м в секунду, а на высоте в 500 м скорость превышает 10 м в секунду. Почти то же самое наблюдается и по данным станций Варнек, Четырехстолбовой и Тихая. Разница в скорости ветра может быть очень велика: у земли — полный штиль, на высоте 500 м — 17 м в секунду.

Температура воздушной массы также искажается метеорологическими наблюдениями, которые производятся на высоте 2 м над земной поверхностью. В Арктике на небольшой высоте — от 200 до 1000 м — почти постоянно наблюдается слой воздуха, температура которого выше, чем в нижележащем слое; это так называемый **слой инверсии** температуры. Он не допускает перемешивания вышележащего воздуха с воздухом приземного слоя.

На протяжении длительной арктической ночи происходит сильное охлаждение земной поверхности и приземного воздуха, образуется пленка холодного воздуха. Она сохраняется в значительной мере и летом, так как тепло, поступающее от солнца, расходуется не на повышение температуры воздуха, а на плавление снега и льда, покрывающего поверхность земли и моря. Температура воздуха у поверхности льда не поднимается выше 0° С.

По наблюдениям полярной станции бухты Тихой, инверсии температуры встречаются в 80% всех случаев аэрологических зондирований. Инверсия разрушается только при сильном ветре, когда воздух перемешивается; при этом в приземном слое температура повышается за счет переноса тепла сверху вниз. Таким образом, слой

инверсии представляет собой своеобразный «аккумулятор тепла». В период затишья, когда идет интенсивное охлаждение воздуха, «аккумулятор» получает заряд (в это время усиливается инверсия). При сильном ветре инверсия ослабляется, тепло — в результате перемешивания — переносится сверху вниз — к земле, а температура слоя инверсии понижается. Короче говоря, «аккумулятор» разряжается.

Этот процесс переноса тепла по вертикальному направлению имеет существенное значение и зимой и летом. Зимой повышение температуры у земли с усилением ветра хорошо заметно. Летом при одинаковой температуре воздуха в различные дни наблюдается различная скорость таяния снегового покрова. Очевидно, в те дни, когда перенос тепла имеет место, снег тает быстрее. Вместе с тем, до тех пор, пока существует снеговой или ледяной покров, весь избыток тепла, поступающего в приземный слой воздуха, не дает повышения температуры. Из этого можно сделать ряд очень важных выводов.

Теплые массы воздуха, имеющие положительную температуру, проходя над поверхностью, покрытой льдом или снегом, охлаждаются в своей нижней части до температуры 0°. Поэтому наземные наблюдения над температурой не дают возможности установить смену воздушных масс даже тогда, когда эта смена уже произошла.

Междусуточные изменения температуры у земли по этой причине во много раз слабее, чем в свободной атмосфере. Это видно из приводимой ниже таблицы колебания температуры по высотам — за сутки и за месяц (см. таблицу на стр. 9).

По причинам, указанным выше, температура воздуха приземного слоя не всегда служит надежной мерой стаивания льда. Ряд аэрологических наблюдений по станции Тихой подтвердил, что летом наиболее нагрет не приземный, нижний слой воздуха, а более высокий — слой инверсии.

Аэрологические наблюдения, несмотря на их относительную дороговизну, вооружают синоптика данными о физическом состоянии атмосферы, не искаженными какими-нибудь местными условиями, дают наиболее правильную характеристику воздушной массы, фронта и т. п.

Средняя температура	Высота в километрах						
	0	1	2	4	6	8	10
Остров Диксона							
За сутки	1,1	3,0	3,8	4,1	5,2	7,2	7,7
„ месяц	7,1	10,9	13,3	17.2	21,7	24,2	21,3
Мыс Желания							
За сутки	1,1	3,3	3,7	5,2	7,8	6,8	8,6
„ месяц	7,0	16,3	18,0	25,5	26,6	26,2	26,7

Дороговизна аэрологических методов до сих пор сильно сдерживала широкое применение их в практике гидрометеорологии. Несистематическое зондирование атмосферы уменьшает ценность аэрологических материалов, получаемых со станции.

Для того чтобы установить, как развивается процесс погоды, необходимо знать изменение основных ее элементов: ветра, температуры, давления и влажности — во всей толще тропосферы. Поэтому надо стремиться, чтобы аэрологические наблюдения стали ежедневной программой работ наших полярных метеорологических станций.

Опыт лучших станций показывает, что ни трудности материального порядка, ни условия погоды, от которых так зависит регулярность аэрологических наблюдений, не представляются непреодолимыми.

Наиболее интересен опыт исследования высоких слоев атмосферы полярниками бухты Тихой в 1937—1938 годах.

В программе работ станции было предусмотрено ежедневное зондирование атмосферы методом радиозондов и шаров-пилотов. Однако целый ряд обстоятельств ставил под сомнение реальность этой программы. В течение предыдущего года план высокого зондирования был выполнен только наполовину. В 1937 году стан-

ция была обеспечена водородом в баллонах лишь на 100—120 подъемов.

Только применение целого ряда рационализаторских мероприятий и дружная работа всего коллектива станций дали возможность осуществить впервые в Арктике ежедневные наблюдения методом радиозондов и, дополнительно к этому, использовать легкий самолет для подъемов метеорографов до высоты 5—6 км.

В результате 10-месячной работы было произведено более 300 зондирований. Это сразу выдвинуло полярную станцию бухты Тихой в число лучших аэрологических обсерваторий СССР.

Рационализация методов наблюдений привела к значительному сокращению расходов.

ШАРЫ-ПИЛОТЫ И ЗМЕЙКОВЫЕ ПОДЪЕМЫ

В Арктике особое значение имеют так называемые **ночные наблюдения.** Во многих пунктах Арктики полярная ночь длится больше 4—5 месяцев. В это время змейковый и самолетный методы наблюдений не применяются. Остаются только два метода: радиозондирование и шаро-пилотные наблюдения. Они дополняют друг друга.

Ночная темнота не позволяет следить в теодолит за полетом шара-пилота, поэтому применяется шар-пилот с подвешенным к нему бумажным фонариком, в который вставляется зажженная свеча. Свет от нее бывает виден в теодолит на расстоянии до 5 км. Фонарик можно подвесить и к радиозонду, но это менее удобно. Теодолит при ночных наблюдениях визирует не шар-пилот, а освещенный фонарик.

Ночные шаро-пилотные наблюдения дают сведения о направлении и скорости ветра на различных высотах. Такие исследования очень ценны, потому что они производятся при отсутствии солнечного нагрева земной поверхности. Данные о направлении и скорости ветра на высоте необходимы при составлении основной синоптической карты. Имея подобные данные с нескольких соседних пунктов, можно составить карту ветров для любой высоты. Такая карта является одним из самых надежных средств изучения движения воздушных масс.

Затрудняет ночные наблюдения, главным образом, выбор конструкции фонарика, особенно при сильных ветрах.

Наиболее удобным является электрический карманный фонарик питаемый батареей. Однако вес батарейки (более 100 г) слишком велик для шара-пилота, обладающего малой подъемной силой (около 200 г); это уменьшает вертикальную скорость шара и высоту его подъема.

Применяются фонарики со свечой, но для горения свечи необходим приток воздуха, для чего в боковой стенке фонарика делается отверстие. Как показал опыт, обычный фонарик — формы двух четырехгранных пирамид, сложенных своими основаниями,— легко задувается струей воздуха, обтекающей фонарик сверху вниз при подъеме шара. По предложению тт. Канаки и Ледоховича, мы предохраняли фонарик от задувания, наклеивая над отверстиями небольшие (1—1,5 см) козырьки; вертикальный воздушный поток прижимает козырьки к отверстиям и соскальзывает по наклонной плоскости вниз, не задувая свечи.

В сумерки тоже приходится применять фонарик, хотя освещение, на первый взгляд, и кажется достаточным.

С наступлением полярного дня отпадает необходимость пользоваться фонариками. В светлое время года можно применять более точный метод для определения высоты шара. Это — **метод базисных наблюдений,** когда за шаром следят двумя теодолитами с двух пунктов, расположенных на определенном расстоянии (базисе). Вычисление высоты ведется по тригонометрическим формулам.

Параллельно с шаро-пилотными наблюдениями, в светлую часть года широко применяются змейковые подъемы. Однако для этого необходима открытая площадка, чтобы воздушный поток над нею не изменялся местными препятствиями. Выпуск змея возможен лишь при определенной скорости ветра (не менее 4 м в секунду). Большая скорость ветра неблагоприятна, бурное перемещение воздуха нередко ведет к авариям змея.

Наибольшие трудности при змейковых наблюдениях представляет процесс выбирания троса (смотка змея). До сих пор эта тяжелая физическая работа производится наблюдателями вручную. Змей тянет с большой силой,

а смотка зачастую длится больше часа. Отсюда ясно, насколько своевременна механизация таких работ и создание аэрологических лебедок.

В Бюро изобретений и рационализации Главсевморпути имеется проект аэрологической лебедки, приводимой в движение небольшим бензиновым двигателем. Все устройство монтируется на санях, легко закрепляемых в любом положении. Лебедку можно без труда снимать с саней. Осуществление этого проекта сильно облегчит работу наблюдателей-аэрологов.

МЕТЕОРОГРАФЫ И РАДИОЗОНДЫ

С наступлением полярного дня открываются более широкие возможности для зондирования атмосферы самолетами. Март, апрель и май — наиболее благоприятные месяцы для этого, так как наличие плотного снежного покрова делает возможной посадку легких самолетов вблизи станции, а также на прибрежном льду.

До 1938 года для исследования атмосферы с помощью самолета у нас применялся метеорограф конструкции профессора Молчанова. В 1937 году были приобретены 6 метеорографов конструкции Виганда-Фусса. Испытание их весной 1938 года в бухте Тихой показало хорошие качества этой конструкции, но, вместе с тем, и существенные недостатки; прибор Виганда-Фусса не приспособлен к условиям Арктики: температурный предел прибора — минус 32° — явно мал. При низких температурах высота действия прибора ограничивается этим пределом, хотя самолет может достигнуть значительно большего потолка.

Кроме того, на этом приборе трудна регулировка перьев, записывающих температуру, влажность и давление воздуха.

Положительные качества прибора: очень четкая запись; прибор легко и быстро собирается (для этого имеется ряд приспособлений, ускоряющих процесс подготовки метеорографа к подъему); оригинально устроена механическая передача показаний первичных приборов к перьям самописцев.

Необходимо создать новую конструкцию метеорографа для самолета, учесть при этом весь опыт работы ме-

теорографов в Арктике и использовать все преимущества существующих конструкций.

Метод радиозондирования развился целиком в нашей стране. Модель радиозонда непрерывно совершенствовалась, но принцип его изменялся мало.

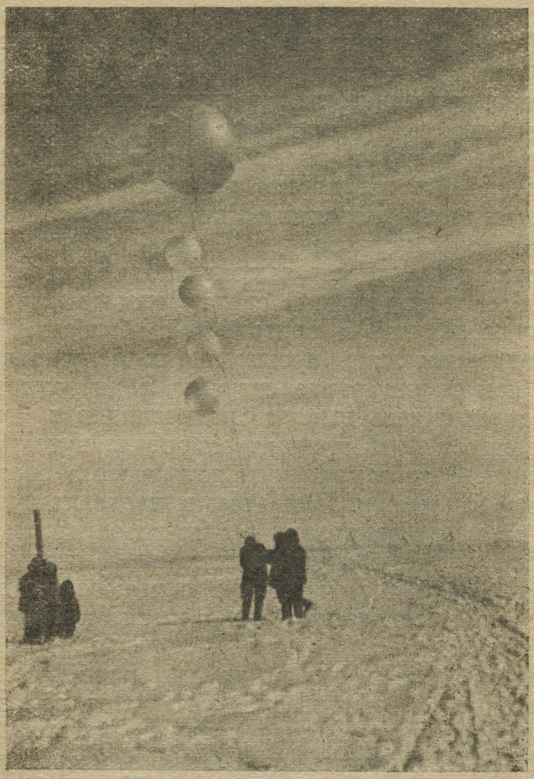


Рис. 1. Подъем радиозонда на нескольких оболочках.

В чем заключается этот метод?

К шару, наполненному водородом, подвешивается прибор — радиозонд. Он состоит из обычных приборов, измеряющих температуру, влажность и давление воздуха. Особое устройство передает показания этих приборов по радио с помощью небольшого передатчика.

Радиопередатчик получает питание от наливных батарей типа Лекланше. На анод дается напряжение 90 вольт, на накал — 6 вольт. Общий вес прибора около 1,2 кг. Для того чтобы прибор поднимался вверх с достаточной скоростью, необходимо дать шару, примерно, двойной запас подъемной силы. Поэтому и применяют большую оболочку № 100 (диаметр в нераздутом состоянии—100 см). Для подъема одного радиозонда требуется около 5 куб. м водорода.

Радиозондирование, как и другие аэрологические методы, не лишено недостатков. По данным атмосферного давления не точно вычисляются высоты. Погрешности в показаниях барографа растут с высотой. Поэтому надо весьма критически относиться ко всякого рода «рекордным» подъемам радиозондов. Этим, конечно, не отрицается сама возможность высоких подъемов, но, к сожалению, до сих пор многие сверхвысотные подъемы, при тщательном анализе и критической обработке, оказывались следствием лишь произвольных допущений наблюдателей при расшифровке сигналов радиозондов.

В полярный день высота радиозондов в некоторых случаях может быть проконтролирована путем базисных наблюдений. Зато в полярную ночь высота определяется только по барографу. При этом в пределах тропосферы ошибки в высоте радиозондов обычно незначительны. Но в стратосфере ошибки увеличиваются. К счастью, благодаря неизменности температуры с высотой, это обстоятельство не имеет такого существенного значения, как в тропосфере.

Радиозонд имеет еще и другой недостаток: вследствие большой вертикальной скорости он настолько быстро проходит нижние слои воздуха, что термограф не успевает регистрировать изменения температуры в тех случаях, когда они резко выражены. Показания радиозонда как бы сглаживают ход температуры по вертикали. Так, например, инверсия температуры по радиозонду всегда оказывается несколько меньшей, чем по другим видам зондирования. В Арктике, вследствие частых инверсий, это имеет большое значение. Нормальной вертикальной скоростью радиозонда считается 300—350 м в минуту.

Для каждого радиозонда требуется новый прибор.

Вот почему большое значение имеет проверка их чувствительности. Как правило, все приборы, высылаемые в Арктику, заранее проверяются в Москве или Ленинграде. Однако, подвергаясь в пути многократным перегрузкам, приборы не всегда сохраняют свою первоначальную чувствительность. Для повышения точности приборов желательно было бы иметь на крупных полярных станциях контрольные установки: вакуумную, термостат с охладительной смесью, гигрометрический шкаф.

Некоторые недостатки радиозондов обнаруживаются только в момент наблюдений, когда прибор уже находится в полете.

Чаще всего происходит замыкание пластин конденсатора переменной емкости. В радиозондах для уменьшения общего веса пластины конденсатора сделаны из очень тонких листов алюминия. При подъеме в верхние слои тропосферы, вследствие низких температур, листочки конденсатора коробятся и, соприкасаясь, дают замыкание. Этот недостаток мы устраняли, прокладывая между обкладками конденсатора тонкие листочки целлулоида.

На радиозондах мала емкость батарей питания, что является причиной многих неудач при подъемах. Предусмотреть такое, казалось бы, простое обстоятельство не всегда удается. Дело в том, что при перевозке в элементы проникает сырость, резко снижающая емкость. На земле такая отсыревшая батарея сохраняет нормальное напряжение, но в воздухе она очень быстро сдает, и сигналы радиозондов пропадают.

У нас на полярной станции применялись такие способы проверки батарей:

1. Батарея накала включалась в цепь накала лампы. Параллельно с лампой включался вольтметр. Если напряжение по вольтметру оказывалось не ниже 5,2 вольта и притом было достаточно устойчивым в течение 3—4 минут, — батарея годна. Если напряжение оказывалось ниже 5,2 вольта или же быстро спадало, батарею приходилось браковать, как неполноценную.

2. Анодная батарея расходует ничтожное количество тока, поэтому потеря емкости для них не так существенна. Зато часто ослабляются контакты. Анодную батарею мы проверяли, включая ее через вольтметр, а затем

касаясь ладонью руки всех угольков элементов; если стрелка вольтметра оставалась спокойной, — батарея в порядке, а если колебалась, — искали слабый контакт и припаивали его.

Когда подготовленный к выпуску радиозонд, вследствие какой-нибудь неисправности, приходилось вносить в теплое помещение, он запотевал, что приводило к замыканию гребенок и ножек лампы и т. д. Поэтому раньше, чем вновь вынести на открытый воздух прибор, мы его высушивали и вновь проверяли батарею.

ПРОИЗВОДСТВО ВОДОРОДА

Широкое применение аэрологических методов изучения атмосферы требует значительного расхода водорода. Доставка его в баллонах на далекие арктические станции затруднена и вызывает значительные материальные затраты.

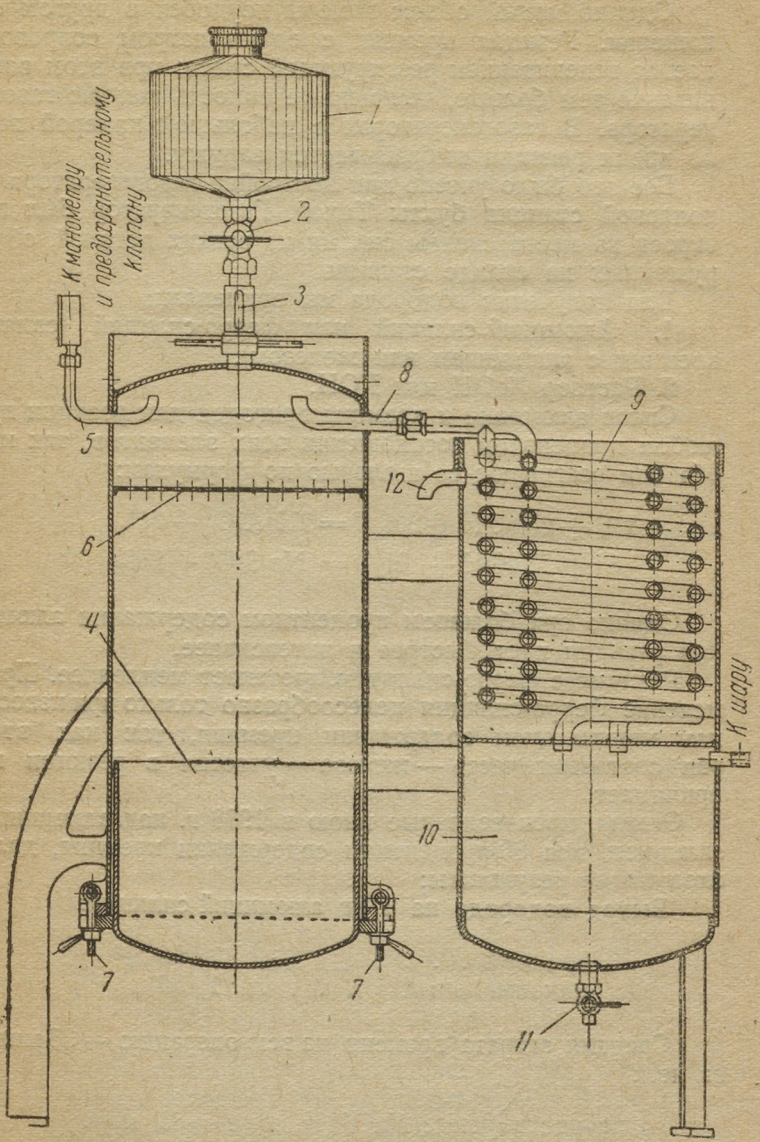
На полярной станции бухты Тихой в программу аэрологических работ 1937—1938 годов входило ежедневное зондирование. Водорода в баллонах не хватало. Естественно, что внимание аэрологов было направлено прежде всего на изыскание наиболее удобного способа получения водорода.

Большинство существующих способов добывания водорода требует капитальных затрат для оборудования газогенераторной установки; они рассчитаны на производство большого количества газа или основаны на применении дорогостоящих материалов. Исключение представляет способ получения водорода из сплава алюминий-силиция или ферро-силиция и раствора едкого натра.

Этот способ позволяет быстро получить водород, причем площадь, необходимая для установки, невелика; портативна и компактна аппаратура; незначителен срок времени, необходимый для пуска в ход установки.

Нет нужды доказывать, насколько эти качества ценны для работы аэрологов полярных станций.

Опыт установок заводского типа показывает, что для получения 1 куб. м водорода в час емкость генератора должна быть от 12 до 17 куб. дм. Следовательно, чтобы получить 5 куб. м водорода в течение получаса, необходима емкость от 120 до 170 л.



С-293162

Рис. 2. Схема газогенератора для получения водорода.

1 — резервуар для воды; *2* — кран; *3* — водомерное стекло; *4* — газогенераторная камера; *5* — трубка к манометру и предохранительному клапану; *6* — решетка; *7* — винты, скрепляющие фланцы; *8* — газопровод; *9* — двойной змеевик; *10* — пенособирательная камера; *11* — сливной кран; *12* — сливное отверстие.

КНИГОХРАНИЛИЩЕ
ОБЛ. БИБЛИОТЕКИ
в СВЕРДЛОВСК

Однако малый объем камеры неудобен в другом отношении. Реакция кремния с едким натром сопровождается вспениванием реагирующей смеси; при этом вспенивание тем больше, чем меньше емкость камеры газогенератора. В газогенераторах с небольшой камерой пена во время реакции выбрасывается наружу.

Все это было учтено при постройке газогенератора на полярной станции бухты Тихой. Газогенератор был построен на месте своими силами из всяких деталей, обнаруженных на складе станции.

Для получения водорода мы применяли:

1. Алюминий-силиций или ферро-силиций (сплавы кремния с алюминием или железом).

2. Раствор NaOH или KOH.

Сплав алюминия и кремния пригоден для реакции при любом процентном соотношении этих элементов, так как оба они реагируют со щелочью по формулам:

$$2Al + 2NaOH + 2H_2O = 2NaAlO_2 + 3H_2 \quad (1)$$

$$Si + 2NaOH + H_2O = Na_2SiO_3 + 2H_2 \quad (2)$$

Однако при большом процентном содержании алюминия реакция идет быстрее и интенсивнее.

Реакция с ферро-силицием протекает медленнее. Применение ферро-силиция целесообразно только при известном минимальном содержании кремния, так как вторая составная часть — железо — участия в реакции не принимает.

Опыты, произведенные мною в 1938 г. над алюминий-силицием, при 80-процентном содержании кремния, дали следующие результаты:

Выход водорода на 1 кг алюминий-силиция:

средний	1,025 м³
максимальный	1,480 „

Средняя затрата времени на всю операцию — 36 мин., из них:

на растворение NaOH в воде .	12 мин.
до начала реакции	6 „
продолжительность реакции . .	18 „

Средняя плотность водорода при температуре 0° С — 0,000165 г/см³.

Подъемная сила 1 м³ водорода при 0° С . . . 1,13 кг
„ „ 1 „ „ „ 15° С . . . 1,07 „

Наиболее экономичным является следующее весовое соотношение реагентов:

$$(Al + Si) : NaOH : H_2O = 1 : 2 : 5.$$

Это дает такую дозировку для наполнения оболочек различных размеров:

№ оболочки	Свободная подъемная сила	Реагенты в г		
		алюминий-силиций	едкий натр	вода
100	2600	4000	8000	20 000
50	1900	2000	4000	10 000
20	200	240	480	1 200
15	100	120	240	600
10	60	70	140	350

При работе с ферро-силицием на основе нашего опыта были установлены такие дозировки:

Состав ферро-силиция (в %)	Весовое количество реактивов для получения 1 м³ водорода в кг		
	ферро-силиций	едкий натр	вода
92	1,05—1,1	1,7—1,8	3—4
75	1,3 —1,4	1,7—1,8	3—4
40 [1]	3,0	2 —2,2	6—6,5

Выход газа зависит главным образом от процентного содержания кремния в ферро-силиции. Чем выше это процентное отношение, тем активнее реагент и тем больше водорода получается на 1 кг ферро-силиция. Поэтому

[1] Применять не рекомендуется.

из встречающихся в практике видов ферро-силиция (с 92%, 75% и 40% кремния) наилучшими являются первый и второй.

Опыты, произведенные над образцами 40-процентного сплава, полученными от Челябинского завода, дали отрицательные результаты: реакция даже при высокой температуре раствора протекала настолько медленно, что смесь застывала и газ выделялся в ничтожном количестве.

Практически приходится встречаться с ферро-силицием различного состава. К сожалению, на месте очень трудно установить путем химического анализа процентное содержание кремния в сплаве.

Во всех случаях ферро-силиций должен содержать не менее 75% кремния. Железо является инертной частью. Полезна примесь алюминия, так как он активно реагирует со щелочью, также выделяя водород. Вредны примеси фосфора, мышьяка и карбида кальция. Они создают во время реакции фосфористый и мышьяковистый водород и ацетилен, примеси, загрязняющие водород и легко воспламеняющиеся.

Вот почему для получения водорода высокой чистоты очень важен состав ферро-силиция. Мы пользовались стандартными требованиями, предъявляемыми к высокосортному ферро-силицию Британским адмиралтейством: кремний — 90% (не ниже 75%), железо — 4,5%, алюминий — 4,6%, углерод (свободный) — 0,2% (не более 1%), кальций — 0,2% (не более 0,25%), мышьяк и фосфор — 0,02% (не более 0,05%), влажность — 0,1%, неопределенные — 0,38%.

Использование ферро-силиция худшего качества чрезвычайно замедляет реакцию. При этом оказывалось нецелесообразным устанавливать постоянное соотношение ферро-силиция к едкому натру (1 : 2). Приходилось пользоваться соотношением 1 : 1 и даже 4 : 3, подбирая наиболее экономичные весовые соотношения исключительно опытным путем и непроизводительно расходуя едкий натр.

Неудивительно, что мы предпочитали пользоваться как исходным материалом алюминий-силицием, который является несравненно более удобным и быстро действующим реактивом.

Подсчитывая выход газа на 1 кг реактива, наглядно видишь преимущества алюминий-силиция. Его несколько более высокая стоимость по сравнению с ферро-силицием вполне себя окупает. Очень ценна для полярных станций быстрота реакции с алюминием. Как уже указывалось выше, вся операция занимает в среднем 36 минут.

Для начала реакции требуется некоторая минимальная температура, хотя сама реакция протекает с большим выделением теплоты.

У нас перед вливанием в генератор вода подогревалась до 80° по С. Наоборот, в момент максимальной скорости реакции, когда выделение тепла чрезвычайно велико, камера генератора охлаждалась. Однако охлаждение не должно быть постоянным, потому что уже при температуре в 90° скорость реакции снижается до 68% (за 100% принята скорость реакции при температуре в 100°).

Наиболее целесообразным является такое охлаждение, которое может обеспечить быстрое и кратковременное понижение температуры генератора в кульминационный момент реакции. В дальнейшем же надобность в искусственном охлаждении отпадает.

Вообще правильный температурный режим является наиболее существенным условием успеха реакции.

Если водный раствор NaOH из-за соприкосновения с холодными стенками камеры охлаждается до температуры примерно в 50° С, ферро-силиций, как правило, не реагирует. Хотя наблюдается слабое выделение водорода, но теплота недостаточна для поддержания температурного минимума (не говоря уже о том, что для полного завершения реакции требуется гораздо более высокая температура).

При температуре смеси немногим выше 50° С реакция наступает не скоро и протекает очень медленно до тех пор, пока смесь не нагреется до 80—90°. Только с этого момента реакция идет полным ходом.

Наилучшие температурные условия для нормального процесса 90—100°. При такой температуре реакция наступает сразу и протекает быстро.

Минимальная температура, при которой реакция может осуществиться, для ферро-силиция —50°, для алю-

миний-силиция —38°. Продолжительность реакции при прочих равных условиях для алюминий-силиция меньше, чем для ферро-силиция.

Из всего сказанного ясно, что температурный режим в газогенераторе играет значительную роль при производстве водорода.

На нашей станции начальная температура раствора не снижалась ниже 80° С.

В теплое время года такая температура развивается при распускании NaOH в воде, и необходимости в подогреве раствора нет (тем более, что и в газогенераторе в этом случае раствор меньше охлаждается). В холодное время растворы приходилось подогревать.

Скорость реакции зависит также от степени измельчения твердого реагента. Это особенно важно для ферро-силиция, активность которого значительно ниже, чем у алюминий-силиция.

При крупных зернах ферро-силиция в реакцию вступают сначала только частицы кремния, лежащие на поверхности; внутренние же частицы обволакиваются желатинированным продуктом реакции — Na_2SiO_3, затрудняющим доступ NaOH внутрь зерна и замедляющим дальнейший ход реакции.

Трудно установить предельную величину зерна, при которой ферро-силиций реагирует целиком и достаточно быстро.

Можно лишь сказать, что измельчение способствует скорости реакции и количеству выхода газа на 1 кг сырья. Успешно применяется ферро-силиций, измельченный до величины зерен, проходящих через сито с 80—100 отверстиями на 1 $см^2$. Американский стандарт допускает величину зерен, проходящих через сито с 5 отверстиями на 1 $см^2$.

На скорости реакции сказывается также концентрация раствора NaOH. При высокой концентрации раствора реакция наступает очень быстро (если соблюдены, конечно, температурные условия). Общий выход водорода от этого, однако, не увеличивается, а иногда даже понижается вследствие образования вязкой жидкости, в которой ферро-силиций и алюминий-силиций плохо реагируют.

Сильно разбавленные растворы замедляют реакцию и создают опасность застывания реагирующей массы и прекращения реакции из-за охлаждения раствора ниже предельного минимума температуры. Выход водорода при работе с разбавленным раствором получается всегда ниже, чем при работе с раствором средней концентрации.

Наиболее благоприятна концентрация раствора в 30—40%, рассчитываемая по весу едкого натра в сухом виде. Известны следующие данные, полученные при опытах с ферро-силицием, имеющим 92% содержания кремния:

Концентрация раствора едкого натра (в %)	Весовое отношение кремния к едкому натру	Выход водорода в литрах на 1 кг силиция
10	1 : 0,745	852
10	1 : 1,065	894
10	1 : 1,480	960
10	1 : 3,200	1050
30	1 : 0,852	1210
30	1 : 2,13	1492
30	1 : 3,19	1471
40	1 : 1,58	1505
40	1 : 3,19	1530

Скорость реакции понижается также под влиянием кремнекислого натрия, обычно остающегося в камере от предыдущей реакции. Чтобы избежать этого, мы тщательно очищали генератор от продуктов реакции и промывали его.

Влияет на выход газа качество NaOH. Очень важно, поэтому, следить не только за правильным количественным соотношением реагентов, но и за качеством применяемого NaOH.

При хорошем состоянии NaOH (сухие белые кристаллы) удобно пользоваться 30—40% раствором. Если же, как бывает на практике, некоторая часть NaOH, поглотив влагу из воздуха, перешла в водный раствор, то приходится несколько увеличить весовое содержание NaOH в воде. Кроме того, мы всегда избегали применения образующейся на поверхности кристаллического NaOH корки, по химическому составу представляющей

двууглекислую соду ($Na_2 CO_3$), совершенно бесполезную в реакции.

Изучая реакции едких щелочей со сплавами кремния с железом и алюминием, я разработал конструкцию газогенератора, в котором несколько усложнена система охлаждения: введен обычный змеевик и, дополнительно к нему, специальная камера — пенособиратель. Эта конструкция, благодаря ее простоте, успешно действовала при низких температурах.

Аэрологи полярной станции бухты Тихой обеспечили боеспособную работу такого газогенератора при температурах до —20°. Сейчас улучшенная модель генератора испытывается в Бюро изобретений и рационализации Главсевморпути. Установка подобных генераторов на полярных станциях полностью разрешит вопрос об обеспечении водородом всех аэрологических работ.

Можно подвести некоторые итоги. По станции бухты Тихой, при переходе на добычу 75% всего необходимого водорода с помощью газогенератора, была достигнута значительная экономия. Об этом говорят следующие расчеты (на 1 куб. м воздуха) стоимости водорода при разных способах его получения:

	Завоз технического водорода в баллонах (+20% утечки)	Водород из алюминий-силиция и NaOH	Водород из ферро-силиция и NaOH	Водород из воздуха при алюминиевом и ртутном катализаторах
Вес реактивов и тары в г.	16,0	3,8	3,9	1,0
Стоимость реактивов и тары	0 р. 84 к.	7 р. 50 к.	3 р. 80 к.	4 р. 30 к.
Стоимость перевозки . . .	13 „ 44 „	1 „ 26 „	1 „ 39 „	0 „ 42 „
Амортизация	5 „ 00 „	0 „ 70 „	0 „ 70 „	0 „ 70 „
Общая стоимость	19 р. 28 к.	9 р. 46 к.	5 р. 89 к.	5 р. 42 к.

Сумма годовых расходов на водород по полярной станции бухты Тихой: [1]

[1] Расчет составлен по данным Алюминтехснабсбыта и действительным стоимостям доставки.

	Завоз технического водорода в баллонах (+20% утечки)	Водород из алюминий-силиция и NaOH	Водород из ферро-силиция и NaOH	Водород из воздуха при алюминиевом и ртутном катализаторах
Общая сумма	41 524 р. 80 к.	17 028 р. — к.	10 602 р. — к.	9 756 р. — к.
Расходы при 25% обеспечении баллонами . . .	—	23 152 „ 20 „	18 031 „ 70 „	17 948 „ 20 „
Экономия . .	—	18 372 „ 60 „	23 493 „ 10 „	23 576 „ 60 „

НА МАЛЫХ ОБОЛОЧКАХ

Аэрологи бухты Тихой занимались также удешевлением самого метода радиозондирования. До сих пор считалось, что для подъема радиозонда требуется оболочка № 100; при наполнении водородом ее свободная подъемная сила достигает 2600 г. Расход водорода при этом равнялся 4,5—5 м³ на один подъем, а скорость подъема радиозонда составляла около 400 м в минуту. Средняя высота подъема, по данным 93 наблюдений, за зиму 1936/37 года достигала 12 км.

Большим недостатком являлся значительный размер наполненного шара с оболочкой № 100. При сильных ветрах воздушный поток так давил на его поверхность, что шар «ложился», прижимался почти до земли. Выпуск радиозондов в таких условиях весьма затруднителен. Выпущенный при сильном ветре шар нередко не успевал даже подняться на высоту, равную длине шнура, на котором подвешен прибор, и ударялся о землю. Практически уже при ветре 12 м в секунду работа с оболочкой № 100 грозила аварией радиозонда.

При пуске радиозондов на оболочках меньшего размера (например, на четырех оболочках № 50), они всегда достигали значительно меньшей высоты, расход водорода был большим, а вертикальная скорость радиозонда невелика.

Аэролог бухты Тихой тов. Царев пошел по другому пути. Учитывая личный опыт работы в Институте аэро-

логии, он предложил максимально облегчить вес самого прибора радиозонда с тем, чтобы подъем можно было осуществить на одной оболочке № 50. Это, примерно, в 4—5 раз уменьшило вредную нагрузку (вес оболочки). Запас свободной подъемной силы можно было при этом уменьшить с 2600 до 1900 г.

Рис. 3. Выпуск радиозонда на оболочке № 100.

Для облегчения прибора, не меняя принципиальной схемы радиозонда, тов. Царев предложил вместо двух батарей ставить одну, сведя напряжение на анод до 45 вольт. Благодаря этому прибор был облегчен на 200 г. Такое, казалось бы, незначительное сокращение

веса позволяет, однако, уменьшить свободную подъемную силу на 700 г, а общую затрату водорода — ровно в два раза, заменив тяжелую оболочку № 100 более легкой — № 50.

Таким образом, достигалась следующая экономия:

1) сокращение одной анодной батареи . . . . 12 руб.
2) замена оболочки № 100 на № 50 . . . . . 30 „
3) уменьшение расхода водорода на 2 м³ . . 38 „

Итого на одном зонде . . 80 руб.

Годовая экономия только по полярной станции бухты Тихой выражается в сумме около 25 тысяч руб.

Применение способа тов. Царева в течение 1937/38 года на полярной станции бухты Тихой не только дало экономию материальных средств, но — что особенно важно — возможность ежедневно зондировать атмосферу в Арктике.

До сих пор считалось каким-то неписанным правилом, что, вследствие сильных ветров, ежедневное зондирование в Арктике невозможно. Это заключение основывалось на том, что скорости ветра в Арктике часто превышают 12 м в секунду. Предложение тов. Царева радикально изменило дело. Несущий шар при оболочке № 50 имеет значительно меньшую поверхность и, следовательно, испытывает меньшее давление ветра. Даже при ветре 12—14 м в секунду шар натягивает шнур под углом 30—40° к горизонту. Благодаря этому, выпуск радиозондов на оболочке № 50 возможен при скоростях ветра до 18 м в секунду. Именно это обстоятельство позволило аэрологам полярной станции бухты Тихой выполнить программу зондирования на 100%.

Естественно возникает вопрос: не вызывает ли смена большой оболочки № 100 на меньшую № 50 соответственного уменьшения подъемной силы, большого снижения высоты подъема и уменьшения вертикальной скорости? Такое предположение опровергается результатами 153 зондирований, совершенных зимой 1937/38 года в бухте Тихой исключительно на оболочках № 50, когда средняя высота составила 10,4 км, а вертикальная скорость — 350 м в минуту.

Как видим, средняя высота подъема при переходе на оболочку № 50 понижается лишь на 1,6 км. Необходимо также иметь в виду, что здесь не учитываются аварийные подъемы, число которых при зондировании на оболочках № 100 значительно больше. Если учесть эти аварийные подъемы, то средняя высота, достигаемая оболочками № 100, не больше чем у оболочек № 50.

Выпуск радиозондов на малых оболочках дает большее постоянство вертикальных скоростей. При наполнении до свободной подъемной силы (1900 г) вертикальная скорость радиозондов на оболочке № 50 колеблется на всех высотах в пределах 10—12%, а при подъемах на оболочках № 100 колебания вертикальной скорости достигают 50%.

Опыт аэрологов бухты Тихой заслуживает пристального внимания всех полярных станций Главсевморпути. Выполнение исторического задания XVIII Съезда партии — превратить к концу третьей Сталинской пятилетки Северный морской путь в нормально действующую водную магистраль — требует от нас, полярников, огромного размаха творческой мысли, смелого и настойчивого овладения техникой.

Небольшой опыт нашего коллектива может помочь аэрологам других полярных станций. Но это только первый шаг по пути рационализации целого ряда научных работ, которые производятся в Арктике ежедневно. Давайте, товарищи, больше дерзать в технике, смелее прокладывать пути для новых приемов и методов научного труда, которые принесут новые победы советской науке над природой суровой Арктики.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ОПЫТА АЭРОЛОГОВ ПОЛЯРНОЙ СТАНЦИИ БУХТЫ ТИХОЙ

I. Пользование газогенератором для добычи водорода

1. Проверить газопровод путем продувания.
2. Загрузить газогенераторную камеру необходимым количеством твердых реактивов (ферро-силиций или алюминий-силиций и едкий натр).
3. Герметически закрыть газогенератор (завинтить барашки на фланцах).
4. Привинтить резервуар для воды.
5. Закрыть кран «А».
6. Наполнить резервуар водой.
7. Открыть кран «А».
8. При сильном развитии реакции прекратить подачу воды и охладить газогенератор, положив снег на крышку камеры.
9. При малейшем ослаблении реакции вновь включить подачу воды.
10. По окончании реакции дать газогенератору охладиться и только после этого приступить к очистке камеры от продуктов реакции; в противном случае водород при доступе воздуха может образовать гремучий газ, который от соприкосновения с раскаленной массой взрывается.
11. Очистку камеры следует производить возможно тщательнее, так как остатки, накапливающиеся в камере, будут задерживать в дальнейшем ход реакции.

II. Подготовка к подъему радиозондов на оболочке № 50

1. Подготовить оболочку:

а) прогреть ее в кипятке 10—15 минут,

б) тщательно высушить так, чтобы не осталось влаги в складках оболочки, а вся поверхность приобрела одинаковую температуру.

2. Собрать прибор в соответствии с инструкцией по производству радиозондирования.

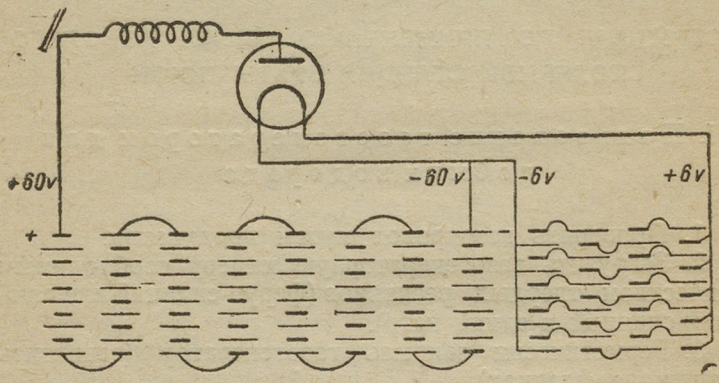


Рис. 4. Схема включения батарей питания (по второму варианту).

Питание передатчика при этом собирается по схеме: одна батарея — 45 вольт на анод и одна — 6 вольт на накал (при плохом качестве накальных батареек: на анод — 60 вольт, на накал — 6 вольт). Во втором варианте анодная батарея составляется из одной 45-вольтовой, с присоединением к ней последовательно 10 элементов от другой анодной батареи. Из оставшихся 20 элементов второй анодной батареи составляется смешанное соединение — 6 вольт на накал (см. рис. 4).

3. Выбранные батареи должны быть тщательно проверены по указанному выше способу.

4. Весь прибор проверяется на токопрохождении и на отдачу энергии в антенну.

5. Обкладка переменного конденсатора изолируется целлулоидными прокладками.

6. Оболочка наполняется водородом до подъемной силы — 1900 г.

7. Одновременно с наполнением оболочки, прибор выдерживается на открытом воздухе 20—30 минут; производится настройка приемника на волну передатчика радиозонда.

8. При обработке сигналов радиозонда, показания барографа, благодаря строго постоянному значению вертикальной скорости, могут быть проконтролированы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Арктическая аэрология 5
Шары-пилоты и змейковые подъемы 10
Метеорографы и радиозонды 12
Производство водорода 16
На малых оболочках 25
Приложение. Инструкция по применению опыта аэрологов полярной станции бухты Тихой 29

В СЕРИИ „СТАХАНОВЦЫ АРКТИКИ" ВЫШЛИ В СВЕТ СЛЕДУЮЩИЕ КНИЖКИ:

Книжка 1. Б. Иванов. На ледовой вахте. Цена 70 коп.

Книжка 2. Н. Шеховцов. Заметки электротехника. Цена 1 руб.

Книжка 3. Н. Жуков. Ледовая разведка. Цена 70 коп.

Книжка 4. И. Кузякин. Советы полярного повара. Цена 80 коп.

Книжка 5. Н. Мартынов и С. Войнов. Тракторы и вездеходы на острове Рудольфа. Цена 80 коп.

Книжка 6. В. Матюшкин и Чивилев. Диспетчерская служба на радиоузлах. Цена 1 руб. 50 коп.

Книжка 7. Н. Шацилло. Служба погоды в Карском море. Цена 60 коп.

Книжка 8. В. Соколов. Три года на острове Котельном. Цена 1 руб.

Книжка 9. И. Тихоненко. Ездовые собаки Чукотки. Цена 90 коп.

Книжка 10. В. Кругликов. Северные урожаи. Цена 90 коп.

Книжка 11. А. Хазанович. Красный чум в Хатангской тундре. Цена 1 руб. 40 коп.

Книжка 12. Авгевич. Геодезист в Арктике.

Ответственный редактор *Б. М. Черненко.*
Технический редактор *М. М. Петерсон.* Корректор *С.И. Шаталов.*

Сдано в набор 13/VI 1939 г. Подписано к печати 31/VIII 1939 г. Бумага 82×108 1/32. Печ. л. 2. Бум. л. 1/2. Уч.-авт. л. 1 3/4. 152 000 п. зн. в б. л. Тир. 3000. Изд. № 122. Инд. П-207. Зак. 2316. Леноблгорлит № 4084.

Типография им. Володарского. Ленинград, Фонтанка, 57.

Цена 60 коп.

38518