

06
т78

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

ГЛАВНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ
им. А. И. ВОЕЙКОВА

ТРУДЫ

ВЫПУСК 188

АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Под редакцией
канд. физ.-мат. наук
Т. В. ЛОБОДИНА
и канд. физ.-мат. наук
В. А. СОЛОВЬЕВА

БИБЛИОТЕКА
Ленинградского
Гидрометеорологического
Института



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЛЕНИНГРАД • 1966

Сборник посвящается вопросам исследований грозовой деятельности инструментальными методами и в первую очередь исследованиям с помощью грозорегистраторов и катодных пеленгаторов.

Рассматривается распределение числа молниевых ударов по территории земного шара. Оценивается грозовая активность над Северной Атлантикой и на Дальнем Востоке по числу грозовых очагов.

Приводятся результаты исследований лидерной стадии грозовых разрядов, а также регистрации атмосфериков в широкой полосе частот. Дается описание схем, позволяющих улучшить методику пеленгования гроз и приближенного определения местоположения грозовых очагов с одного пункта. Рассматриваются вопросы, связанные с существованием электрического поля Земли.

Сборник рассчитан на широкий круг специалистов, которым приходится использовать данные по грозовому электричеству, атмосферикам, а также по некоторым прикладным вопросам атмосферного электричества.

В. П. КОЛОКОЛОВ, К. Н. БАРКАЛОВА,
В. В. КУПРОВИЧ, В. А. КУТЯВИН, Р. И. СИМОНОВА

ОБ УТОЧНЕНИИ МЕТОДИКИ СОСТАВЛЕНИЯ КАРТ ЧИСЛА ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДОВ

Уточняются величины эффективных радиусов грозорегистраторов. Проводится обоснование методики построения карт числа разрядов над океанами. Находится влияние метеорологических параметров (температуры и влажности) на число грозовых разрядов.

Введение

В статье [7] была описана методика составления карт числа грозовых разрядов. За 1964 г. появились новые работы, в которых уточняются некоторые статистические параметры атмосфериков. Использование этих исправленных параметров в формуле, по которой определяется эффективный радиус грозорегистратора, позволило в свою очередь уточнить распределение числа разрядов над сушей. Кроме того, делается попытка внести поправки в распределение числа разрядов над океанами.

Для этой цели привлекаются данные регистрации активности грозовых очагов над Северной Атлантикой, полученные английским кустом катодных пеленгаторов во время МГГ.

Наконец, устанавливается зависимость между числом грозовых разрядов и метеорологическими параметрами — температурой и абсолютной влажностью.

К методике нахождения эффективного радиуса

Для того чтобы определить плотность разрядов по показаниям прибора, регистрирующего молниевые удары, необходимо знать эффективный радиус этого прибора¹. Методика нахождения эффективного радиуса излагалась неоднократно, например, в работах Хорнера, Махоткина [1] и др.

Для определения эффективного радиуса была использована формула из [2]

$$N = \pi n R_1^2 \left(\frac{E_1}{E} \right)^{\frac{2}{k}} e^{2 \left(\frac{\sigma}{k} \right)^2}, \quad (1)$$

где N — число разрядов, зарегистрированное счетчиком; n — плотность разрядов; R_1 — расстояние, на котором медианное значение напряженно-

¹ Под эффективным радиусом действия прибора подразумевается радиус, внутри которого за длительный период времени действительное число разрядов равно числу разрядов, сосчитанных прибором.

сти поля равно E_1 ; k — показатель в соотношении, связывающем напряженность поля с расстоянием; σ — стандартное рассеяние молниевых амплитуд в грозе.

С другой стороны, по определению эффективного радиуса R_0

$$N = \pi n R_0^2. \quad (2)$$

Сопоставляя формулы (1) и (2), найдем

$$R_0 = R_1 \left(\frac{E_1}{E} \right)^{\frac{1}{k}} e^{\left(\frac{\sigma}{k} \right)^2}. \quad (3)$$

Следует отметить, что параметры E_1 , σ и k , по оценкам разных авторов, сильно различаются. Особенно это относится к σ . В работе Денниса и Пирса [9] дается обзор этих значений. По данным, которые приводятся в [9], они колеблются от 4 до 9,5 дБ. Деннис и Пирс делают заключение, что амплитуды как в широкополосном, так и в узкополосном диапазонах в среднем имеют стандартное отклонение 7 дБ. Л. Г. Махоткин [2] определяет значение σ равным 8 дБ. Величина k нами была выбрана равной 1,3 [2]. Значение E_1 , принятое нами ранее ([2] и др.),

Таблица 1

E	$k=1,1$	$k=1,3$	E	$k=1,1$	$k=1,3$
$\sigma=8$ дБ			$\sigma=7$ дБ		
0,1	3155	904	0,1	2748	828
0,2	1658	538	0,2	1445	494
0,3	1148	395	0,3	999	363
0,5	724	269	0,5	630	246
1	388	160	1	338	147
2	204	96	2	178	88
5	89	48	5	78	44
10	47	28	10	41	26
15	32	21	15	28	19
20	25	17	20	22	16

оказалось завышенным и его пришлось пересмотреть. В настоящей работе оно было принято равным 56 в/м для расстояния 1,6 км (одной мили) [3]. Вычисленные значения R_0 по формуле (3) в зависимости от изменения параметров k и σ для различных пороговых значений E грозорегистраторов приведены в табл. 1. При $k=1,3$, $\sigma=7$ дБ и $E=1$ в/м $R_0=147$ км, а при $k=1,3$, $\sigma=8$ дБ и $E=1$ в/м $R_0=160$ км. Нами для $E=1$ в/м было принято R_0 , равное 150 км, и для $E=0,5$ в/м $R_0=250$ км.

Сравнение данных, полученных приборами с различными частотными характеристиками

В связи с тем что в литературных источниках значения параметров k , σ и E_1 меняются в больших пределах, трудно оценить R_0 однозначно для широкополосных приборов (2—20 кгц), применяемых нами для регистрации числа молниевых разрядов на землю. Действительно, из табл. 1 видно, что небольшие изменения k приводят к резким изменениям величины эффективного радиуса. То же можно сказать и относительно медианных значений амплитуд поля атмосферика E_1 . Нужно найти хотя бы еще один независимый способ, позволяющий проверить

найденные плотности числа разрядов, и тем самым проверить правильность определяемых значений R , и внести необходимые коррективы.

Для этой цели нами были использованы материалы наблюдений на сети станций, полученные при помощи узкополосных счетчиков (ширина полосы 56—62 кгц) [4]. Предполагается, что в этом диапазоне прибор регистрирует как облачные удары, так и удары на землю. Это следует из спектрального состава электромагнитных излучений молний. В указанном диапазоне амплитуды облачных ударов и ударов на землю примерно одинаковы [10]. Эффективный радиус одного из этих приборов, равный 20 км, был определен экспериментально Махоткиным [5].

Число разрядов на землю определялось из предположения, что в рассматриваемых пунктах наблюдения оно составляет 50% общего числа разрядов для северных районов (Ленинград и Свердловск) и 40% для более южных районов (Киев, Одесса). Результаты наблюдений с помощью узкополосных счетчиков с полосой 56—62 кгц, так же как и результаты наблюдений с помощью счетчиков с полосой 2—20 кгц, приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Пункт наблюдений	Число разрядов, зарегистрированных счетчиком с полосой частот 56—62 кгц	Число разрядов на 100 км ² (счетчик с полосой 56—62 кгц)	Число разрядов, зарегистрированных на 100 км ² широкополосным счетчиком 2—20 кгц	Число разрядов на землю на 100 км ² (счетчик с полосой 56—62 кгц)
Ленинград (Воейково)	1 800	140	130	70
Киев	3 970	316	125	130
Одесса	12 240	975	250	390
Свердловск	4 660	370	290	185

Для всех пунктов, кроме Воейково, согласование в плотности разрядов на 100 км² является вполне удовлетворительным. В Воейково счетчик был перенесен, и если раньше антенна была поставлена на крыше 8-метрового дома, то в 1964 г. основание антенны было на высоте 2 м над землей. Очевидно, это привело к некоторому искажению результатов и дало разницу почти в два раза.

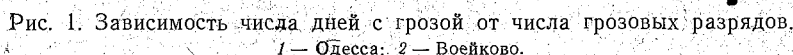
По финским данным за 1960—1962 гг., число разрядов на 100 км² равно 157.

Таким образом, измерения числа разрядов, проведенные счетчиками с полосой 2—20 кгц и принимаемые нами за стандарт, хорошо согласуются с измерениями, произведенными счетчиками другого типа, и данными, приводимыми в литературе.

Построение рабочих графиков для определения коэффициентов пересчета для различных климатических зон

Данные, полученные при помощи широкополосных приборов (2—20 кгц) с пороговой чувствительностью 1000 мв/м (табл. 2), использовались при построении графиков зависимости среднего числа грозовых разрядов от среднего числа дней с грозой для пунктов Мурманск, Свердловск, Ленинград, Одесса. По оси абсцисс этих графиков откладывалось среднее месячное число зарегистрированных разрядов

Число метеостанций, по наблюдениям которых осуществлялось осреднение числа дней с грозами, составило более 60 для каждого пункта.



Было произведено также сравнение наших данных с данными, полученными Н. И. Леушиным [6] на основе пеленгования атмосфериков европейским кустом в течение трех лет (1958—1960 гг.). В целом эти данные количественно не различаются, хотя данные Леушина несколько занижены.

Зависимости числа разрядов от числа дней с грозой, приведенные ранее для материков, существенно меняются над морями и океанами. Для уточнения этих зависимостей над акваториями морей нами использовались данные английского куста катодного пеленгования, который вел наблюдения в период МГГ и МГС. Пеленгование производилось с четырех пунктов ежедневно с 5 до 21 часа с часовым интервалом.

Таблица 3

Год	Месяц	Характеристика грозовой деятельности		
		число гро- зовых раз- рядов в ты- сячах	число гро- зовых раз- рядов на 100 км ²	число дней с грозой
Воейково				
1960	VI	32	46	9,5
	VII	56	80	11,3
	VIII	11	16	3,3
	IX	2	2	1,3
1961	V	7	10	2,2
	VI	88	126	15,7
	VII	69	99	9,4
	VIII	75	107	9,4
1962	IX	3	4	0,4
	V	8	11	3,3
	VI	16	23	4,2
	VII	35	50	9,4
1963	VIII	7	10	3,5
	IX	1	1	1,5
	V	33	47	10,0
	VI	20	30	4,7
1964	VII	33	47	8,0
	VIII	14	20	7,3
	IX	6	9	3,5
	V	5	7	1,4
	VI	41	58	4,0
	VII	33	47	5,6
	VIII	10	14	4,6
	IX	3	4	1,5
Одесса				
1961	V	40	57	3,9
	VI	160	230	10,2
	VII	58	83	7,3
	VIII	25	36	5,5
1964	IX	16	23	2,5
	V	18	26	3,4
	VI	100	142	9,0
	VII	45	64	9,1
	VIII	18	26	5,2
	IX	12	17	1,4
Свердловск				
1961	V	—	—	—
	VI	—	—	—
	VII	168	179	14,7
	VIII	38	40	7,2
1962	IX	8	7	1,8
	V	47	50	7,4
	VI	58	65	9,7
	VII	66	70	10,5
1963	VIII	17	21	5,2
	IX	4	6	1,7
	V	56	80	4,0
	VI	120	170	7,0
1964	VII	124	177	9,7
	VIII	48	69	3,5
	IX	11	16	1,1
	V	15	21	4,0
	VI	46	66	10,0
	VII	80	14	8,3
	VIII	42	60	8,7
	IX	6	9	—

Нами произведена обработка результатов этих наблюдений следующим образом. Составлены месячные карты интенсивности очагов атмосфериков, которые затем сведены в сезонные карты, а сезонные — в годовую карту. По сезонным и годовым картам были подсчитаны отношения числа атмосфериков, расположенных в прямоугольниках шириной 5° , равноудаленных на восток и запад от оси симметрии. Ось симметрии куста английских катодных пеленгаторов, за которую принят меридиан $2^\circ 30'$ з., примерно отделяет районы суши от районов моря. Величина отношений (табл. 4) представляет собой степень затухания разрядной деятельности по мере удаления от прибрежной полосы.

Таблица 4

Сезон	Район моря					
	I	II	III	IV	V	VI
Весна	3,0	3,0	8,6	16,9	17,0	15,1
Лето	2,0	4,8	14,7	—	—	—
Осень	1,4	1,6	2,4	2,1	2,0	—
Зима	1,1	0,8	1,6	5,0	5,0	8,0
Годовая	1,9	2,6	5,0	11,0	15,7	11,7

Из табл. 4 видно, что по мере удаления от материков разрядная деятельность затухает сравнительно медленно и в различные сезоны года этот эффект проявляется по-разному. Так, зимой значительное ослабление ее отмечается примерно за 1500 км, весной и летом — за 1000 км от прибрежной полосы, а осенью разрядная деятельность вообще проявляется слабо.

Зависимость числа грозовых разрядов от параметра $P = te$

Помимо построения карт числа разрядов над континентами по непосредственной зависимости данной величины от числа дней с грозой, проведена косвенная оценка этой зависимости. Для этой цели была использована связь грозовой активности с температурой и абсолютной влажностью воздуха.

Температура и влажность воздуха являются одними из главных факторов возникновения гроз как внутримассовых, где они имеют первостепенное значение, так и фронтальных. Рихтер и Шерхаг, изучавшие зависимость грозовой деятельности от температуры и влажности воздуха в районе Потсдама за период 1893—1917 гг., пришли к следующему заключению. Максимальная вероятность возникновения гроз имеет место при температуре $24-28^\circ\text{C}$ и при абсолютной влажности $18-24$ мб ($14-18$ мм), т. е. примерно при их одинаковых числовых значениях.

Если учесть это обстоятельство, то климатическим параметром, с которым целесообразно связать количество грозовых разрядов, будет произведение температуры воздуха в градусах Цельсия на его абсолютную влажность в миллибарах. Попытка связать число грозовых разрядов с этим параметром и была осуществлена в настоящей работе.

В работе были использованы данные наблюдений приборов для регистрации атмосферных помех выше заданного уровня с порогом 1 в/м, полосой пропускания от 2 до 20 кгц, установленных в пунктах Мурманши (близ Мурманска), Воейково (Ленинградской области) и Одёссе.

Эффективный радиус действия приборов равен 150 км. Данные наблюдений брались за грозовой сезон, с мая по сентябрь включительно. Были использованы материалы: по району Воейково за 1960, 1961 и 1962 гг., по району Одессы за 1961 г. (сезон 1962 г. по Одессе не был взят из-за его большой засушливости) и по району Мурманска за 1962 г. За характеристику грозовой активности бралось число зарегистрированных за месяц грозовых разрядов в пересчете на 100 км².

Для определения климатического параметра $P = te$ вокруг каждого из пунктов в радиусе 300 км было взято несколько десятков метеорологических станций, более или менее равномерно распределенных по территории. При этом в радиусе мурманского прибора было взято 33 станции, воейковского прибора — 57 станций и одесского — 47 станций. Для

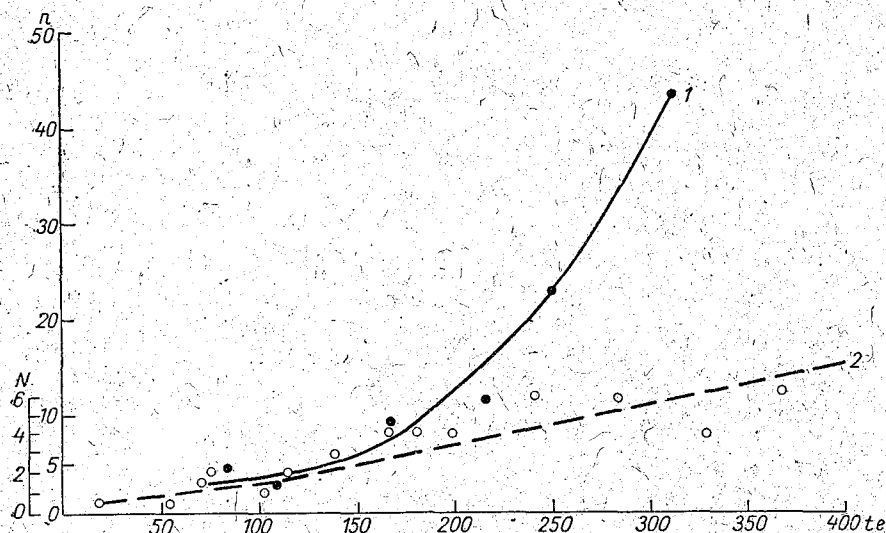


Рис. 2. График зависимости количества грозовых разрядов на 100 км² и числа дней с грозой от параметра $P = te$.

1 — зависимость количества грозовых разрядов на 100 км² от параметра P ; 2 — зависимость числа дней с грозой от параметра P ; n — количество грозовых разрядов на 100 км²; N — число дней с грозой.

каждой метеорологической станции из таблиц ТМ-1 выбирались средние месячные значения температуры и абсолютной влажности воздуха. Затем вычислялось среднее для всей территории района значение температуры и влажности за каждый месяц и для каждого месяца и района определялся параметр P как произведение средней месячной температуры воздуха в градусах Цельсия на среднюю месячную влажность воздуха в миллибарах. Таким образом, в каждом районе было известно количество грозовых разрядов за месяц на 100 км² и соответствующий каждому из месяцев климатический параметр $P = te$.

Полученные результаты наносились на график, на котором по оси абсцисс откладывался параметр P , а по оси ординат — количество грозовых разрядов за месяц на 100 км². Всего было получено 22 точки. Точки имеют значительный разброс, однако зависимость числа грозовых разрядов от климатического параметра $P = te$ явно наблюдается. Ординаты на графике осреднялись в интервалах P 50—100, 100—150, 150—200, 200—250, 250—300, 300—350, и по осредненным значениям проводилась кривая (рис. 2). На том же графике нанесена еще одна кривая, выражающая зависимость среднего многолетнего числа дней с грозой

в каждый из месяцев грозового сезона для районов Мурманска, Ленинграда и Одессы от того же самого параметра $P=te$, вычисленного для каждого из районов по средним многолетним месячным значениям температуры и влажности. Данные о числе дней с грозой брались с климатических карт числа дней с грозой, а данные о температуре и влажности — с соответствующих карт. Указанная зависимость представляет собой почти прямую линию. Используя зависимость числа грозовых разрядов от параметра $P=te$, для территории Советского Союза построили опытную карту среднего многолетнего числа грозовых разрядов на 100 км^2 , которая в настоящей статье не приводится.

В результате можно сделать следующие заключения.

1. Зависимость числа грозовых разрядов от параметра $P=te$ существует.

2. Указанный параметр может быть применен для уточнения карт числа грозовых разрядов, построенных по непосредственному соотношению числа разрядов с числом дней с грозой.

3. Параметр P нуждается в дальнейшем уточнении путем введения соответствующих коэффициентов к t или e для отдельных физико-географических районов, в частности для пустынь, горных районов и океанов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Махоткин Л. Г., Лыдзар П. С. Ориентировочная оценка удаленности гроз по амплитудам атмосфериков. Труды ГГО, вып. 146, 1963.
2. Махоткин Л. Г. Оценка параметров амплитудного распределения атмосфериков, генерируемых изолированным источником. Геомагнетизм и аэрономия, № 1, 1964.
3. Уотт и Максвелл. Характеристики атмосферных помех в диапазоне частот от 1 до 100 кГц. Распределение длинных и сверхдлинных радиоволн. ИЛ, М., 1960.
4. Лыдзар П. С. Полупроводниковые грозорегистраторы. Труды ГГО, вып. 157, 1964.
5. Махоткин Л. Г., Семенов К. А. Статистика грозовых разрядов. Труды ГГО, вып. 146, 1963.
6. Леушин Н. И. О количестве молний в летнее время на Европейской территории СССР. Метеорология и гидрология, № 9, 1964.
7. Колоколов В. П., Симонова Р. И. Методика составления карт грозовых разрядов. Труды ГГО, вып. 177, 1965.
8. Horner F. The design and use of instruments for counting local lightning flashes. Proc. Inst. El. Eng., v. 107, part B, N 34, 1960.
9. Dennis A. S. and Pierce E. T. The return stroke of the lightning Flash to earth as a source of VZT atmospherics. Radio Science J. Res. NBS, v. 68D, N 7, 1964.
10. Israël H. Atmosphärische Electrizarität, teil II. Leipzig, 1961.
11. Nevalainen U., Leino K. Beixträknarsamhet J. Finland år. 1960. Kraft och Ljus, N 2, 1961.
12. Nevalainen U., Antoni P. Beixträknarsamhet J. Finland år. 1962. Kraft och Ljus, N 2, 1963.
13. Sire J. Note sur les enregistrements des eclairs proches, reeleses a Brazzaville pendnt lannee 1960. La Météorol., N 63, 1961.

В. П. КОЛОКОЛОВ, В. А. КАМЫШАНОВА

ХАРАКТЕРИСТИКА ГРОЗОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В КИЕВЕ В 1964 г. ПО ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ

Приводятся данные по числу разрядов на единицу площади, полученные при помощи грозорегистраторов, работавших в Киеве в 1964 г. Эти данные сравниваются с данными, полученными в Воейково и Одессе. Рассматриваются материалы, полученные в Киеве, о числе возвратных ударов в молнии.

В 1964 г. в Киеве Главной геофизической обсерваторией были поставлены и проведены наблюдения за грозовой деятельностью при помощи грозорегистраторов. Эти грозорегистраторы имели различные чувствительности (эффективные радиусы), частотные диапазоны, разрешающую способность. Характеристики применявшихся приборов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Чувствительность прибора, в/м	Ширина полосы, кгц	Эффективный радиус, км	Разрешающая способность, гц
ПРГ1			
	56—62	20	10
ПРГ2			
1	2—20	150	10 и 500
5	2—20	50	10 и 500
10	2—20	30	10 и 500
15	2—20	20	10 и 500
20	2—20	15	10 и 500

Все грозорегистраторы с разрешающей способностью 10 гц обеспечивали непрерывную круглосуточную запись. Грозорегистраторы с разрешающей способностью 500 гц работали эпизодически. Рассмотрим результаты работы этих приборов.

В табл. 2 приведены материалы наблюдений, полученные в Киеве в летний сезон 1964 г. с помощью прибора ПРГ1. Для сравнения приводятся также результаты, полученные посредством таких же приборов в Воейково и Одессе.

Из табл. 2 видны некоторые особенности в развитии грозовой деятельности в Киеве, Воейково и Одессе в 1964 г. Самым грозовым месяцем для Киева был май, для Воейково июль, для Одессы июнь. Август

для Киева оказался мало активным в грозовом отношении. Здесь в этот месяц зарегистрировано почти в 7 раз меньше разрядов, чем в июле, в то время как в Воейково и Одессе в августе зарегистрировано почти столько же разрядов, сколько и в июле. Это объясняется сложившимися в районе Киева особенностями синоптической обстановки. В августе здесь почти отсутствовали фронты, а несколько внутримассовых гроз, имевших место в это время, были слабыми. Это обстоятельство сказалось и на результатах регистрации числа грозовых разрядов широкополосными приборами.

Таблица 2

Пункт	Месяц						Сумма разрядов за год	Число разрядов на 100 км ²	Число разрядов на землю на 100 км ²
	IV	V	VI	VII	VIII	IX			
Воейково		104	328	673	654	48	1 807	140	70
Киев . . .		1759	472	1512	222		3 965	315	126
Одесса . . .	58	503	7776	1953	1739	208	12 237	970	390

Примечание. Число разрядов на землю в процентах от общего числа принято следующим: Воейково 50%, Киев 40%, Одесса 40%.

В табл. 3 приводятся материалы регистраций числа молний приборами с разрешающей способностью 10 гц за три летних месяца, а также для сравнения аналогичные данные для Воейково.

Таблица 3

Чувствительность прибора, в/м	Месяц		
	VI	VII	VIII
1	53 000	54 000	5 000
5	4 000	5 000	1 000
10	—	—	—
15	500	400	100
20	100	100	—
Воейково			
1	40 800	33 000	10 100
5	2 400	2 400	2 000
10	500	1 100	700
15	300	500	—
20	200	400	200

Из табл. 3 видно, что и в этом случае в Киеве в августе отмечается пониженная грозовая деятельность.

Если же сравнивать характер грозовой деятельности в Киеве и Воейково, то можно заметить, что в Киеве она значительно сильнее. Этот вывод делается на основании показаний ПРГ1 и широкополосных приборов с пороговым уровнем 1 и 5 в/м. Что касается более высоких уровней, то здесь статистика недостаточно велика, чтобы можно было делать какие-либо выводы. В этом случае одна сильная гроза непосредственно над пунктом наблюдения может резко изменить картину.

Следует отметить, что численные значения количества разрядов, приведенные в табл. 3, несравнимы с данными, приведенными в табл. 2, так как приборы с полосой частот 2—20 кгц регистрируют преимущественно разряды на землю, в то время как приборы с полосой 56—62 кгц регистрируют разряды на землю и облачные разряды.

В 1964 г. в Киеве велись также наблюдения за числом возвратных ударов в молниевом разряде. Для этой цели применялись однотипные грозорегистраторы, но с различной разрешающей способностью. Это достигалось применением различных регистрирующих устройств на выходе прибора. Одна серия приборов имела на выходе механический регистратор с разрешающей способностью 10 гц, другая серия — электронный регистратор с разрешающей способностью 500 гц. Так как временные интервалы между последовательными компонентами молниевых ударов (возвратными ударами) имеют порядок нескольких десятков миллисекунд (40—50) [3], то приборы с разрешающей способностью 10 гц не могли различать повторных ударов и регистрировали молниевый удар в целом. Приборы с разрешающей способностью 500 гц регистрировали все возвратные удары, составляющие молниевый разряд. Отношение числа разрядов, зарегистрированных прибором с разрешающей способностью 500 гц, к числу разрядов, зарегистрированных прибором с разрешающей способностью 10 гц, даст число возвратных ударов. Регистрация повторных разрядов производилась приборами с частотным диапазоном 2—20 кгц и чувствительностью 100 мв/м (эффективный радиус действия прибора 1000 км). Результаты наблюдений в Киеве представлены в табл. 4. (Число разрядов дано в тысячах.) Для сравнения приведены аналогичные данные по Воейково.

Таблица 4

Разрешающая способность прибора, гц	Месяц				
	VI	VII	VIII	IX	X
К и е в					
500	617	418	68	116	32
10	289	179	38	62	17
Отношение	2,1	2,3	1,8	1,9	1,8
В о е й к о в о					
500	415	570	320	56	51
10	216	213	146	32	36
Отношение	1,9	2,7	2,2	1,8	1,4

Из табл. 4 видно, что в 1964 г. существенной разницы в числе возвратных ударов в Киеве и Воейково нет.

Таблица 5

Разрешающая способность прибора, гц	Месяц									
	VI		VII		VIII		IX		X	
	д	н	д	н	д	н	д	н	д	н
500	112	126	102	58	3	20	51	94	11	6
10	52	68	49	31	2	13	16	32	5	3
Отношение	2,1	1,8	2,1	1,9	1,5	1,5	3,2	3,0	2,0	2,0

Можно отметить, что число возвратных ударов в летние месяцы больше, чем в осенние, и в Киеве и в Воейково. Интересно рассмотреть число возвратных ударов в дневные и ночные часы. К дневным часам отнесены интервалы времени от 9,00 до 15,00 час., а к ночным — от 21,00 до 03,00 час. местного времени. Результаты наблюдений приведены в табл. 5, где число разрядов указано в тысячах.

Из табл. 5 видно, что ночью число возвратных ударов несколько меньше, чем днем. Действительно, за период июнь—октябрь среднее значение числа возвратных ударов для дневных часов составляет 2,3, для ночных 2,1.

Увеличение числа возвратных ударов в летние месяцы и в дневные часы можно объяснить более интенсивными процессами электрического заряжения грозных облаков, которые в свою очередь вызываются более интенсивными конвективными и турбулентными движениями восходящих потоков воздуха.

РЕГИСТРАЦИЯ ЛИДЕРНОЙ СТАДИИ ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДОВ

Приводятся данные о регистрации лидерных процессов грозовых разрядов за период грозового сезона 1964 г. Получена закономерность изменения с расстоянием r амплитуд лидеров A_d , выражаемая соотношением

$A_d \sim r^{-\frac{3}{2}}$. Исследования показали, что отношение амплитуд основного разряда к амплитудам лидера не остается постоянным, а возрастает с увеличением r .

Среднее время между лидером и основным разрядом оказалось равным 1070 мксек.

Применяемая аппаратура

В 1964 г. в Ленинградской области (Воейково) проводились наблюдения за лидерной стадией грозовых разрядов. Для регистрации лидерных процессов грозовых разрядов в течение грозового сезона (апрель—сентябрь) применялась установка, состоящая из приемной антенны, катодного повторителя, предварительного усилителя, блока задержки, блока запуска, осциллографа с приставкой, обеспечивающей растровую развертку. В качестве приемной антенны была использована вертикальная антенна высотой 10 м и диаметром 60 мм, установленная таким образом, что высота ее основания над уровнем земли составляла 1 м. Действующая высота антенны принималась равной 5 м, а эквивалентная емкость — 110 пф.

Катодный повторитель предназначался для согласования антенны со входом усилительного тракта установки.

Предварительный усилитель использовался для компенсации ослабления сигнала, получающегося на RC -фильтрах, которые обеспечивали выделение рабочей полосы частот (0,5—50 кгц).

Блок запуска растровой развертки предназначался для получения выдержки времени, необходимого для устранения возможности наложения регистрируемых кривых.

Блок задержки обеспечивает сдвиг сигнала по отношению к моменту запуска развертки осциллографа на 3 мсек.

Фоторегистрация лидерных процессов проводилась с экрана осциллографа ЭО-58.

Методика наблюдений

Для получения сведений о местоположении атмосферика, лидерная стадия которого регистрируется, была использована европейская сеть радиогониометров, состоящая из 6 пунктов. Синхронизация работы европейского куста с проводимой нами регистрацией производилась следующим образом. Импульс подсветки, формируемый в приставке осциллографа, одновременно использовался и для подсветки электронно-лучевой трубки пеленгатора, установленного на пункте наблюдения.

который являлся одним из командных пунктов европейского куста. Таким образом обеспечивалась синхронность работы регистрирующей установки и командного пеленгатора.

Синхронизация работы всего куста пеленгаторов проводилась обычным порядком при помощи передачи с командного пункта синхронизирующих сигналов. После передачи командного сигнала оператором, работающим на пеленгаторе, наблюдатель, проводящий регистрацию лидерных процессов, вводит входной потенциометр канала запуска развертки осциллографа с приставкой и ждет появления первого атмосферика. Принятый атмосферик вызывает срабатывание канала запуска, что сопровождается появлением изображения на экране осциллографа ЭО-58 и одновременно появлением импульса на экране пеленгатора, а также срабатыванием командного реле, дающего сигнал синхронизации на передатчик командного пункта. Принимая этот сигнал, операторы других пунктов куста пеленгации определяют азимуты зарегистрированного атмосферика.

После регистрации одного атмосферика оператор выводит входной потенциометр канала запуска, передвигает пленку на один кадр и ждет следующего командного сигнала, после этого процесс повторяется. В конце каждого сеанса проводится калибровка усилительного тракта прибора путем регистрации калибровочного напряжения, соответствующего напряженности поля 1 или 0,25 в/м, подаваемого на вход предварительного усилителя. После определения координат зарегистрированных грозовых разрядов их азимуты и удаленность записывались над соответствующими кадрами. Каждый кадр нумеровался в соответствии с клеткой пеленгационного бланка.

Результаты наблюдений

При выполнении данной работы одной из основных задач являлось определение характера изменения амплитудных значений лидера с расстоянием. Решение этой задачи на основании экспериментальных данных представляет особый интерес, так как этот вопрос не освещен в литературе.

На основании измерений частотного спектра основных разрядов и предразрядов [1] можно ожидать, что убывание амплитуды лидера с расстоянием должно быть более резким, чем для основного разряда. Действительно, спектр предразряда сдвинут в сторону более высоких частот по сравнению со спектром основного разряда, а при распространении высокие частоты ослабляются сильнее.

Для получения зависимости изменения амплитуды лидера A_d с расстоянием r было использовано 876 четких регистраций лидерного процесса совместно с основным разрядом. Однако искусственный отбор только тех осциллограмм, на которых амплитуда лидера превышает по величине пороговое значение, искажает общий ход зависимости $A_d = f(r)$.

Действительно, при таком отборе увеличиваются осредненные значения A_d на больших расстояниях, тогда как на малых расстояниях они остаются почти без изменения. Следовательно, для выявления зависимости $A_d = f(r)$ необходимо ввести некоторую корреляционную функцию, изменяющуюся с расстоянием.

Для определения корреляционной функции экспериментальным путем определялась зависимость изменения числа пороговых значений A_d от расстояния, полученная с учетом удельных весов наблюдений на

разных r . Получены следующие значения корреляционной функции F для разных r :

$F\%$	39	48	54	64	66	71	68	82	99
r км	300	900	1100	1300	1500	1700	1900	2100	2900

Таким образом, при больших r F увеличивается с расстоянием почти по линейному закону.

Гистограмма изменения амплитуд лидеров с расстоянием с учетом поправок дана на рис. 1. Над каждым интервалом расстояний приведено число случаев наблюдений. Интервал осреднения выбран равным

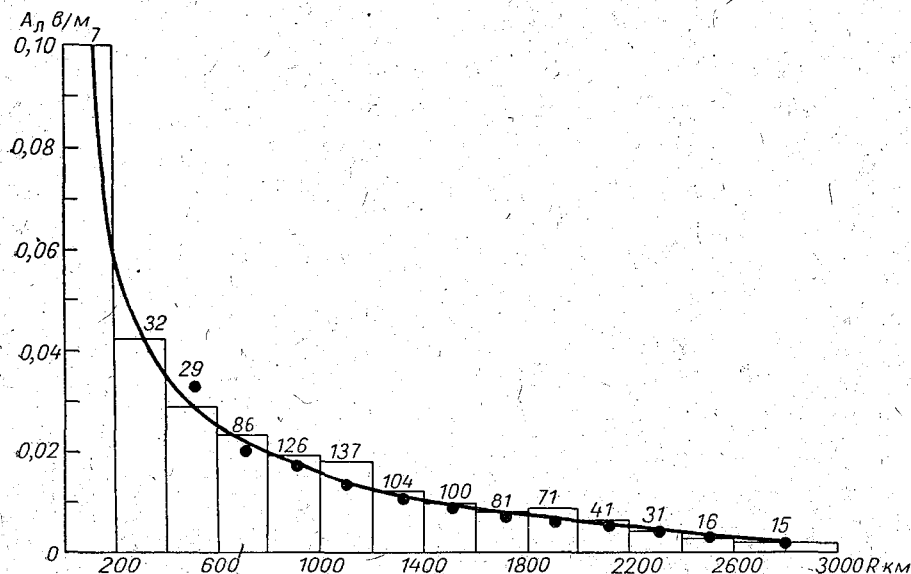


Рис. 1. Гистограмма изменения с расстоянием амплитуд лидеров. Сплошная линия — экспериментальные данные, точки — данные, рассчитанные по формуле (1).

200 км. Из рис. 1 следует, что кривая $A_{л}=f(r)$ убывает с расстоянием примерно по следующему закону:

$$A_{л} = \frac{A_0}{r^{\frac{2}{3}}}. \quad (1)$$

Можно отметить хорошее совпадение экспериментальных данных с вычисленными по формуле (1) при $r > 400$ км. При $r < 400$ км расхождение кривых больше, что, вероятно, связано с малым числом случаев наблюдений.

Особый интерес представляет выявление различия в ослаблении амплитуд основного разряда A_p и лидера $A_{л}$ при распространении. Для выявления этого различия были построены графики зависимости отно-

шения $\frac{A_p}{A_{л}} = F(r)$ (рис. 2) (кривая 2 дает отношение амплитуды основного разряда A_p к максимальной амплитуде лидера $A_{л. макс}$, предшествующего данному разряду, кривая 1 — к осредненной амплитуде всех лидеров этого разряда). Число измерений указано над каждой точкой. Из рис. 2 видно, что кривые 1 и 2 идут параллельно друг другу на всем протяжении. Это свидетельствует о пропорциональности между величиной амплитуды основного разряда и максимальной и средней

амплитудой лидера. Отношение $\frac{A_p}{A_l}$ растет с увеличением расстояния до разряда, это говорит о том, что ослабление амплитуды основного разряда меньше, чем ослабление амплитуды лидера. Разница в ослаблении A_p и A_l возрастает с увеличением расстояния. Вид зависимости $\frac{A_p}{A_l} = F(r)$ в логарифмическом масштабе определялся графическим методом. Оказалось, что зависимость $\lg \frac{A_p}{A_l}$ от $\lg r$ линейна для обеих кривых рис. 2. Показатель степени расстояния с точностью до 10% совпадает для кривых 1 и 2 и равен $1/7$. Если принять во внимание, что амплитуды

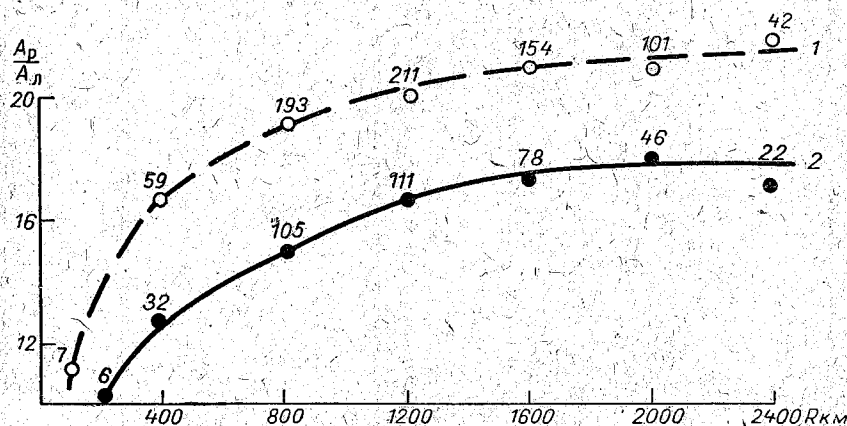


Рис. 2. Изменение с расстоянием отношения амплитуд основного разряда A_p к амплитудам лидера A_l .

$$1 - \frac{A_p}{A_{л. ср}}, \quad 2 - \frac{A_p}{A_{л. макс}}$$

основного разряда убывают с расстоянием пропорционально $r^{-\frac{4}{3}}$ [2], то после несложных расчетов получим изменение с расстоянием амплитуд лидеров. Оказывается, что максимальные и осредненные амплитуды лидеров убывают с расстоянием пропорционально $r^{-\frac{3}{2}}$. Следует отметить, что определение зависимости $A_l = f(r)$ по отношению $\frac{A_p}{A_l}$ обладает тем преимуществом, что оно свободно от ошибок, связанных с градуировкой и нестабильностью работы аппаратуры.

Хорошее совпадение характера убывания A_l с расстоянием, полученное двумя различными методами, свидетельствует об отсутствии систематических ошибок при расчетах и измерениях. Определение отношений

$\frac{A_p}{A_{л. макс}}$ и $\frac{A_p}{A_{л. ср}}$ дает следующие результаты:

$$\frac{A_p}{A_{л. макс}} = 10 \quad \text{и} \quad \frac{A_p}{A_{л. ср}} = 20.$$

Гистограмма отношений $\frac{A_p}{A_{л. макс}}$ и $\frac{A_p}{A_{л. ср}}$ в процентах к общему числу случаев дана на рис. 3 (а и б соответственно). Из рис. 3 видно, что

наиболее вероятное значение отношений $\frac{A_p}{A_{л. макс}} = 5$. Это хорошо согласуется с имеющимися литературными данными. Отношение же $\frac{A_p}{A_{л. ср}}$,

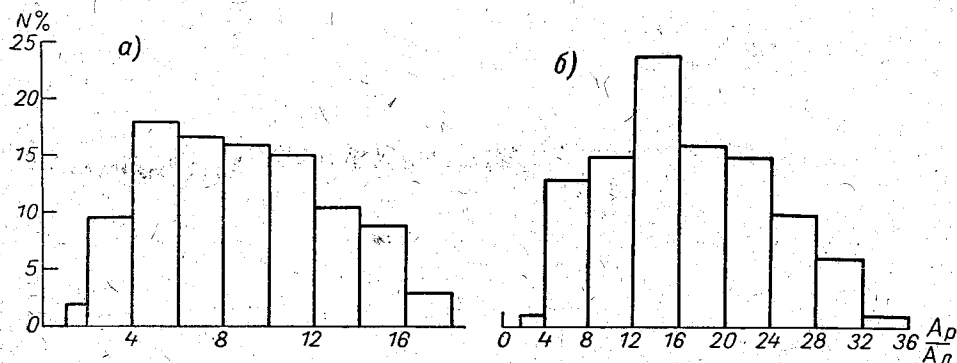


Рис. 3. Гистограмма отношений $\frac{A_p}{A_{л. макс}}$ (а) и $\frac{A_p}{A_{л. ср}}$ (б).

построенное по 787 случаям, имеет наиболее вероятное значение при $\frac{A_p}{A_{л. ср}} = 12$.

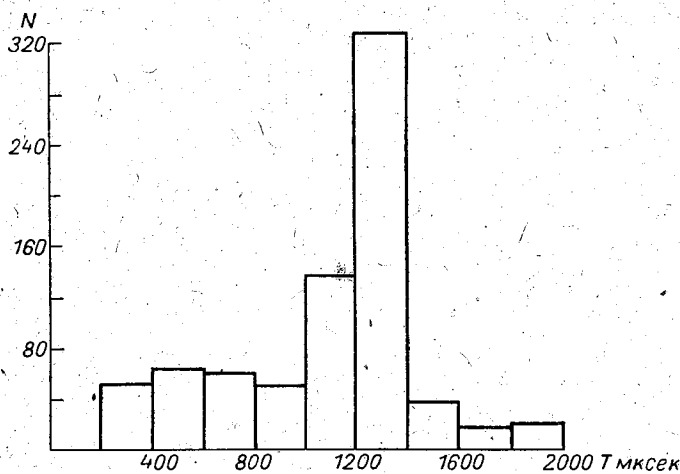


Рис. 4. Вероятностное распределение времени между лидером и основным разрядом.

В связи с тем что отношение $\frac{A_p}{A_{л.}}$ возрастает с увеличением расстояния до грозового разряда, средние и наиболее вероятные значения $\frac{A_p}{A_{л.}}$ будут зависеть от удельного веса числа наблюдений на каждом фиксированном расстоянии. Поэтому для сравнимости данных имеет смысл приводить значения $\frac{A_p}{A_{л.}}$ к определенному расстоянию, пользуясь зависимостью $\frac{A_p}{A_{л.}} = F(r)$.

По данным 787 случаев наблюдений было построено вероятностное распределение времени T между лидером и основным разрядом (рис. 4).

Интервал осреднения выбран равным 200 мксек. Полученное экспериментальным путем наиболее вероятное значение T располагается в промежутке 1200—1400 мксек. Среднее значение T равно 1070 мксек., что хорошо согласуется с данными, полученными другими авторами.

ВЫВОДЫ

1. Амплитуды лидеров убывают с расстоянием резче, чем амплитуды основных разрядов. Изменение с расстоянием амплитуд лидеров может быть описано формулой (1).

2. Отношение амплитуды основного разряда к максимальной и осредненным амплитудам лидера растет с увеличением расстояния до разряда.

3. Наиболее вероятное значение (P_v) отношения амплитуды основного разряда к максимальной амплитуде лидера равно 5 при среднем значении $P_{cp} = 10$.

Для отношения амплитуды разряда к осредненным значениям амплитуды лидера получено соответственно $P_v = 12$ и $P_{cp} = 20$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Распространение длинных и сверхдлинных радиоволн. Сб. статей под ред. В. Б. Пестрякова. ИЛ, М., 1960.
2. Махоткин Л. Г. Статистика атмосферных радиопомех. Геомагнетизм и аэрономия, № 2, т. 3, 1963.

К. А. СЕМЕНОВ

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ГРОЗОВЫМИ РАЗРЯДАМИ В ВОЕЙКОВО И НА о. ВАЛААМ В 1964 г.

Приводятся результаты сравнения числа разрядов по двум однотипным грозорегистраторам, рассчитана активность гроз за 1964 г.

1. Сравнение числа разрядов

Сравнение числа разрядов, получаемых однотипными грозорегистраторами, возможно в тех случаях, когда известны их параметры (чувствительность, высота антенны над поверхностью земли, длина антенны и т. д.). В связи с этим в 1964 г. в Воейково было проведено сравнение числа разрядов по двум грозорегистраторам ПРГ-1 [1] с одинаковыми параметрами: чувствительность $E_1 = E_2 = 0,3$ в; $h_1 = h_2 = 2,3$ м (h — высота нижнего конца антенны над поверхностью земли); длина вертикально установленной антенны $l_1 = l_2 = 3,5$ м. Результаты сравнения сведены в табл. 1, где g_1 и g_2 — число разрядов, зарегистрированных соответственно первым и вторым приборами. Из табл. 1 видно, что расхождение по числу разрядов не превышает 10%.

Таблица 1

Месяц	Число разрядов		g_1/g_2
	g_1	g_2	
Июнь	4205	4040	1,04
Июль	4676	4138	1,13
Итого	8881	8178	1,08

2. Активность гроз в Воейково и на о. Валаам в 1964 г.

Запись грозовых разрядов в Воейково и на о. Валаам производилась грозорегистраторами типа ПРГ-1, параметры которых указаны в табл. 2. Эффективный радиус действия $R_{\text{эф}}$ определялся в зависимости от этих параметров [2, 3]. Для приборов, установленных на о. Валаам, введена поправка $R_{\text{эф}}$ в зависимости от чувствительности E . В табл. 2 приведены значения G^* и $G(T)$, где G^* — число разрядов на км^2 за период май—сентябрь, $G(T)$ — число разрядов на км^2 в час, T — полный период наблюдения в часах. Для Валаама G^* рассчитано за май—июль. Для сравнения в табл. 2 даны значения G^* и $G(T)$ за 1962 и 1963 гг.

Таблица 2

G^*				$G(T) \cdot 10^3$		
Воейково						
E_B	1,5	0,7	0,3	1,5	0,7	0,3
h_M	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
$R_{эф. км}$	10	21	52	10	21	52
1962 г.	3,2	4,3	3,4	0,9	1,2	1,0
1963 г.	8,4	8,1	8,7	2,3	2,2	2,4
1964 г.	6,0	7,6	3,7	1,9	2,4	1,1
о. Валаам						
E_B	1,5	0,7	0,3	1,5	0,7	0,3
h_M	5,6	5,6	5,2	5,6	5,6	5,2
$R_{эф. км}$	15	33	78	15	33	78
1962 г.	4,3	2,5	3,0	1,9	1,1	1,3
1963 г.	5,4	2,7	5,9	2,0	1,0	2,3
E_B	1,5	0,8	0,4	1,5	0,8	0,4
h_M	5,6	5,6	5,2	5,6	5,6	5,2
$R_{эф. км}$	15	28	57	15	28	57
1964 г.	1,0	1,0	2,8	0,5	0,5	1,4

В 1964 г. в районе Воейково наблюдалось неравномерное распределение разрядов по площади. В табл. 3 приведено число дней с наиболее активными грозами, за которые было отмечено примерно 60% всех

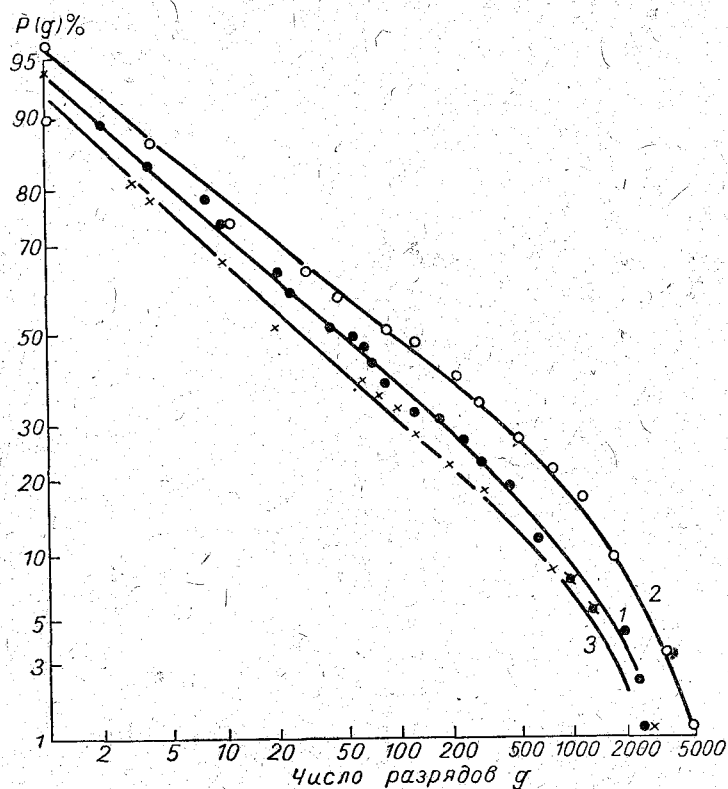


Рис. 1. Распределение числа разрядов за отдельные сутки с грозой за 1962 г. (1), 1963 г. (2), 1964 г. (3).

зарегистрированных за сезон разрядов. Из табл. 3 видно, что в 1964 г. эти разряды приняты в течение 3—6 суток, а в 1962 и 1963 гг. — за 10—13 суток. Вероятно, малое число гроз с большим числом разрядов приводит к их неравномерному распределению по площади.

Таблица 3

	1962 г.			1963 г.			1964 г.		
	$R_{эф}$ км								
	10	21	52	10	21	52	10	21	52
	число суток с грозами								
	10	11	11	10	10	13	3	6	5
g_1	578	3589	16 913	1518	6 517	42 925	1103	6 330	18 777
g_2	976	6082	29 061	2563	11 095	73 116	1807	10 571	31 178
$g_1/g_2\%$. . .	59	59	58	59	59	59	60	60	60

Примечание. g_1 — число разрядов за указанное число суток,
 g_2 — число разрядов за весь период наблюдения.

На рис. 1 дано распределение числа разрядов за отдельные сутки с грозой за 1962, 1963 и 1964 гг. по приборам с чувствительностью E , равной 0,3 в.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лыздар П. С. Полупроводниковые грозорегистраторы. Труды ГГО, вып. 157, 1964.
2. Семенов К. А. Некоторые результаты испытаний грозорегистраторов с малым радиусом действия. Труды ГГО, вып. 157, 1964.
3. Махоткин Л. Г., Семенов К. А. Статистика грозových разрядов. Труды ГГО, вып. 146, 1963.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОГОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АТМОСФЕРИКОВ И ИХ СВЯЗЬ С ПРОЦЕНТОМ ЗАНЯТОГО ВРЕМЕНИ

Представлены результаты исследования порогового распределения числа атмосфериков в полосе частот 1,5—16 кгц за период март 1963 г. — январь 1964 г.

Получена формула для пересчета числа атмосфериков в процент занятого времени, т. е. количество времени в процентах по отношению к общему времени измерения, в течение которого результирующее поле атмосфериков превышало заданный пороговый уровень.

В 1963 г. отделом атмосферного электричества ГГО были организованы наблюдения за числом атмосферных помех (атмосфериков), создающих напряженность поля в месте приема, превышающую уровни 10, 20, 50 и 100 мв/м.

Установка состоит из штыревой антенны высотой 2,8 м, линейного усилителя, прибора для регистрации числа атмосфериков (без самописца) и прибора для регистрации числа совпадений и антисовпадений (ПР).

Кроме того, в установке имеется программирующее двухканальное устройство (ПДУ), работу которого автор и описал в статье [1].

Линейный усилитель предназначен для усиления сигналов атмосфериков. Полоса пропускания усилителя определяется двумя фильтрами, находящимися в середине схемы усилителя. Кроме этого, на входе предусилителя (выносной блок) включен *RC*-фильтр. Введение *RC*-фильтра вызвано следующим обстоятельством. Первая лампа выносного блока не имеет фильтрующих звеньев и усиливает звук в широкой полосе частот. На ней происходит частичное детектирование сигналов широко-вещательных станций, и выделенные таким образом звуковые частоты, лежащие в пределах исследуемого диапазона, усиливаются, так же как и полезные сигналы, и отмечаются счетчиками.

RC-фильтр, включенный между коаксиальным кабелем и сеткой первой лампы выносного блока, препятствует прохождению частот средневолнового и длинноволнового диапазонов. Этим же фильтром удалось устранить помехи, вызванные работой ионосферной станции.

Частотная характеристика линейного усилителя с кабелем, соединяющим вход усилителя с антенной, снятая через эквивалент антенны, на рабочем участке от 1,5 до 16 кгц имеет неравномерность не более 5 дб. Из линейного усилителя сигналы поступают на прибор для регистрации числа атмосферных помех. Прибор для регистрации числа атмосферных помех в нашей установке предназначен для выработки прямоугольного импульса с крутыми фронтами. Он срабатывает от импульсов обеих полярностей. Неравномерность его частотной характеристики в диапазоне 1,5—16 кгц не превышает 5 дб.

Разрешающее время прибора составляет 1 мсек. Выработанный прибором прямоугольный импульс подается на вход прибора ПР. Введение между линейным усилителем и ПР прибора для выработки прямоугольного импульса вызвано тем обстоятельством, что чувствительность ПР зависит от фронта импульсов. Прибор для регистрации совпадений применяется в нашей установке для подсчета импульсов, выработанных предыдущим прибором.

Разрешающая способность всей установки определяется разрешающей способностью прибора для регистрации числа атмосферных помех и равна 1000 гц/сек.

Методика наблюдений. Наблюдения за числом атмосфериков производятся в течение двух 48-часовых циклов в месяц. В течение часа производятся отсчеты на каждом из четырех уровней по 15 мин. каждый.

При обработке полученные данные пересчитываются на один час. Перед каждым циклом наблюдений производится калибровка аппаратуры.

Результаты наблюдений. В итоге проведенной работы накоплен материал с марта 1963 г. по январь 1964 г. Этот материал позволит рассмотреть различные характеристики атмосфериков, однако в настоящей статье обсудим только две: пороговое распределение атмосфериков и зависимость между числом атмосфериков и занятым временем.

Распределение числа атмосфериков по различным пороговым уровням хорошо аппроксимируется по степенному закону

$$\lg N_E = (\lg E_0 - \lg E) q, \quad (1)$$

где N_E — число атмосфериков, зарегистрированных на пороговом уровне E в час, E_0 — напряженность поля, соответствующая одному атмосферик в час, которая получается путем экстраполяции прямой, q — параметр, который находится из графика.

Пример такой аппроксимации представлен на рис. 1, где нанесены две прямые порогового распределения атмосфериков из одного цикла наблюдений за 20/XII 1963 г.

Прямая 1 соответствует периоду максимального числа атмосфериков, прямая 2 — периоду минимального числа. Формула (1) справедлива для порогового распределения атмосфериков в пределах значений $E = 10 \div 100$ мв/м.

В табл. 1 дано распределение параметров q и E_0 за период с марта 1963 г. по январь 1964 г., охватывающий все сезоны года.

Как видно из табл. 1, параметр q лежит, как правило, в пределах $1 < q < 2$, и только в нескольких случаях его значение превышало 2.

Что касается E_0 , то оно подвержено большим изменениям, однако в распределении его величин имеется некоторая закономерность. Из 38 случаев, приведенных в табл. 1, в 30 случаях значение E_0 не превышало 15 в/м и только в 8 случаях превышало эту величину. Случаи, когда значение E_0 превышало 15 в/м, в большинстве имели место в период грозового сезона в северном полушарии (июль, август, сентябрь). Если построить график $q = f(E_0)$ и обозначить q_1 значение параметра q для периода минимальной активности гроз и q_2 — для максимальной активности, то можно найти их средние значения (табл. 2).

Рассмотрим зависимость между числом атмосфериков и занятым временем.

На ПР и ПДУ 25—27/III 1963 г. произведена 48-часовая серия синхронных наблюдений. Показания ПДУ путем несложного пересчета преобразуют в процент занятого времени, т. е. количество времени

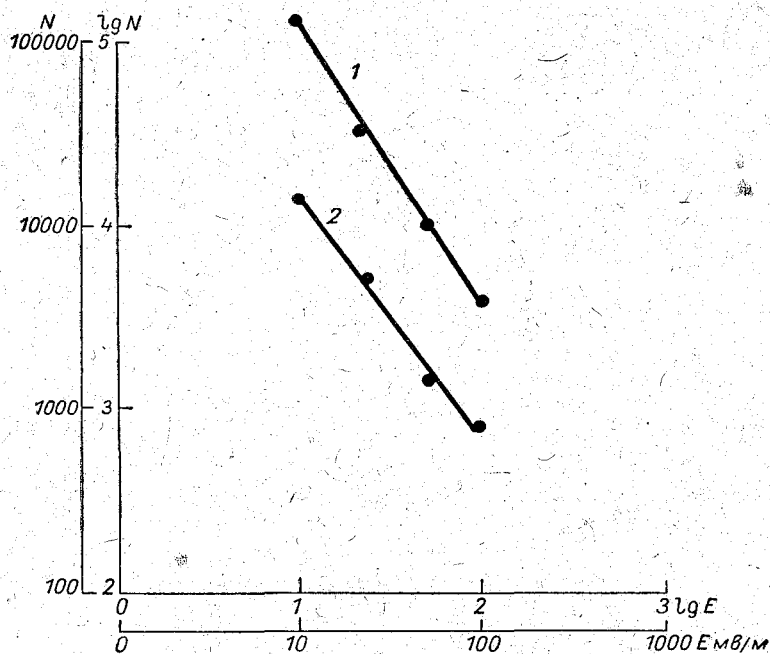


Рис. 1. Аппроксимация измеренных значений $N(E)$ по формуле (1), 20/XII 1963 г.

1 — 0,0—1,0 час, $q=1,5$, $E_0=20$ в/м; 2 — 11,0—12,6 час., $q=1,3$, $E_0=12$ в/м.

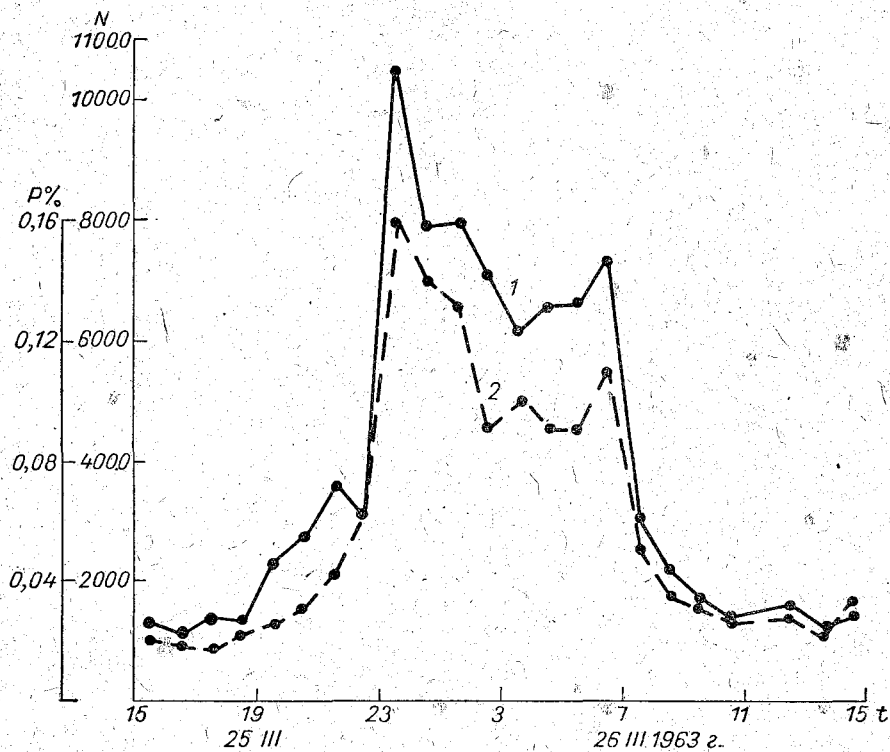


Рис. 2. Суточный ход числа атмосфериков и процента занятого времени для уровня 100 в/м.

1 — число атмосфериков, 2 — процент занятого времени.

в процентах по отношению к общему времени измерения, когда результирующее поле атмосфериков превышало заданный пороговый уровень.

Таблица 1

Месяц	Период минимального количества атмосфериков				Период максимального количества атмосфериков			
	число	время, часы	q	E_0 в/м	число	время, часы	q	E_0 в/м
1963 г.								
III	16	12—13	2,0	1,0	17	0—1	2,3	2,0
III	26	13—14	1,6	4,0	26	0—1	2,0	3,0
IV	11	0—1	1,8	3,5	11	18—19	1,4	6,0
IV	25	9—10	1,7	3,0	25	1—2	2,0	2,0
V	4	10—11	2,0	1,1	4	1—2	2,6	1,5
VI	4	9—10	1,5	4,5	4	0—1	1,6	10,0
VI	18	0—1	1,8	3,0	18	13—14	2,0	4,5
VII	2	7—8	1,3	30,0	2	11—12	1,8	15,0
VII	18	7—8	1,1	200,0	18	16—17	1,2	500,0
VIII	4	0—1	2,0	9,0	4	7—8	1,6	10,0
VIII	18	11—12	1,3	30,0	19	0—1	2,5	2,2
IX	4	8—9	1,1	70,0	4	0—1	1,2	200,0
IX	21	11—12	1,7	3,0	21	0—1	1,4	30,0
X	6	11—12	1,9	1,5	6	0—1	2,0	3,0
X	18	11—12	1,8	1,5	18	0—1	1,8	8,0
XI	11	12—13	1,6	3,0	11	0—1	1,9	9,0
XII	4	13—14	1,7	3,0	4	0—1	1,8	9,0
XII	20	11—12	1,3	12,0	20	0—1	1,5	20,0
1964 г.								
I	5	10—11	2,3	1,1	5	0—1	1,7	8,0

Длительность наблюдений на ПР на каждом из уровней 10, 20, 50 и 100 мВ/м составляет 15 мин. и начинается соответственно в 0, 15, 30, 45 мин. каждого часа. Одновременно с ПР включается ПДУ на том же

Таблица 2

	E_0 в/м					
	1	3	10	30	100	300
q_1	2,1	1,6	1,4	1,2	1,2	1,1
q_2	2,5	2,2	1,7	1,4	1,3	1,2

пороговом уровне. Длительность измерений на ПДУ составляет 9 мин. Данные ПДУ пересчитываются в 15 мин. и производится сравнение с данными ПР.

На рис. 2 сравнивается суточный ход числа атмосфериков, отмеченных ПР, и суммарный, т. е. положительный и отрицательный, процент занятого времени. Напомним, что прибор регистрации также фиксирует положительные и отрицательные импульсы. Из этого графика видно, что имеется определенная зависимость между числом атмосфериков и процентом занятого времени.

Перейдем теперь к количественным соотношениям между числом атмосфериков и процентом занятого времени. Необходимость получения таких соотношений обусловлена следующей причиной. Приборы типа ПДУ дорогостоящи и сложны в эксплуатации и установка их в различных пунктах обширной территории нецелесообразна. Что касается

приборов регистрации или им подобных, то они просты в эксплуатации и надежны в работе. Нужно заметить, что в приборе регистрации используются только электронный и механический счетчики и что прибор может работать и без линейного усилителя. Таким образом, получается небольшая установка, состоящая из прибора для регистрации числа атмосфериков и быстродействующего счетчика.

Необходимо, чтобы разрешающее время всей установки было не больше чем 1 мсек. Данные о числе атмосфериков, полученные в такой простой установке, можно пересчитать в процент занятого времени, пользуясь инженерной формулой, полученной нами из сравнения синхронных наблюдений на ПР и ПДУ,

$$P = NK, \quad (2)$$

где P — процент занятого времени, N — число атмосфериков, отмеченных простой установкой за 15 мин., K — коэффициент пропорциональности.

Коэффициент пропорциональности подсчитывается из отношения процента занятого времени, отмеченного прибором ПДУ, к количеству атмосфериков, подсчитанных ПР за тот же срок.

Такие отношения подсчитываются за каждый час для каждого порогового уровня. При этом получается некоторый разброс значений коэффициента, но, как правило, его значение лежит в пределах $(1 < K < 2) \times 10^{-5}$. Средние значения коэффициента пропорциональности представлены в табл. 3.

Таблица 3

E мв/м	$K \cdot 10^{-5}$
10	1,63
20	1,70
50	1,69
100	1,70

Как видно, величина K практически не зависит от порога.

Пример расчета. Счетчиком атмосфериков с полосой пропускания 1,5—16 кгц и разрешающей способностью не меньше чем 1000 гц для чувствительности по полю 50 мв/м отмечено за 15 мин. 250 разрядов. Коэффициент пропорциональности $K_{50} = 1,69 \cdot 10^{-5}$. Подсчитаем процент занятого времени:

$$P_{50} = NK_{50} = 250 \cdot 1,69 \cdot 10^{-5} = 0,0042\%$$

Из материалов наблюдений оказалось очевидным, что формула (2) справедлива как для максимального числа атмосфериков, равного 72 тыс. атмосфериков в час (25/111 1963 г. в 7 час.) на уровне 10 мв/м, так и для минимального числа, равного 100 разрядам в час (25/111 1963 г. в 18 час. 45 мин.) на уровне 100 мв/м, что для практических целей вполне достаточно. Это составляет менее 2% занятого времени.

ВЫВОД

Экспериментально наблюдаемые кривые порогового распределения числа атмосфериков, зарегистрированных в широкой полосе частот, хорошо аппроксимируются степенным законом.

Пользуясь данными простой установки для регистрации числа атмосфериков, можно рассчитать процент занятого времени с помощью формулы (2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Огурьев С. Е. Некоторые результаты исследования поля атмосферных радиопомех в широкой полосе частот. Труды ГГО, вып. 177, 1965.

УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ БЛИЗКИХ ГРОВОВЫХ ОЧАГОВ С ОДНОГО ПУНКТА

Дается описание и принципиальная схема установки, позволяющей определять азимуты и приближенное расстояние до грозовых очагов с одного пункта. Для определения азимута использован метод радиогониометра, а для приближенного определения расстояния использован пятиступенчатый амплитудный анализатор, работающий на частоте около 60 кгц.

Радиогониометры (катодные пеленгаторы), которыми снабжена сеть пунктов Гидрометслужбы СССР, служат для определения местоположения грозовых очагов. Каждый в отдельности пункт, где размещены радиогониометры, дает только пеленги грозовых разрядов, а сеть, состоящая из трех или более пунктов, позволяет определить координаты грозовых разрядов, по которым определяется местоположение грозовых очагов. Полученные в пункте обработки координаты грозовых очагов в виде телеграмм передаются в местные бюро погоды и АМСГ.

Многолетний опыт эксплуатации радиогониометров в системе Гидрометслужбы показывает, что для штормоповещения, для более оперативного обслуживания полетов авиации, для предсказания образования селей необходимы установки, которые бы определяли местонахождение грозовых очагов из одного пункта, а использование таких установок совместно с радиолокаторами позволило бы разделять ливни и грозы.

В 1961 г. в отделе атмосферного электричества ГГО была сделана подобная установка. Трехлетняя эксплуатация установки как самостоятельно, так и с радиолокатором (Воейково, Калинин и Ашхабад) показывает, что установка позволяет в радиусе до 200 км определять местоположение грозовых очагов с приемлемой точностью, а совместная работа установки с радиолокатором позволяет уверенно разделять грозовые очаги от ливней.

Установка состоит из двух самостоятельных блоков: блока дальности и блока азимутов (рис. 1).

Блок дальности представляет собой систему, состоящую из пяти индикаторов, настроенных на разные чувствительности. Каждый индикатор состоит из входной части, к которой при помощи экранированного кабеля длиной 10 м присоединяется штыревая антенна высотой 3,5 м, мультивибратора, усилителя постоянного тока, электромагнитного счетчика, блока световой сигнализации и контрольного устройства (рис. 2).

Блок дальности позволяет производить оценку расстояния до ближайшего очага по следующим интервалам: меньше 15, 15—50, 50—100, 100—150 и 150—200 км. Такая оценка дается независимо для каждого

отдельного направления. При этом правильность указания интервала расстояний обеспечивается примерно на 90%. Так как работа схем всех пяти индикаторов аналогична и отличается только пороговой чувствительностью, то ниже дается описание схемы одного индикатора.

Индикатор срабатывает от импульсов грозовых разрядов обеих полярностей.

Электродвижущая сила, наведенная в антенне от импульса грозового разряда, поступает на вход схемы индикатора. Для срабатывания схемы от импульсов любой полярности вход схемы имеет выпрямительное устройство, состоящее из трансформатора Tr_1 и диодов D_1 , D_2 (рис. 2).

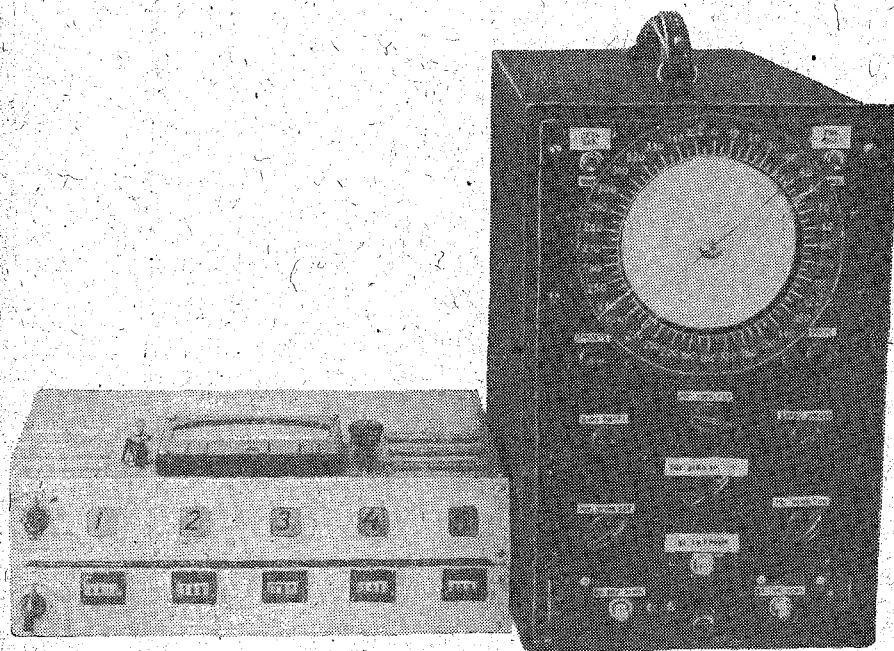
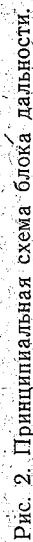


Рис. 1. Общий вид блока азимутов и блока дальности.

Мультивибратор, собранный на триодах T_1 и T_2 , работает следующим образом. В исходном положении триод T_2 открыт, а триод T_1 закрыт. При поступлении отрицательного импульса на вход мультивибратора через триод T_1 начинает проходить ток. Этот ток вызывает изменение напряжения на коллекторе триода T_1 , которое через конденсатор C_2 передается на основание триода T_2 и закрывает его. После разряда конденсатора C_2 триод T_2 открывается, а триод T_1 закрывается. Так повторяется каждый раз, когда в антенне возникает ЭДС от грозового разряда.

При работе мультивибратора импульсы через конденсатор C_3 подаются на усилитель, собранный на триодах T_3 и T_4 . В цепи коллектора триода T_4 установлен электромагнитный счетчик, который регистрирует число грозовых разрядов. Одновременно при работе мультивибратора напряжение с коллектора триода T_1 подается через цепочку R_8C_4 на блок световой сигнализации. В цепь коллектора триода T_3 этого блока включено электромагнитное реле, которое замыкает цепь питания лампочки L_1 световой сигнализации. Лампочка будет гореть



T_{10} — транзисторы; сопротивления: $R_1 = R_{15} = R_{30} = R_{57} = 110$ ком, $R_2 = R_4 = R_5 = R_6 = R_8 = R_{10} = R_{11} = R_{47} = R_{51} = R_{53} = R_{59} = R_{67} = 6,2$ ком, $R_{14} = R_{16} = R_{18} = R_{24} = R_{26} = R_{28} = R_{34} = R_{36} = R_{38} = R_{40} = R_{42} = R_{44} = R_{46} = R_{48} = R_{50} = R_{52} = R_{54} = R_{56} = R_{58} = R_{60} = R_{62} = R_{64} = R_{66} = R_{68} = R_{70} = R_{72} = R_{74} = R_{76} = R_{78} = R_{80} = R_{82} = R_{84} = R_{86} = R_{88} = R_{90} = R_{92} = R_{94} = R_{96} = R_{98} = R_{100} = R_{102} = R_{104} = R_{106} = R_{108} = R_{110} = R_{112} = R_{114} = R_{116} = R_{118} = R_{120} = R_{122} = R_{124} = R_{126} = R_{128} = R_{130} = R_{132} = R_{134} = R_{136} = R_{138} = R_{140} = R_{142} = R_{144} = R_{146} = R_{148} = R_{150} = R_{152} = R_{154} = R_{156} = R_{158} = R_{160} = R_{162} = R_{164} = R_{166} = R_{168} = R_{170} = R_{172} = R_{174} = R_{176} = R_{178} = R_{180} = R_{182} = R_{184} = R_{186} = R_{188} = R_{190} = R_{192} = R_{194} = R_{196} = R_{198} = R_{200} = R_{202} = R_{204} = R_{206} = R_{208} = R_{210} = R_{212} = R_{214} = R_{216} = R_{218} = R_{220} = R_{222} = R_{224} = R_{226} = R_{228} = R_{230} = R_{232} = R_{234} = R_{236} = R_{238} = R_{240} = R_{242} = R_{244} = R_{246} = R_{248} = R_{250} = R_{252} = R_{254} = R_{256} = R_{258} = R_{260} = R_{262} = R_{264} = R_{266} = R_{268} = R_{270} = R_{272} = R_{274} = R_{276} = R_{278} = R_{280} = R_{282} = R_{284} = R_{286} = R_{288} = R_{290} = R_{292} = R_{294} = R_{296} = R_{298} = R_{300} = R_{302} = R_{304} = R_{306} = R_{308} = R_{310} = R_{312} = R_{314} = R_{316} = R_{318} = R_{320} = R_{322} = R_{324} = R_{326} = R_{328} = R_{330} = R_{332} = R_{334} = R_{336} = R_{338} = R_{340} = R_{342} = R_{344} = R_{346} = R_{348} = R_{350} = R_{352} = R_{354} = R_{356} = R_{358} = R_{360} = R_{362} = R_{364} = R_{366} = R_{368} = R_{370} = R_{372} = R_{374} = R_{376} = R_{378} = R_{380} = R_{382} = R_{384} = R_{386} = R_{388} = R_{390} = R_{392} = R_{394} = R_{396} = R_{398} = R_{400} = R_{402} = R_{404} = R_{406} = R_{408} = R_{410} = R_{412} = R_{414} = R_{416} = R_{418} = R_{420} = R_{422} = R_{424} = R_{426} = R_{428} = R_{430} = R_{432} = R_{434} = R_{436} = R_{438} = R_{440} = R_{442} = R_{444} = R_{446} = R_{448} = R_{450} = R_{452} = R_{454} = R_{456} = R_{458} = R_{460} = R_{462} = R_{464} = R_{466} = R_{468} = R_{470} = R_{472} = R_{474} = R_{476} = R_{478} = R_{480} = R_{482} = R_{484} = R_{486} = R_{488} = R_{490} = R_{492} = R_{494} = R_{496} = R_{498} = R_{500} = R_{502} = R_{504} = R_{506} = R_{508} = R_{510} = R_{512} = R_{514} = R_{516} = R_{518} = R_{520} = R_{522} = R_{524} = R_{526} = R_{528} = R_{530} = R_{532} = R_{534} = R_{536} = R_{538} = R_{540} = R_{542} = R_{544} = R_{546} = R_{548} = R_{550} = R_{552} = R_{554} = R_{556} = R_{558} = R_{560} = R_{562} = R_{564} = R_{566} = R_{568} = R_{570} = R_{572} = R_{574} = R_{576} = R_{578} = R_{580} = R_{582} = R_{584} = R_{586} = R_{588} = R_{590} = R_{592} = R_{594} = R_{596} = R_{598} = R_{600} = R_{602} = R_{604} = R_{606} = R_{608} = R_{610} = R_{612} = R_{614} = R_{616} = R_{618} = R_{620} = R_{622} = R_{624} = R_{626} = R_{628} = R_{630} = R_{632} = R_{634} = R_{636} = R_{638} = R_{640} = R_{642} = R_{644} = R_{646} = R_{648} = R_{650} = R_{652} = R_{654} = R_{656} = R_{658} = R_{660} = R_{662} = R_{664} = R_{666} = R_{668} = R_{670} = R_{672} = R_{674} = R_{676} = R_{678} = R_{680} = R_{682} = R_{684} = R_{686} = R_{688} = R_{690} = R_{692} = R_{694} = R_{696} = R_{698} = R_{700} = R_{702} = R_{704} = R_{706} = R_{708} = R_{710} = R_{712} = R_{714} = R_{716} = R_{718} = R_{720} = R_{722} = R_{724} = R_{726} = R_{728} = R_{730} = R_{732} = R_{734} = R_{736} = R_{738} = R_{740} = R_{742} = R_{744} = R_{746} = R_{748} = R_{750} = R_{752} = R_{754} = R_{756} = R_{758} = R_{760} = R_{762} = R_{764} = R_{766} = R_{768} = R_{770} = R_{772} = R_{774} = R_{776} = R_{778} = R_{780} = R_{782} = R_{784} = R_{786} = R_{788} = R_{790} = R_{792} = R_{794} = R_{796} = R_{798} = R_{800} = R_{802} = R_{804} = R_{806} = R_{808} = R_{810} = R_{812} = R_{814} = R_{816} = R_{818} = R_{820} = R_{822} = R_{824} = R_{826} = R_{828} = R_{830} = R_{832} = R_{834} = R_{836} = R_{838} = R_{840} = R_{842} = R_{844} = R_{846} = R_{848} = R_{850} = R_{852} = R_{854} = R_{856} = R_{858} = R_{860} = R_{862} = R_{864} = R_{866} = R_{868} = R_{870} = R_{872} = R_{874} = R_{876} = R_{878} = R_{880} = R_{882} = R_{884} = R_{886} = R_{888} = R_{890} = R_{892} = R_{894} = R_{896} = R_{898} = R_{900} = R_{902} = R_{904} = R_{906} = R_{908} = R_{910} = R_{912} = R_{914} = R_{916} = R_{918} = R_{920} = R_{922} = R_{924} = R_{926} = R_{928} = R_{930} = R_{932} = R_{934} = R_{936} = R_{938} = R_{940} = R_{942} = R_{944} = R_{946} = R_{948} = R_{950} = R_{952} = R_{954} = R_{956} = R_{958} = R_{960} = R_{962} = R_{964} = R_{966} = R_{968} = R_{970} = R_{972} = R_{974} = R_{976} = R_{978} = R_{980} = R_{982} = R_{984} = R_{986} = R_{988} = R_{990} = R_{992} = R_{994} = R_{996} = R_{998} = R_{1000} = R_{1002} = R_{1004} = R_{1006} = R_{1008} = R_{1010} = R_{1012} = R_{1014} = R_{1016} = R_{1018} = R_{1020} = R_{1022} = R_{1024} = R_{1026} = R_{1028} = R_{1030} = R_{1032} = R_{1034} = R_{1036} = R_{1038} = R_{1040} = R_{1042} = R_{1044} = R_{1046} = R_{1048} = R_{1050} = R_{1052} = R_{1054} = R_{1056} = R_{1058} = R_{1060} = R_{1062} = R_{1064} = R_{1066} = R_{1068} = R_{1070} = R_{1072} = R_{1074} = R_{1076} = R_{1078} = R_{1080} = R_{1082} = R_{1084} = R_{1086} = R_{1088} = R_{1090} = R_{1092} = R_{1094} = R_{1096} = R_{1098} = R_{1100} = R_{1102} = R_{1104} = R_{1106} = R_{1108} = R_{1110} = R_{1112} = R_{1114} = R_{1116} = R_{1118} = R_{1120} = R_{1122} = R_{1124} = R_{1126} = R_{1128} = R_{1130} = R_{1132} = R_{1134} = R_{1136} = R_{1138} = R_{1140} = R_{1142} = R_{1144}$

в течение 4—5 сек., для того чтобы оператор успел отсчитать азимут приходящего атмосферика по лимбу блока азимутов. Блок дальности имеет контрольное устройство, которое необходимо для установки фиксированных порогов срабатывания отдельных индикаторов при изго-

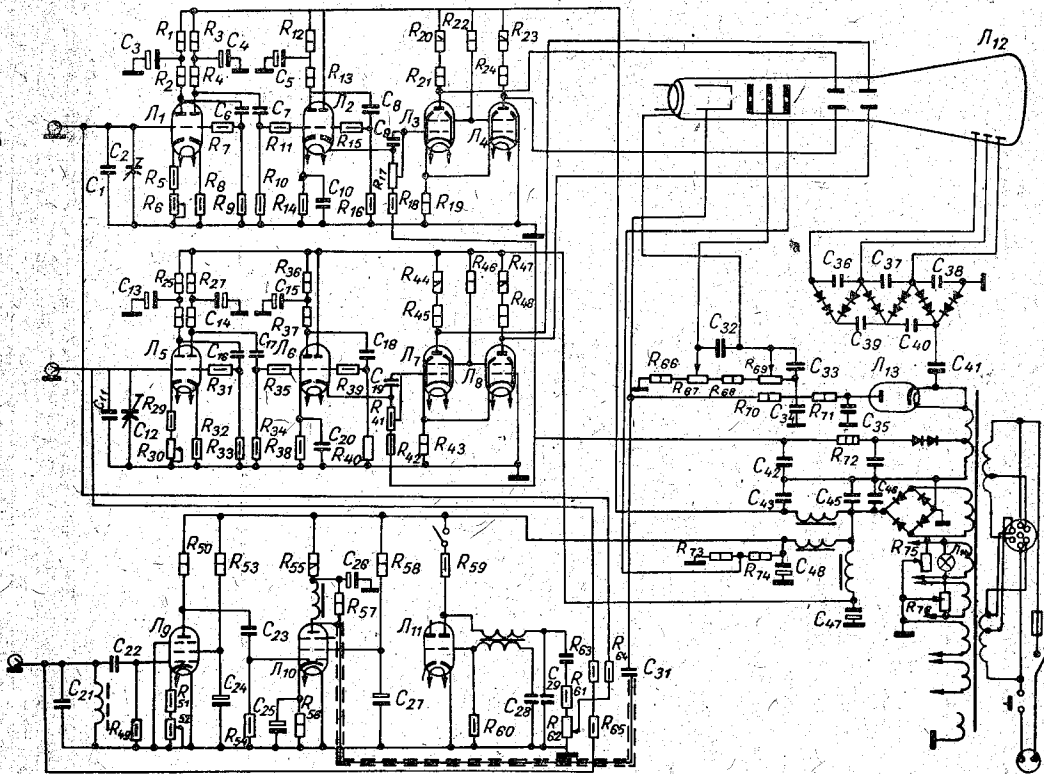


Рис. 3. Принципиальная схема блока азимутов.

Радиолампы: Л₁, Л₂, Л₅, Л₆, Л₁₁ — 6Н8С, Л₃, Л₄, Л₇, Л₈ — 6П16С, Л₉ — 6Ж4, Л₁₀ — 6П19, Л₁₃ — 2П12С; Л₁₂ — 13Л054в — электронная трубка; сопротивления: R₁=R₃=R₁₂=R₁₇=R₂₀=R₂₃=R₂₅=R₂₇=R₃₈=R₄₁=R₄₄=R₄₇=R₆₂=20 ком, R₂=R₄=R₁₃=R₂₆=R₂₈=R₃₇=30 ком, R₅=24 ком, R₆=R₃₀=R₇₂=6,8 ком, R₇=R₁₁=R₁₅=R₃₁=R₃₅=R₃₉=R₅₄=1 ком, R₈=R₁₄=R₂₉=R₃₂=R₃₈=2,4 ком, R₉=R₁₆=R₃₃=R₄₀=R₄₉=R₇₁=470 ком, R₁₀=R₃₄=R₅₅=R₅₇=10 ком, R₁₈=R₄₂=270 ком, R₁₉=R₄₆=390 ком, R₂₁=R₂₄=R₄₅=R₄₈=4,3 ком, R₂₂=R₄₆=R₅₆=R₆₀=150 ком, R₅₀=22 ком, R₆₁=200 ком, R₅₂=3,8 ком, R₅₃=160 ком, R₆₈=91 ком, R₆₉=R₇₁=400 ком, R₇₀=98 ком, R₆₃=R₆₄=15 ком; R₆₅=Π ком, R₆₆=680 ком, R₆₇=220 ком, R₆₈=R₇₀=100 ком, R₇₃=180 ком, R₇₄=240 ком, R₇₅=R₇₆=1,5 ком; конденсаторы: C₁, C₁₁ — 0,03, C₂, C₁₂ — 10×100 в, C₃, C₄, C₅, C₁₃, C₁₄, C₁₅, C₂₄, C₂₆, C₂₇ — 100×450 в, C₆, C₁₂ — 180, C₇, C₈, C₁₇, C₁₈, C₂₂ — 0,07, C₉, C₁₉ — 4700, C₁₀, C₂₀, C₃₉ — 0,01, C₂₁, C₂₃ — 0,025, C₂₅ — 100×50 в, C₂₈ — 430, C₂₉ — 100, C₃₁ — 6200×1500 в, C₃₂, C₃₃ — 0,1, C₃₄, C₃₅ — 0,25, C₃₆, C₃₇, C₃₈, C₃₉, C₄₀ — 10 000, C₄₁ — 0,1×1500 в, C₄₂, C₄₅ — 20,0×450 в; C₄₃, C₄₇, C₄₈ — 40,0×450 в, C₄₄ — 1,0×600 в, C₄₆ — 10×600 в.

товлении блока и для проверки его исправности в процессе эксплуатации:

Номер индикатора . . .	1	2	3	4	5
Порог срабатывания (в вольтах)	1,50	1,00	0,60	0,45	0,25

Расхождение по чувствительности в зависимости от полярности контрольных импульсов не превышает ±10% указанных величин. Контрольная схема снабжена также вольтметром, позволяющим проверять напряжения батарей питания индикаторов. Ток, потребляемый каждым

индикатором, равен 1,3 ма при отсутствии сигнала на входе и 60 ма в момент срабатывания под действием сигнала. Блок дальности работает устойчиво при температуре от 0 до +60°.

Чтобы определить местонахождение грозового очага, необходимо знать не только расстояние, но и азимут расположения очага. Для определения азимута грозового очага служит малогабаритный односторонний катодный пеленгатор. В комплект этого пеленгатора входят две взаимно перпендикулярные рамочные антенны размерами 60×60 см, штыревая антенна высотой 3,5 м, три усилителя, контрольный генератор, визуальный блок и блок питания. Антенны размещаются вне помещения, на площадке размерами 10×10 м. Все остальные блоки пеленгатора смонтированы на шасси 500×350×220 мм. Пеленгатор позволяет определять азимуты прихода атмосфериков с точностью ±2,5°.

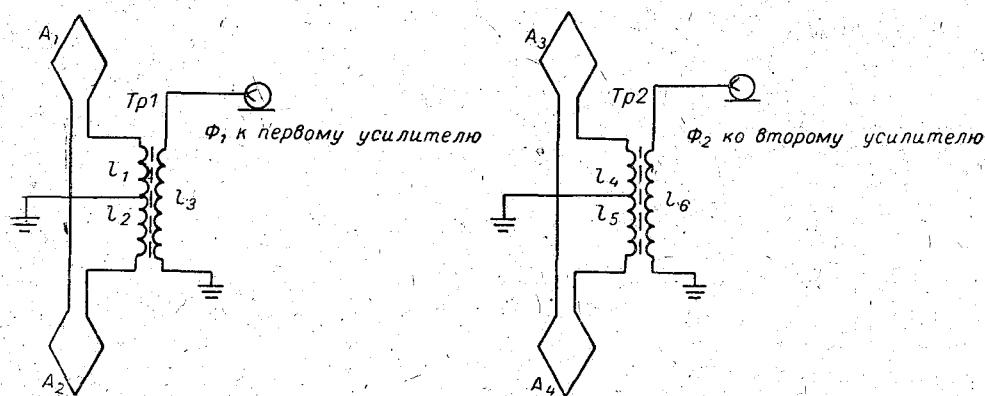


Рис. 4. Принципиальная схема рамочных антенн.

Рамочные антенны ориентированы в направлении север—юг и восток—запад и соединяются с усилителями высокочастотными кабелями РК-19 длиной 30 м каждый. Рамочная антенна север—юг соединяется с первым усилителем (разъем Φ_1), рамочная антенна восток—запад соединяется со вторым усилителем (разъем Φ_2) (рис. 4).

Штыревая антенна соединяется с третьим усилителем также кабелем РК-19 длиной 10 м (разъем Φ_3). ЭДС, наведенные грозовым разрядом в рамочных и штыревой антеннах, подаются на контуры, настроенные на частоту 10 кгц, а с них на усилители.

Апериодические усилители выполнены по обычной реостатной схеме. Коэффициент усиления каждого усилителя составляет 65 дб. Сигналы с выходов первого и второго усилителей подаются на отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). Подсветка ЭЛТ осуществляется напряжением, снимаемым с выхода третьего усилителя, причем фаза этого напряжения установлена в таком соответствии с фазами выходных напряжений первых двух усилителей, что на экране ЭЛТ подсвечивается только половина эллипса, соответствующая истинному направлению прихода атмосферика, а вторая половина эллипса запирается.

Для контроля работы усилителей блока азимутов используется контрольный генератор, который работает по принципу блокинг-генератора и позволяет получить пилообразные импульсы частотой 10 кгц. Питание блока азимутов осуществляется переменным напряжением 220 в.

Б. К. ИНЬКОВ

КОНТРОЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ПРОВЕРКИ РАБОТЫ ПЕЛЕНГАТОРА АТМОСФЕРИКОВ

Описывается один из возможных вариантов выявления ошибок пеленгования, связанных с влиянием местных условий, путем пеленгования радиостанций, работающих в диапазоне сверхдлинных волн при помощи применяемых в настоящее время пеленгаторов атмосфериков, используя метод гетеродинного приема.

В используемых сейчас пеленгаторах атмосфериков имеются контрольные генераторы, которые обеспечивают получение контрольного сигнала или в виде незатухающих колебаний с частотой, равной рабочей частоте пеленгатора, или в виде импульсов, имеющих частоту следования порядка нескольких герц. Импульсы обычно имеют довольно крутой передний фронт со временем нарастания порядка 10 мксек. и более плавный спад.

Контрольный сигнал при помощи кабелей подается на вспомогательные рамки, имеющиеся на рамочных антеннах пеленгатора. При помощи ступенчатого делителя выходного напряжения в контрольном генераторе можно подавать на вспомогательные рамки напряжения контрольного сигнала, соответствующие углам 0, 15, 30, 45, 60, 75 и 90°. Таким образом, при помощи сигналов, получаемых от контрольного генератора, можно осуществить проверку правильности настройки усилительных трактов пеленгатора, включая рамочные антенны и индикаторную электронно-лучевую трубку. Пользуясь сигналами контрольного генератора, можно проверить равенство усиления приемных каналов пеленгатора, а также тождественность их частотных и фазовых характеристик. Кроме того, при помощи сигналов контрольного генератора можно проверить правильность установки электронно-лучевой трубки, перпендикулярность ее отклоняющих пластин и центровку луча. Таким образом, при помощи контрольного генератора можно выявить инструментальные ошибки пеленгатора. Однако, кроме инструментальных ошибок, при пеленговании большое значение имеют ошибки, связанные с влиянием местности, на которой установлены пеленгационные рамочные антенны (влияние рельефа, проводимости почвы, построек и т. п.). Выявить такого рода ошибки при помощи контрольного генератора, работающего на резонансной частоте усилительного тракта пеленгатора, невозможно. Для определения этих ошибок в настоящее время используется статистический метод [1], заключающийся в сравнении данных о местоположении грозových очагов, получаемых путем пеленгования, с синоптическими данными. Сравнение производится в течение

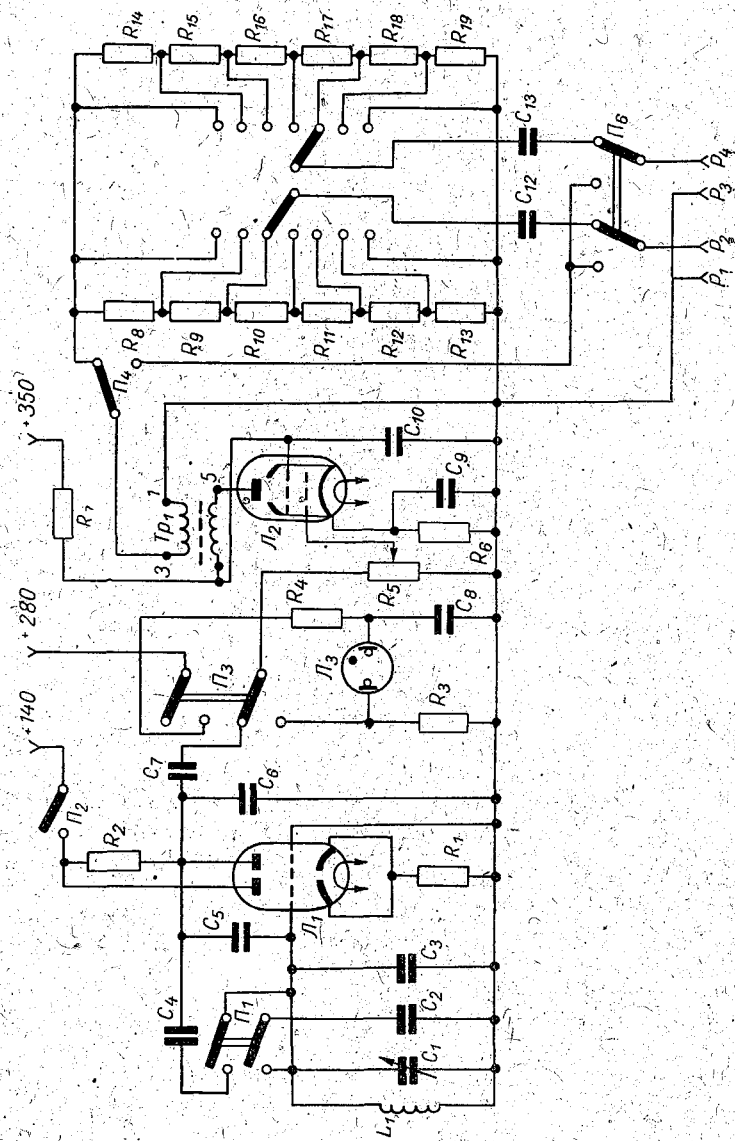


Рис. 1. Принципиальная схема контрольного генератора.

Лампы: Л₁ — 6Н8С, Л₂ — 6П6С, Л₃ — 6Н3; сопротивления: R₁ = 330 ом, R₂ = 20 ком, R₃ = 750 ом, R₄ = 1,5 ком, R₅ = 10 ком, R₆ = 330 ом, R₇ = 6 ком, R₈ = 25 ом, R₉ = 60 ом, R₁₀ = 85 ом, R₁₁ = 115 ом, R₁₂ = 125 ом, R₁₃ = 130 ом, R₁₄ = 130 ом, R₁₅ = 125 ом, R₁₆ = 115 ом, R₁₇ = 85 ом, R₁₈ = 60 ом, R₁₉ = 25 ом; конденсаторы: C₁ — 360 пф, C₂ — 4700 пф, C₃ — 100 пф, C₄ — 360 пф, C₅ — 35 пф, C₆ — 1,0 мкф, C₇ — 100 мкф, C₈ — 0,25 мкф, C₉ — 1,0 мкф, C₁₀ — 1,0 мкф, C₁₂ и C₁₃ — 500 пф.

длительного времени (6—12 месяцев). На основании полученного материала для каждого пеленгационного пункта составляются таблицы осредненных поправок, которыми и пользуются в дальнейшем при прокладке пеленгов на планшете. Недостатком этого метода является длительное время выявления поправок. Так как местные условия в районе размещения пеленгационного пункта могут с течением времени изменяться, было бы желательно иметь возможность достаточно быстро и регулярно определять эти поправки непосредственно на пункте наблюдения.

Наиболее полное представление о наличии ошибок, связанных с местными условиями, можно получить путем пеленгования искусственного излучателя, который может перемещаться вокруг пеленгационного

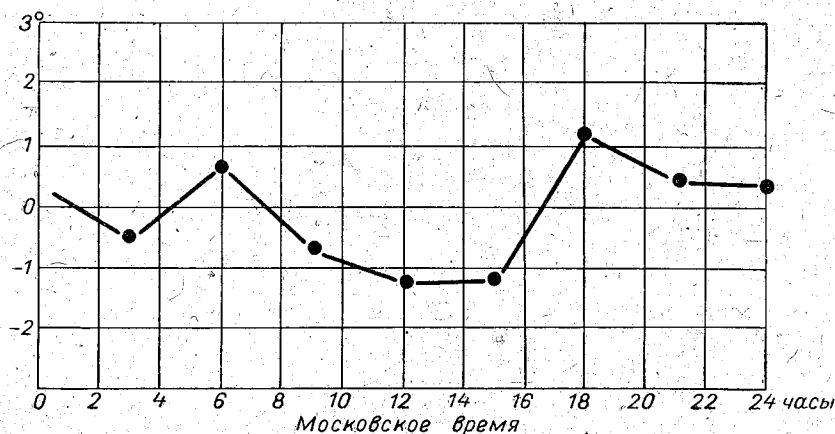


Рис. 2. Суточный ход отклонения пеленгов на радиостанцию (в среднем за два месяца).

пункта на расстоянии в несколько десятков километров. Однако осуществление такой проверки связано с большими техническими трудностями. Кроме того, практически невозможно достаточно часто проводить такого рода проверки. Технически более простым, но достаточно эффективным является способ выявления ошибок, связанных с влиянием местности, при помощи пеленгования радиостанций, работающих в диапазоне сверхдлинных волн (9—25 кгц).

Пеленгование этих станций можно осуществить, применив метод гетеродинного приема. В качестве гетеродина можно использовать контрольный генератор, который, кроме получения напряжения с частотой, соответствующей полосе пропускания приемников пеленгатора, мог бы генерировать напряжение в диапазоне частот 16—35 кгц, необходимое для гетеродинирования. Схема такого контрольного генератора представлена на рис. 1.

Задающий генератор (лампа L_1) собран по общеизвестной схеме. Он может вырабатывать переменное напряжение в диапазоне частот 6,8—7,2 кгц при замкнутом переключателе P_1 или в диапазоне частот 16—35 кгц при разомкнутом переключателе P_1 . Получение импульсного напряжения обеспечивается при помощи релаксационного генератора, собранного на неоновой лампе L_3 . При помощи переключателя P_3 к управляющей сетке усилителя, собранного на лампе L_2 , может быть подключен или выход задающего генератора (верхнее положение переключателя P_3), или выход импульсного генератора (нижнее положение переключателя P_3). Анодной нагрузкой усилителя служит первичная

обмотка трансформатора Tr_1 , вторичная обмотка которого при помощи переключателя $П_4$ может быть подключена или к ступенчатому делителю напряжения $П_5$ (верхнее положение переключателя $П_4$), или через переключатель $П_6$ и гнезда P_1, P_2, P_3, P_4 на вспомогательные рамки (нижнее положение переключателя $П_4$). Схема усилителя (лампа $Л_2$) стандартна и пояснений не требует.

На ленинградском пункте пеленгования атмосфериков в течение нескольких месяцев регулярно перед каждым основным сеансом пеленгования при помощи описанного выше контрольного генератора проводились наблюдения за положением пеленгов на радиостанции GBR (16 кгц), FUB (16,8 кгц) и NAA (17,8 кгц). Наблюдения показали, что максимальные отклонения пеленга от истинного направления на эти радиостанции в среднем не превышают 2° (рис. 2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Временное руководство по инструментальным наблюдениям за грозами и обработке материалов наблюдений. ГУГМС, ГГО, Л., 1963.

Б. К. ИНЬКОВ

БЛОК ПОДСВЕТКИ ПЕЛЕНГАТОРА АТМОСФЕРИКОВ

Приводится описание схемы блока подсветки, позволяющей производить достаточно четкую регулировку порога срабатывания и времени восстановления, а также снизить влияние «ночного эффекта» за счет уменьшения длительности подсвечивающего импульса.

Длительная эксплуатация пеленгаторов на пунктах пеленгования гроз привела к выявлению некоторых недостатков схемы. В основном это относится к блоку подсветки. Задачей блока подсветки является формирование положительного импульса, необходимого для отпирания электронно-лучевой трубки во время прихода атмосферика. Срабатывание схемы блока подсветки должно происходить только в том случае, когда амплитуда атмосферика превысит определенный уровень. Причем этот уровень должен быть достаточно четко регулируемым. Кроме того, после каждого срабатывания схема подсветки должна иметь регулируемый интервал нечувствительности, во время которого схема не должна отпирать электронно-лучевую трубку даже при очень больших амплитудах атмосферика. Наличие такого «времени запрета» необходимо для того, чтобы исключить наложение на экране пеленгатора импульсов нескольких различных, но близких по времени возникновения атмосфериков, что сделало бы невозможным выделение нужного пеленга. Естественно также, что работа блока подсветки не должна зависеть от направления прихода атмосфериков.

Используемый в настоящее время в пеленгаторах блок подсветки выполняет перечисленные требования следующим образом. Для того чтобы устранить зависимость амплитуды пускового сигнала от направления прихода атмосферика, выходные напряжения приемников север—юг и восток—запад сдвигаются по фазе относительно друг друга на 90° и складываются. Затем суммарное напряжение ограничивается и используется для запуска мультивибратора с одним устойчивым состоянием. При срабатывании мультивибратора вырабатывается импульс подсветки длительностью 2,5 мсек. Чувствительность пусковой схемы может устанавливаться путем изменения уровня ограничения. Однако используемая схема ограничения работает недостаточно четко, в результате чего амплитуда пусковых импульсов и общая длительность их «пакета» может получиться весьма разнообразной, что оказывает сильное влияние на время срабатывания и время восстановления ждущего мультивибратора. Кроме того, длительность импульса подсветки

(2,5 мсек.) желательно уменьшить. При наличии в месте приема пространственной и поверхностной волн («ночной эффект») пеленгование сильно затруднено тем, что на экране пеленгатора атмосферик появляется в виде группы эллипсов различной амплитуды. Причем большая ось внешних эллипсов может составлять с большой осью внутренних (меньших по амплитуде) эллипсов заметный угол, достигающий иногда до $20-30^\circ$ [1]. Как правило, операторы, ведущие наблюдения на пеленгаторах, отсчитывают угол по большим внешним эллипсам, допуская, таким образом, заметную ошибку, так как достаточно часто большие амплитуды будут соответствовать пространственной волне, дающей искаженный пеленг. Известно, что пространственная волна приходит в точку приема несколько позже поверхностной волны. Максимальная задержка получается при малом расстоянии до источника сигнала, а при увеличении расстояния задержка уменьшается. Для расстояний 400—600 км, наиболее подверженных влиянию ночного эффекта, задержка составляет около 200 мсек. Таким образом, ночной эффект можно в значительной мере ослабить, уменьшив длительность импульса подсветки до 150—180 мсек. Еще сильнее укорачивать импульс подсветки нельзя, так как рабочая частота пеленгаторов 7000 гц, а делать импульс подсветки короче периода рабочей частоты нецелесообразно. Осуществить уменьшение длительности подсвечивающего импульса в существующей схеме блока подсветки вследствие указанных выше недостатков формирования пускового сигнала невозможно. Предлагаемая схема блока подсветки (рис. 1) позволяет в известной мере избавиться от перечисленных недостатков и обеспечить возможность достаточно четких регулировок порога запуска и времени нечувствительности. Эта схема состоит из следующих частей:

- 1) входной усилитель;
- 2) триггер с двумя устойчивыми состояниями и генератор возвращающих импульсов;
- 3) генератор подсвечивающих импульсов;
- 4) счетчик принятых атмосфериков;
- 5) схема запуска командного реле при пеленговании по выбранным азимутам;
- 6) блок питания.

Рассмотрим работу каждой части схемы.

Входной усилитель

Входной усилитель предназначен для формирования положительных пусковых импульсов с амплитудой, достаточной для срабатывания триггера с двумя устойчивыми состояниями. Формирование происходит следующим образом. Сначала, для устранения зависимости азимута прихода атмосферика от амплитуды пускового сигнала, напряжения, получаемые с выходов приемников север—юг и восток—запад, выпрямляются лампой L_1 , а затем складываются на общем сопротивлении R_1 . Вычитания в этом случае произойти не может, так как на сопротивлении R_1 выделяются однополярные напряжения. Полученное таким образом суммарное напряжение отрицательной полярности подается на управляющую сетку триода L_2 , который работает при нулевом смещении. Усиленный сигнал положительной полярности с анода этого триода через сопротивление R_3 подается на управляющую сетку лампы L_3 . При достижении пороговой амплитуды этот сигнал вызывает срабатывание триггера, собранного на лампе L_3 . Усиление, даваемое лампой L_2 , таково, что обеспечивает срабатывание блока подсветки при сигналах

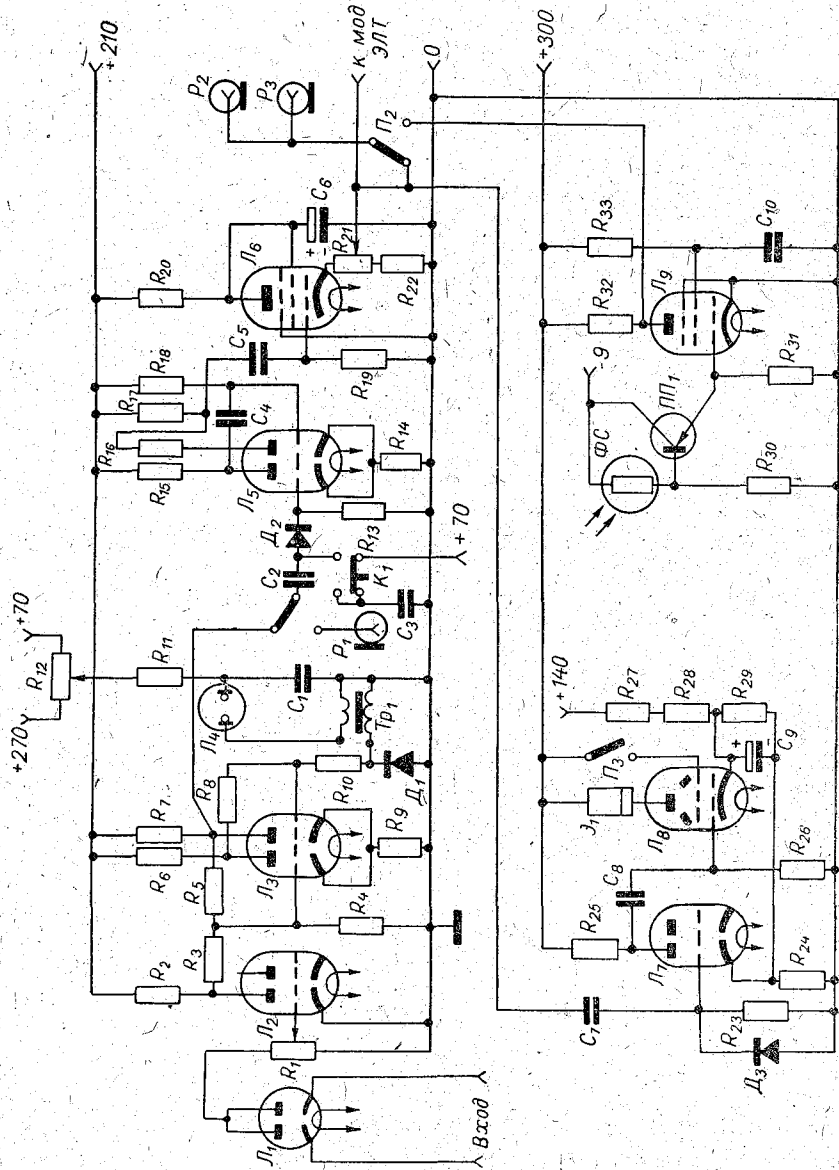


Рис. 1. Принципиальная схема блока подсветки.

Лампы: Л₁—6Х8С, Л₂—6Н9С, Л₃—6П6С, Л₄—6Н9С, Л₅—6П6С, Л₆—6П6С, Л₇—6Н9С, Л₈—6П6С, Л₉—6П6С; подпробники: Д₁, Д₂—Д7Ж, Д₃—Д2Ж, ЛП₁—ЛП₁₃; ФС — фотосопротивление; сопротивления: R₁=47 ком, R₂=300 ком, R₃=33 ком, R₄=100 ком, R₅=180 ком, R₆=20 ком, R₇=20 ком, R₈=180 ком, R₉=10 ком, R₁₀=100 ком, R₁₁=15,0 мом, R₁₂=1,5 мом, R₁₃=30 ком, R₁₄=3,6 ком, R₁₅=24 ком, R₁₆=2 ком, R₁₇=20 ком, R₁₈=1,0 мом, R₁₉=1,0 мом, R₂₀=5 ком, R₂₁=680 ом, R₂₂=300 ом, R₂₃=20 ком, R₂₄=100 ом, R₂₅=360 ком, R₂₆=510 ком, R₂₇=3,3 ком, R₂₈=3,3 ком, R₂₉=9,1 ком, R₃₀=1,0 мом, R₃₁=62 ком, R₃₂=100 ком, R₃₃=1,0 мом; конденсаторы: C₁—0,1 мкФ, C₂—100 пФ, C₃—1000 пФ, C₄—2200 пФ, C₅—0,05 мкФ, C₆—10,0 мкФ, C₇—50 пФ, C₈—0,1 мкФ, C₉—200,0 мкФ, C₁₀—0,05 мкФ.

атмосферика, создающих на экране пеленгатора штрих длиной 10—15 мм. Уменьшая усиление при помощи потенциометра R_1 , можно установить порог срабатывания, соответствующий атмосферикам, дающим любые большие размеры изображения. Использование в качестве переходного элемента активного сопротивления R_3 позволило с минимальными искажениями передать пусковой сигнал на лампу L_3 , что очень важно для четкого срабатывания триггера.

Триггер с двумя устойчивыми состояниями и генератор возвращающих импульсов

Так как амплитуда и длительность пускового сигнала, получаемого после входного усилителя, зависят от амплитуды и длительности принимаемых атмосфериков, использовать его для запуска ждущего мультивибратора с одним устойчивым состоянием невозможно. Поэтому в качестве промежуточного звена был использован триггер с двумя устойчивыми состояниями, собранный на лампе L_3 [2, 3]. Применение этой схемы позволяет полностью избавиться от повторных срабатываний независимо от величины амплитуды последующих атмосфериков. Работает схема следующим образом. В исходном состоянии левый триод лампы L_3 закрыт, а правый открыт. Под действием достаточно большого положительного пускового импульса левый триод открывается, в результате чего напряжение на сетке правого триода уменьшается, и схема переходит во второе устойчивое состояние, при котором левый триод открыт, а правый закрыт. Следующие положительные импульсы, поступающие на сетку левого триода, не смогут изменить это состояние. Большой и постоянный по амплитуде положительный перепад напряжения, получающийся на аноде правого триода при его заперении, используется для формирования сигнала, запускающего генератор подсвечивающих импульсов. Возвращение триггера, собранного на лампе L_3 , в исходное положение производится при помощи положительных импульсов, вырабатываемых релаксационным генератором, собранным на неоновой лампе L_4 . Возвращающие импульсы подаются на сетку правого триода лампы L_3 через сопротивление R_{10} . Интервал между возвращающими импульсами, а следовательно, и «время запрета» можно регулировать в достаточно широких пределах при помощи потенциометра R_{12} . Нужно отметить, что при таком способе создания выдержки времени может оказаться, что атмосферик будет принят перед самым моментом появления возвращающего импульса, и тогда схема будет подготовлена к приему следующего атмосферика значительно раньше, чем это было задано при регулировке частоты генератора возвращающих импульсов. Но такие условия наиболее вероятны в том случае, когда интервалы между принимаемыми атмосфериками сравнимы с интервалами между возвращающими импульсами, т. е. в том случае, когда интервалы между атмосфериками и так достаточно велики. В том же случае, когда атмосферика следуют друг за другом значительно быстрее, чем возвращающие импульсы, т. е. когда наиболее важно обеспечить необходимую выдержку времени между срабатываниями блока подсветки, указанные выше условия маловероятны и необходимое «время нечувствительности» будет выдерживаться достаточно четко.

Генератор подсвечивающих импульсов

Генератор подсвечивающих импульсов состоит из мультивибратора с одним устойчивым состоянием, собранного на лампе L_5 , и выходного

катодного повторителя (лампа L_6). Запуск мультивибратора осуществляется положительными импульсами при помощи дифференцирующей цепочки, состоящей из $C_2 D_2 R_{13}$, из положительного перепада напряжения, получающегося на аноде правого триода лампы L_3 при срабатывании триггера (см. выше). Полученные таким образом пусковые импульсы имеют постоянную длительность и амплитуду и не зависят от характера исходного сигнала, получаемого после входного усилителя. Вследствие этого срабатывание мультивибратора (лампа L_5) происходит очень четко. При помощи переключателя P_1 вход мультивибратора может быть переключен на разъем P_1 , через который могут быть поданы пусковые импульсы от любого внешнего источника. Кроме того, при помощи кнопки K_1 можно произвольно создавать пусковые импульсы, при помощи которых можно быстро проверить исправность схемы генератора подсвечивающих импульсов. Схема ждущего мультивибратора, собранного на лампе L_5 , стандартна [2, 3] и не требует пояснений. При наладке емкость конденсатора C_4 подбирается таким образом, чтобы длительность получаемых импульсов подсветки находилась в интервале 160—180 мксек. Чтобы не нарушать работу мультивибратора внешними нагрузками, выработанные им импульсы через конденсатор C_5 подаются на управляющую сетку катодного повторителя, собранного на лампе L_6 . С помощью потенциометра R_{21} , включенного в катод этой лампы, можно снимать положительный импульс подсветки, а также регулировать его амплитуду. Так как выходное сопротивление катодного повторителя невелико [2], то сопротивление нагрузок может быть не очень большим. Полученный таким образом подсвечивающий импульс через межблочные соединения подается на модулятор электронно-лучевой трубки, а также на внешние разъемы P_2 и P_3 , через которые он может быть использован для запуска командосинхронизирующего реле [4, 5], а также для синхронизации любых других устройств, которые необходимо использовать одновременно с пеленгатором. Кроме того, импульс подсветки используется для пуска счетчика числа принятых атмосфериков.

Счетчик числа принятых атмосфериков

В ряде случаев бывает необходимо знать количество грозовых разрядов, превышающих определенный амплитудный порог [3]. Для этой цели в блоке подсветки предусмотрено наличие электромеханического счетчика принимаемых атмосфериков. Схема, приводящая в действие счетчик, собрана на лампах L_7 и L_8 [4]. Так как для запуска этой схемы необходим импульс отрицательной полярности, то положительный прямоугольный импульс подсветки дифференцируется при помощи цепочки $C_7 R_{23}$. Получившийся в результате дифференцирования переднего фронта импульса подсветки положительный импульс закорачивается диодом D_3 , а отрицательный импульс, получившийся при дифференцировании заднего фронта, используется для запуска мультивибратора, обеспечивающего срабатывание счетчика. Работает схема следующим образом. В исходном положении лампа L_8 заперта напряжением, выделяющимся на сопротивлении R_{29} . Лампа L_7 открыта, так как смещение, получающееся на сопротивлении R_{24} , невелико. Отрицательный пусковой импульс, попадая на сетку лампы L_7 , запирает ее и вызывает появление на ее аноде большого положительного импульса. Через конденсатор C_8 этот импульс попадает на управляющую сетку лампы L_8 и отпирает ее. Значительный ток, проходящий через открытую лампу L_8 , вызывает

увеличение падения напряжения на сопротивлении R_{24} , что способствует поддержанию лампы L_7 в закрытом состоянии. После разряда конденсатора C_8 через сопротивление R_{26} лампа L_8 заперется и схема перейдет в исходное состояние. Ток, текущий через лампу L_8 во время ее открывания, имеет величину порядка 100 ма, а длительность пребывания ее в открытом состоянии около 0,05 сек., что достаточно для уверенного срабатывания счетчика.

Схема запуска командного реле при пеленговании по выбранным азимутам

Одним из возможных вариантов изменения методики наблюдений, проводимых на пунктах пеленгования атмосфериков, имеющих целью повышение оперативности получаемого материала, является методика подачи команд не по произвольным азимутам, а по направлениям, соответствующим азимутам максимальной грозовой активности. В основном эта методика сводится к следующему. Оператор командного пункта при помощи предварительных наблюдений выявляет азимуты наибольшей грозовой активности. Затем он последовательно передает серии команд, соответствующих атмосферикам, приходящим из этих азимутов. Причем перед каждой серией команд оператор сообщает азимут, по которому будут поданы команды. Таким образом, операторы не командных пеленгационных пунктов сразу же после сеанса имеют возможность быстро определить координаты пересечений своего и командного пеленга и передать полученный материал в центральный пункт обработки. В центральном пункте проводится только анализ полученных сведений, заключающийся в выделении координат очагов, подтверждаемых несколькими пеленгационными пунктами.

Техническая сторона этой методики сводится к обеспечению запуска командного реле только при приеме атмосфериков из выбранных азимутов. Сделать это можно различными способами. Например, при помощи непрозрачной маски можно выделить на экране электронно-лучевой трубки пеленгатора тот азимут, по которому необходимо вести пеленгование; для запуска командного реле можно установить у экрана светонепроницаемую камеру с фотоэлементом и использовать импульсы фототока, получающиеся в результате освещения фотоэлемента светом импульсов атмосфериков, появляющихся в выбранном азимуте. Однако при таком способе необходимо довольно большое усиление фототока, а также затруднено визуальное наблюдение за экраном пеленгатора. Устранить эти неудобства можно, располагая фотоэлемент или фотосопротивление непосредственно у экрана электронно-лучевой трубки. Используя фотосопротивление небольших размеров, можно обеспечить четкую работу командного реле и одновременное визуальное наблюдение за экраном пеленгатора. Так как фотосопротивление располагается непосредственно у экрана электронно-лучевой трубки, то для выделения нужного азимута достаточно одной диафрагмы, а количество света, действующее на фотосопротивление, таково, что достаточно простого усилителя, чтобы сформировать пусковой импульс для командосинхронизирующего реле. В схему усилителя фототока входят эмиттерный повторитель, собранный на триоде $ПП_1$, и усилитель на лампе L_9 (рис. 1). Величина фотосопротивления в затемненном состоянии составляет десятки мегом. Вследствие этого триод $ПП_1$ практически закрыт. В момент появления на экране пеленгатора импульса атмосферика в выбранном азимуте происходит освещение фотосопротивления. При этом

величина фотосопротивления уменьшается, что вызывает отпирание триода и появление на сопротивлении R_3 импульса отрицательной полярности. Этот импульс непосредственно действует на управляющую сетку лампы L_9 , которая имеет нулевое смещение и в исходном положении открыта. Под действием отрицательного импульса лампа L_9 закрывается, в результате чего на ее анодном сопротивлении появляется значительный по величине импульс положительной полярности, который и используется для запуска командосинхронизирующего реле.

Блок питания

Для питания описанной схемы блока подсветки используется блок питания, имеющийся в старом блоке подсветки. Никаких переделок в схеме блока питания не производилось.

Таким образом, конструктивно описанная схема блока подсветки выполнена целиком на шасси старого блока. Все внутренние разъемы и межблочные соединения сохранены. Схема счетчика принятых атмосфериков смонтирована на отдельной монтажной плате, которая укрепляется на шасси в месте, освободившемся после снятия индикаторного прибора, имевшегося в старом блоке. Описанная схема с сентября 1964 г. работает в основном пеленгаторе ленинградского пункта пеленгования атмосфериков. Схема работает четко и хорошо регулируется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быков В. И., Куклин Ю. И., Никитенко Ю. И. Судовые визуальные радиопеленгаторы. Изд. «Морской транспорт», Л., 1962.
2. Боич-Бруевич А. М. Применение электронных ламп в экспериментальной физике. Гостехиздат, М., 1954.
3. Иньков Б. К. Исследование методов регистрации атмосфериков, применяемых для оценки грозовой деятельности. Труды ГГО, вып. 136, 1962.
4. Маркус Д., Целюф В. Схемы промышленной электроники. ИЛ, М., 1959.

Г. Ф. ПАВЛЮЧЕНКОВ

ЗОНД — СЧЕТЧИК ИОНОВ

Описывается зонд — счетчик ионов, предназначенный для проведения кратковременных измерений у земной поверхности или для однократного использования при проведении измерений в свободной атмосфере.

Измерение концентрации и спектра атмосферных ионов распространено в практике геофизических и специальных медицинских исследований. При этом потребность в проведении дистанционных измерений возникает как в случае удаленности объекта исследования от исследователя, так и в случае, когда нежелательно, чтобы исследователь находился вблизи измерительной аппаратуры. Технически выполнение таких дистанционных измерений осуществляется или посредством использования выносных пультов управления в совокупности с самописцами, или путем передачи результатов измерения по каналу радио. Второй способ позволяет осуществлять передачу результатов измерения на весьма значительные расстояния.

Дальнейшее развитие технических средств для измерения концентрации и спектра ионов с непосредственной передачей результатов измерения на значительное расстояние представляет важную задачу, стоящую перед техникой атмосферно-электрического эксперимента, при успешном разрешении которой можно надеяться на дальнейшее расширение знаний об электрических свойствах атмосферных образований и на успешное проведение соответствующих измерений в закрытых кабинах подвижных объектов.

Устройство зонда — счетчика ионов

При конструировании прибора в данном случае была поставлена следующая задача: осуществление конструкции, пригодной для проведения измерений естественных концентраций ионов (10^2 — 10^4 ион/см³) с подвижностью $k > 0,5$ см²/в·сек. положительной или отрицательной полярности в свободной атмосфере во время ясной погоды при использовании в качестве средства доставки зондовых оболочек или для проведения кратковременных измерений у земной поверхности с передачей результатов измерения по каналу радио. Для этого зонд — счетчик ионов совмещается с радиозондовым модулятором-передатчиком. Прием информации осуществляется с помощью соответствующей приемной аппаратуры.

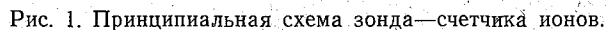
На рис. 1 представлена принципиальная схема зонда—счетчика ионов. Зонд включает в себя следующие узлы и каскады: датчик, емкостный динамический преобразователь (ЕДП), предусилитель, усилитель, выпрямитель с фильтром, транзисторно-релейный ключ, реле времени, триггер, узел градуировки и связи с модулятором, мультивибратор, батареи питания.

Для измерения концентрации ионов в приборе используется известный аспирационный метод. Исследуемый воздух просасывается или продувается через измерительный цилиндрический конденсатор—датчик зонда АК, внутренний электрод Э которого электрически соединен с ЕДП, а на внешний электрод подается вспомогательное напряжение от батареи Б₁. Прибор работает по методу зарядки, при этом ионы одной полярности с подвижностью $k > 0,5$ см²/в·сек. отдают свои заряды внутреннему электроду, изменяя потенциал системы внутренний электрод — емкостный динамический преобразователь. Вход датчика снабжен защитой от краевого эффекта, а также обтекателем для воздушного потока, который одновременно является экраном от внешних электростатических полей. В электрическом поле измерительного конденсатора отсутствуют какие-либо изоляторы и проводники. Для устранения поляризационного эффекта изолятор внутреннего электрода экранирован от электрического поля измерительного конденсатора самим внутренним электродом.

Геометрические размеры измерительного конденсатора следующие: внутренний радиус внешнего электрода $R = 5,2$ см; внешний радиус внутреннего электрода $r = 4,0$ см; длина внешнего электрода $L = 3,5$ см; длина внутреннего электрода $l = 3,0$ см. Расчетная емкость измерительного конденсатора C_k равна 6,0 см. Полная емкость системы измерительный конденсатор — емкостный динамический преобразователь и соединительных проводников C равна 40 см.

Внутренний электрод Э соединен с измерительной пластиной емкостного динамического преобразователя ЕДП мембранного типа через сопротивление развязки R . ЕДП, служащий для преобразования измеряемого медленно изменяющегося напряжения одного знака в переменное напряжение, выполнен на базе магнитной системы громкоговорителя динамического диффузорного типа 1-ГД-18. Мембрана ЕДП соединена с корпусом прибора и раскачивается с частотой 60 гц посредством звуковой катушки динамического громкоговорителя. Переменное напряжение, снимаемое с ЕДП, через фильтр поступает на сетку электрометрической лампы Л₁ предусилителя. С выхода предусилителя переменное напряжение частоты 60 гц подается на вход полупроводникового усилителя, выполненного на транзисторах T_1, T_2, T_3 . Со вторичной обмотки выходного трансформатора Tr_1 усиленное переменное напряжение поступает на однополупериодный выпрямитель, выполненный на диоде Д₁. С фильтра выпрямителя постоянное напряжение поступает далее на транзисторно-релейный ключ, выполненный на транзисторе T_4 и реле РЛ₃.

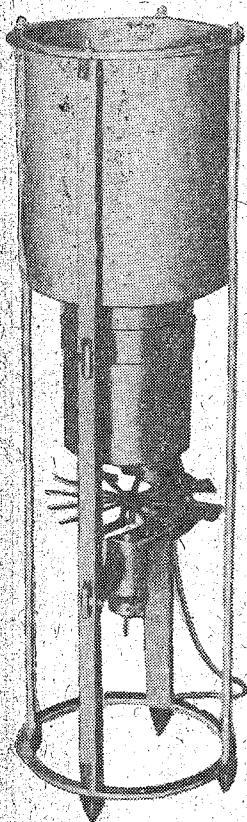
Для обеспечения возможности разрядки измерительного электрода в течение 2 сек. после окончания измерения имеется реле времени, выполненное на транзисторах T_5, T_6 и реле РЛ₄. Соединение измерительного электрода с корпусом прибора осуществляется с помощью реле РЛ₁, конструктивно расположенного в узле ЕДП и предусилителя. Там же расположено реле РЛ₂, с помощью которого на измерительный электрод подается напряжение градуировки. Градуировка прибора необходима, так как в процессе работы изменяются как напряжение источников питания, так и условия работы схемы. Для обеспечения переключе-



АК — датчик зонда; измерительный аспирационный конденсатор; Э — внутренний электрод датчика; J_1 — лампа типа 1Э1П; T_1, T_2, T_5 — транзисторы типа П14А; T_3, T_7, T_8 — транзисторы типа П25; T_9, T_{10} — транзисторы типа П13Б; T_4, T_6 — транзисторы типа П201; D_1 — диод типа Д9; D_2, D_3, D_4, D_5, D_6 — диоды типа Д7Ж; ЕДП — емкостный динамический преобразователь; Д — электродвигатель; $P_{A1}, P_{A2}, P_{A6}, P_{A7}$ — реле зондовые, низковольтные; P_{A3}, P_{A4} — реле типа РЭС-9; K_1 — контакты реле; Б — элемент, батареи. Все контакты на принципиальной схеме изображены разомкнутыми, кроме переключающих контактов K_8 .

чения прибора с «работы» на «градуировку» имеется триггер, выполненный на транзисторах T_7 и T_8 .

Для градуировки зонда — счетчика ионов используется узел градуировки и связи с модулятором, включающий в себя блок потенциометров $R_1—R_2$, низковольтный электродвигатель постоянного тока D , источник напряжения градуировки B_6 и реле P_{λ_7} .



Мультивибратор, выполненный на транзисторах T_9 и T_{10} , вырабатывает напряжение частоты 60 гц, используемое для раскачки мембраны $ЕДП$.

Питание прибора осуществляется от батарей. При этом необходимы следующие постоянные напряжения:

- 1) 13 в — питание предусилителя;
- 2) 17 в — питание транзисторной аппаратуры;
- 3) 4,5 в — питание электродвигателя и реле;
- 4) 300 в — питание датчика;
- 5) 1,5 в — напряжение градуировки зонда;
- 6) 1,5 в — напряжение смещения триггера.

При измерении у земной поверхности для прососа воздуха через датчик применяется насадка с вентилятором, который вращается низковольтным электродвигателем постоянного тока с напряжением питания 6 в. Общий вид датчика, узла емкостного динамического пре-

Рис. 2. Общий вид датчика, узла емкостного динамического преобразователя и предусилителя зонда—счетчика ионов.

Узлы размещены на общем каркасе. Для удобства рассмотрения кожух снят.

образователя и предусилителя, подготовленных для измерений у поверхности земли, представлен на рис. 2.

Работа аппаратуры

Прибор работает следующим образом. После включения источников питания исследуемый воздух просасывается или продувается через измерительный конденсатор. Потенциал внутреннего электрода и связанной с ним измерительной пластины $ЕДП$ растет за счет заряда, приносимого ионами. При работе мультивибратора колеблется мембрана $ЕДП$. Медленно изменяющееся напряжение одного знака преобразуется $ЕДП$ в переменное напряжение, усиливается вначале предусилителем, а затем усилителем. После выпрямления и фильтрации напряжение поступает на базу транзистора T_4 . В исходном состоянии реле P_{λ_3} отпущено, так как проходящий через обмотку реле ток мал. При увеличении напряжения, подаваемого на вход транзисторно-релейного ключа, при определенном значении подаваемого напряжения реле P_{λ_3} срабатывает. Потенциал внутреннего электрода $\mathcal{E}$ измерительного конденсатора,

при котором срабатывает реле P_{L3} , назовем потенциалом порога срабатывания.

Потенциал порога срабатывания измеряется на следующей стадии работы. При срабатывании реле P_{L3} нормально разомкнутые контакты K_3 замыкаются и срабатывает реле времени зонда. При этом замыкаются нормально разомкнутые контакты реле P_{L4} . На триггер подается импульс запуска, который приводит к срабатыванию реле P_{L5} ; контакты реле P_{L6} , находящиеся в замкнутом состоянии, отпускают. Через контакты K_6 реле P_{L5} от источника B_4 на реле P_{L2} подается напряжение. Реле P_{L2} срабатывает, и потенциал с внутреннего электрода $\mathcal{E}$ снимается; реле P_{L3} отпускает, через 2 сек. отпускает реле P_{L4} (реле времени). Одновременно через диод D_6 на электродвигатель D узла градуировки и связи с модулятором подается напряжение и начинают движение ползунки блока потенциометров, прокручивающиеся в круговую и приводимые в движение двигателем D посредством червячной передачи. Напряжение градуировки, снимаемое с движка потенциометра R_2 и подаваемое на измерительный электрод, плавно растет и при достижении своего порога срабатывания приводит к новому срабатыванию транзисторно-релейного ключа. При этом вновь срабатывает реле времени; импульс запуска, подаваемый на триггер, приводит к срабатыванию реле P_{L6} ; отпускают реле P_{L5} и P_{L2} . Через замкнувшиеся контакты реле P_{L4} и P_{L6} на реле P_{L1} подается напряжение от источника B_4 . Реле P_{L1} срабатывает и измерительный электрод $\mathcal{E}$ на 2 сек. соединяется посредством контактов K_1 с корпусом. После 2-секундной выдержки реле P_{L1} отпускает и начинается стадия измерения. Ползунки блока потенциометров после одного полного оборота останавливаются в исходном положении. Прокручивание ползунков на полный оборот и остановка электродвигателя через некоторое время после конца градуировки обеспечивается контактами выключателя BK_1 , конструктивно расположенного на оси блока потенциометров. После того как напряжение на внутреннем электроде достигает порога срабатывания, цикл повторяется. Реле P_{L7} срабатывает всякий раз, как только срабатывает реле времени, получая напряжение питания от источника B_4 , при этом на 2 сек. замыкаются нормально разомкнутые контакты K_8 .

Посредством проводников M и M_1 аппаратура зонда—счетчика ионов связывается с аппаратурой модулятора-передатчика. При этом в зависимости от величины сопротивления, включенного между проводниками M и M_1 , изменяется частота модуляции таким образом, что при величине сопротивления, равной 0, частота модуляции равна 190 гц, а при увеличении сопротивления частота модуляции уменьшается. Во время срабатывания реле P_{L7} частота модуляции определяется величиной сопротивления R^* и равна 46 гц. Таким образом, прием частоты 46 гц осуществляется при срабатывании транзисторно-релейного ключа при достижении внутренним электродом потенциала порога срабатывания. При градуировке зонда—счетчика ионов частота модуляции плавно уменьшается и каждому значению частоты соответствует определенное значение напряжения на внутреннем электроде, так как ползунки потенциометров R_1 и R_2 находятся на одной оси и жестко связаны с этой осью. Плавное уменьшение частоты продолжается до значения, при котором происходит скачок частоты до значения, равного 46 гц. После 2-секундной передачи частоты 46 гц частота модуляции увеличивается и продолжается плавное уменьшение ее, затем после короткого перерыва частота устанавливается равной 190 гц, что соответствует остановке оси блока потенциометров.

Градуйровка модулятора осуществляется перед началом работы с помощью электрометра типа СГ-1М. При этом, поворачивая ось блока потенциометров, регистрируют значение частоты модуляции, считывая ее с частотомера приемной установки, и соответствующее деление электрометра, подключенного к внутреннему электроду датчика. Во время работы зонда потенциал порога срабатывания определяется по показанию частотомера приемной установки в момент перед регистрацией частоты 46 гц. Начало и конец экспозиции внутреннего электрода датчика определяются по скачкообразным изменениям частоты модуляции. Регистрация времени экспозиции осуществляется с помощью секундомера. Таким образом, при работе с прибором измеряется промежуток времени в секундах, в течение которого потенциал системы внутренний электрод — ЕДП изменяется от 0 до значения потенциала порога срабатывания, а также значения потенциала порога срабатывания в вольтах. Объемная скорость воздуха при работе прибора у земной поверхности измеряется во время настройки прибора до начала работы, при измерении в свободной атмосфере объемная скорость вычисляется. Известна расчетная формула для определения концентрации ионов

$$n = \frac{cV}{300\Phi te}, \quad (1)$$

где c — полная емкость системы измерительный конденсатор — ЕДП и соединительных проводников в см; V — потенциал порога срабатывания в вольтах, численно равный изменению потенциала системы внутренний электрод — ЕДП за время измерения; t — время экспозиции электрода; Φ — объемная скорость воздуха, проходящего через измерительный конденсатор, в см³/сек.; e — заряд иона, равный $4,8 \cdot 10^{-10}$ э. с. е.

Поправка на тяжелые ионы не вводится.

ЕЩЕ РАЗ О СВЯЗИ ГРАДИЕНТА ПОТЕНЦИАЛА С ГРОЗОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

Методом Уиппла подсчитана площадь суши, занятая грозами в течение апреля—сентября и октября—марта, для всего земного шара и в пределах 30° с. ш.— 30° ю. ш. Для этого случая подтверждается найденная Т. В. Лободыным противофазность годового хода градиента потенциала и площади, занятой грозами. Высказывается мнение, что такой параметр, как произведение числа дней с грозой на соответствующую площадь, является слишком грубой характеристикой грозовой деятельности. Методом Уиппла с использованием первичных данных Крумма рассчитана суточная вариация площади суши, занятой грозами.

До недавнего времени считалось твердо установленным, что средние для больших территорий земного шара значения градиента потенциала электрического поля хорошей погоды в какой-то степени отражают грозовую активность на всем земном шаре. Это представление базировалось на полученной Уипплом [6] связи между суточным ходом градиента потенциала и суточным ходом площади, занятой грозами. Данные Уиппла и сделанные им выводы не подвергались сомнению, так как они логично объяснялись теорией Вильсона [8] и подкреплялись результатами измерений Уиппла и Скрейза [7]. В соответствии с этими работами в грозовых областях происходит разделение заряда. Высокие, преимущественно отрицательные значения градиента потенциала обуславливают истечение положительного заряда с острий в грозовых областях. Положительный заряд, переходя в атмосферу, нейтрализует отрицательный заряд облака. Положительные заряды рассеиваются по земному шару через верхние, более проводящие слои атмосферы. Создается замкнутая система токов с интенсивностью, меняющейся в соответствии с изменением интенсивности гроз на земном шаре. Над океанами проводимость приблизительно постоянна в течение суток, и поэтому суточный ход градиента потенциала повторяет суточный ход вертикального электрического тока, изменение которого происходит в соответствии с изменением площади, занятой грозами. Эти взгляды, высказанные в 20—30-е годы, поддерживаются и в современных работах [9]. В определенной степени в пользу такой точки зрения говорит и работа Н. А. Парамонова [1], обнаружившего унитарную волну в суточном ходе плотности вертикального электрического тока над рядом пунктов суши. Ценность работы [1] была бы значительно большей, если бы в ней приводились сведения о периоде осреднения данных, принятом в работе, и указывалось бы, с какого периода четко выявляется унитарная волна.

Существенным в приведенных работах является то, что при исследовании таких характеристик, как суточные изменения, поле рассматривается как стационарное, а не электростатическое. На необходимость такого подхода к исследованию закономерностей электрического поля атмосферы указывал и Г. Бенндорф [2].

На основании вышеизложенного естественно было бы ожидать параллельного хода годовых изменений вертикального тока и площади, занятой грозами. Однако Т. В. Лободин [3], подсчитавший годовое изменение площади, занятой грозами, по данным работы [10] и сравнивший этот ход с годовым ходом градиента потенциала, обнаружил противофазность в годовом ходе этих величин. Годовой ход плотности вертикального тока, с которым, следуя Уипплу, более логично сопоставлять годовые изменения площади, занятой грозами, также находится в противофазе с ходом площади, хотя годовая амплитуда плотности вертикального тока примерно в три раза меньше соответственной амплитуды градиента потенциала.

Крумм [11], пользуясь новейшими данными о распределении количества дней с грозами по земному шару и учитывая, в отличие от Уиппла, не средний суточный ход вероятности появления гроз над сушей, а особенности суточного хода в разных местах земного шара, в том числе и над океанами, получил суточную вариацию площади, занятой грозами, несколько отличающуюся от приводимой Уипплом. Данные Лободина и Крумма относятся ко всей земной поверхности, включая сушу и океаны. Уиппл, вычисляя суточное изменение площади, занятой грозами, оперировал данными, относящимися только к суше, считая, что грозовая деятельность над океанами равномерно распределена в течение суток. Можно было бы предположить, что благодаря существованию каких-то неясных нам особенностей гроз над сушей, например относительно большей интенсивности токов с острий [5], получается более или менее тесная связь изменения площади суши, занятой грозами, и суточного хода градиента потенциала. Представляло интерес выяснить, что может дать метод Уиппла, если в основу расчета положить последние данные о числе дней с грозой, использованные Крумом. Соответствующие расчеты были нами выполнены. За единицу площади, занятой грозами, была принята (по Уипплу) площадь сегмента, расположенного от северного до южного полюса и ограниченного меридианами, разнесенными на 30° . Оказалось, что в октябре—марте площадь, занятая грозами, составляет 34,1, в апреле—сентябре 47,5. По данным Уиппла, который при выполнении такого же расчета пользовался данными Брукса [12], площади, занятые грозами в октябре—марте и апреле—сентябре, равны 38,9 и 41,5 соответственно. Расхождение между данными Уиппла и нашими оценками в основном обусловлено расхождением первичных данных по Центральной Азии и Центральной Африке.

Таким образом, можно считать окончательно установленным, что такой критерий грозовой деятельности, как площадь, занятая грозами, вычисляемая как произведение числа дней с грозой на соответствующую площадь поверхности земного шара, не является параметром, однозначно характеризующим величину осредненного по большой поверхности земного шара и за большой промежуток времени градиента потенциала электрического поля хорошей погоды у поверхности земли. Если продолжать поиск связи между грозовой деятельностью и полем хорошей погоды, то необходимо выбирать более тонкие характеристики грозовой деятельности, учитывающие продолжительность, интенсивность грозы, а главное — электрические характеристики грозы. Например, если при расчете площади суши, занятой грозами, ограничиться площадью между 30° с. ш. — 30° ю. ш., где грозы интенсивнее и занимают в течение суток большее время, чем в более высоких широтах, то получится, что в течение апреля—сентября площадь, занятая грозами, равна 29,7, а в течение октября—марта 29, т. е. разница в пло-

ащадах совсем невелика. Соотношение же площадей, фактически занятых грозами, продолжает оставаться неясным. По-видимому, из-за больших практических трудностей не удастся решить вопрос об источнике электрического поля хорошей погоды путем измерения баланса электрических токов в грозовых областях, и значительно больше смогут дать одновременные измерения электрического поля и проводимости в стратосфере, в том числе и над грозовыми облаками. Последние измерения были начаты Гишем и Уайтом и успешно продолжены Стерджисом, Рейном, Кангасом [13].

Попытка решить вопрос о происхождении поля хорошей погоды была предпринята в работе И. М. Имянитова и Е. В. Чубариной [4]. Поиски более стабильных факторов, определяющих унитарную вариацию, чем площадь, занятая грозами, оправдываются в работе [4] тем обстоятельством, что унитарная вариация градиента потенциала по данным измерений в разные годы остается неизменной, а суточный ход

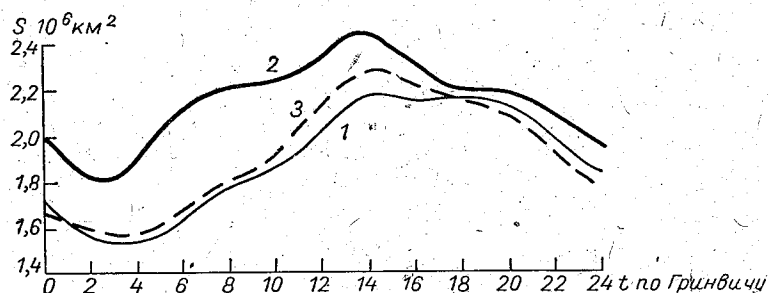


Рис. 1. Суточный ход площади, занятой грозами.
1 — по Уипплу, 2 — по Крумму, 3 — рассчитанный нами по методу Уиппла с использованием первичных данных Крумма.

площади, занятой грозами, меняется, как об этом свидетельствуют данные Уиппла и Крумма. Мы полагаем, что расхождение суточных ходов, полученных Уипплом и Круммом, в основном обусловлено разными методами обработки первичных данных, о чем уже говорилось выше. В подтверждение этого приводим на рис. 1 вариацию суточного хода площади, занятой грозами, рассчитанную нами методом Уиппла по первичным данным Крумма, и соответственные вариации, полученные Уипплом и Круммом. Рассчитанная нами вариация меньше отличается от вариации Уиппла, чем вариация Крумма.

ВЫВОДЫ

1. Существует обратная связь между значениями градиента потенциала электрического поля хорошей погоды и значениями площади, занятой грозами, рассчитанной методом Уиппла с использованием первичных данных Крумма, в летние и зимние месяцы.
2. Такая характеристика грозовой деятельности, как площадь, занятая грозами, подсчитываемая как произведение числа дней на соответствующую площадь земной поверхности, является слишком грубым критерием грозовой деятельности.
3. Характер суточной вариации площади, занятой грозами, рассчитанный методом Уиппла с использованием первичных данных Крумма, мало отличается от характера суточной вариации площади, занятой грозами, полученной Уипплом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пармонов Н. А. К вопросу выделения унитарных изменений элементов атмосферного электричества. Труды ГГО, вып. 110 (40), 1960.
2. Бенндорф Г. Атмосферное электричество. Гостехиздат, М., 1934.
3. Лободин Т. В. Причины годового хода градиента потенциала электрического поля атмосферы. Геофизический бюлл. АН СССР, № 13, 34, 1963.
4. Имянитов И. М., Чубарина Е. В. Годовой ход электрического потенциала атмосферы на высоте 6000 м и заряда столба воздуха в слое 0—6000 м. Труды ГГО, вып. 157, 1964.
5. Тверской П. Н. Атмосферное электричество. Гидрометеозидат, Л., 1949.
6. Whipple F. J. W. On the association of the diurnal variation of electric potential gradient in fine weather with the distribution of thunderstorms over the globe. Quarterly J. of the Royal Meteorol. Society, vol. 55, N 1, 1929.
7. Whipple F. J. W., Scrase F. I. Point discharge in the electric field of the earth. Geophys. memoirs. N 68, 1936.
8. Wilson C. T. R. Some thundercloud problems. J. of the Franklin Inst., 208, 1, 1929.
9. Pierce E. T. Some topics in atmospheric electricity. В сб. „Recent advances in atmospheric electricity“, p. 5. Pergamon Press, 1958.
10. Ramakrishnan K. R., Rao D. S. V. Distribution of thunderstorms over the world. Indian J. of Meteorol. and Geophys. vol. 6, N 2, 171, 1955.
11. Krumm H. C. Die weltzeitliche Tagesgang der gewitterhäufigkeit. Zeitschrift für Geophysik, vol. 28, N 2, 1962.
12. Brooks C. E. P. Geophys. memoirs, N 24, 1925.
13. Stergis C. G., Rein G. C., Kangas T. Electric field measurement above thunderstorms. J. of atmospheric and Terrestrial physics. vol. 11, N 2, 83, 1957.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ГРОЗ С ОДНОГО ПУНКТА В УСЛОВИЯХ ТУРКМЕНИИ

Приводятся данные о грозах, наблюдавшихся в Ашхабаде с помощью установки, разработанной в ГГО, в период с марта по ноябрь 1964 г., и случаи эффективного использования результатов, получаемых с помощью этой установки.

В настоящее время при наблюдениях за грозами широко используется инструментальный метод, который позволяет получать наиболее полные и точные характеристики грозовой деятельности [2]. Поскольку орографические особенности данного района могут давать некоторые отклонения от осредненного распределения гроз на территории СССР [3], изучение микрорайона представляет известный теоретический и практический интерес. В настоящей работе приводятся данные наблюдений за грозами в Туркмении с марта по ноябрь 1964 г., полученные при помощи специальной установки, изготовленной в ГГО. Не останавливаясь на описании самой установки, так как оно дано в работе [4], отметим только, что она устойчива в работе, проста в эксплуатации и имеет малые габариты.

Из общего числа грозовых очагов (более 170), зафиксированных в период наблюдений, в радиусе 200 км было отмечено 46:

Месяц	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Итого
Число гроз	9	11	11	6	2	—	3	2	2	46

Максимум атмосфериков падает на весенние месяцы (март, апрель, май). Эти данные не расходятся с результатами двадцатилетних наблюдений за грозами в Туркмении [1].

Район действия гроз неодинаков в различные месяцы. Грозы, подходившие вплотную к Ашхабаду, обнаруживались в азимутах: в мае $130-350^\circ$, в апреле $130-270^\circ$, в октябре $250-350^\circ$. Наиболее удаленными от Ашхабада были грозовые очаги в марте. При этом в азимутах $20-110^\circ$ грозы не обнаруживались в течение всего периода наблюдений.

Продолжительность грозы учитывалась по времени, в течение которого срабатывали один или несколько счетчиков дальности, регистрирующих грозы в радиусе 200 км:

Месяц	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Итого
Продолжительность гроз, мин.	180	272	170	193	201	—	188	70	130	1404

Таким образом, за 9 месяцев общая продолжительность отмеченных 46 гроз составляла около 24 часов. Эти данные показывают, что Ашхабад относится к районам со средней грозовой активностью. При сравнении данных можно отметить некоторую зависимость между количеством гроз и продолжительностью их действия. Так, во втором квартале отмечено большое количество гроз и наибольшая их продолжительность. Правильность показаний применяемой установки подтверждается анализом синоптической обстановки, проводившимся параллельно с инструментальными наблюдениями в наиболее активные грозовые месяцы. Анализ синоптической обстановки проводился Н. В. Мининой. Ниже приводятся некоторые данные этих анализов.

О первых числах марта отмечалось наличие процессов с грозовой деятельностью. К юго-востоку от Аральского моря 4/III располагался циклон. В тылу у него возникали вторичные фронты, на которых наблюдалась ливневая и грозовая деятельность. По данным метеостанций, на синоптической карте за 15 час. были видны грозы вдоль стационарного фронта, а на востоке, юго-востоке и юго-западе от Ашхабада — по данным применяемой установки.

7/III прибор сигнализировал о грозах на расстояниях, больших 200 км. Об этом были предупреждены бюро погоды и АМСГ. В 10 час. 30 мин. блок дальности дал первый отсчет, соответствующий расстоянию 200 км. Гроза приблизилась к Ашхабаду на 75—100 км и затем в 17 час. 20 мин. вышла из зоны обнаружения установки.

На синоптической карте за 18 час. была следующая обстановка. Произошло западное вторжение воздуха. К юго-востоку от Аральского моря расположился циклон, в тылу которого на вторичных фронтах наблюдались ливни и грозы. В течение двух последующих дней вторичные фронты приобрели характер основных, в зоне которых отмечались ливни и грозы. Прибор не прекращал сигнализировать об этом. Аналогичная обстановка была 13 и 14/III с той лишь разницей, что 14/III осуществилось северо-западное вторжение; ливни и грозы были связаны с основным фронтом, располагавшимся на юге от Ашхабада и Каспия. Следует отметить, что на картах за 21 час 13/III и за 15 час. 14/III наличие гроз подтверждалось данными метеостанций.

В период с 26 по 28/III центр циклона располагался севернее Каспия, холодный фронт проходил через Баку. Вдоль фронта наблюдалась неустойчивость. 27/III фронты проходили по восточному побережью Каспия, и наблюдался выход циклона с Южного Каспия. Грозы на расстоянии 200 км начали отмечаться установкой в 14 час. 20 мин. Полученные данные подтвердились при анализе синоптической карты за 15 час. Гроза прошла через Ашхабад и отмечалась установкой до 16 час. 15 мин.

28/III осуществилось западное вторжение, вдоль фронта наблюдались ливни, на юге — грозы. На синоптической карте за 15 час. отмечались грозовые очаги на территории Ирана, по данным сети катодных пеленгаторов. Установка начала отмечать грозовые разряды в этом районе с 11 час.

4/IV на синоптической карте за 21 час отмечались грозы в районе станции Каахка и на территории Ирана. Данные установки подтвердили наличие этих гроз.

8/IV на карте за 15 час. центр циклона располагался над Аральским морем, на вторичных фронтах наблюдалась ливневая и грозовая деятельность. В этот день установка отмечала наличие гроз на юго-востоке, юге и юго-западе. В 12 час. 30 мин. был отмечен первый отсчет на блоке дальности. Гроза подходила к Ашхабаду на 40—60 км

и продолжалась 2 часа 10 мин. Эти данные были подтверждены метеостанциями Кара-Кала, Теджен, Кушка. На другой день циклон сохранился над Аральским морем, вторичные фронты приобрели характер основных, на них отмечались грозы, регистрируемые нашей установкой. Наличие гроз в этом районе подтвердилось данными метеостанций и сети катодных пеленгаторов. В этот день грозы наблюдались в Иране и в самом Ашхабаде. Грозовая обстановка сохранялась в районе Ашхабада с 14 час. до 21 часа 15 мин.

21 и 22/IV наблюдались грозы, связанные с волновой деятельностью вдоль предгорий Копет-Дага. По данным сети катодных пеленгаторов, грозовая деятельность наблюдалась в Афганистане. Осуществился выход мургабского циклона, в тылу которого на основном фронте наблюдались грозы. Эти грозы регистрировались с помощью установки.

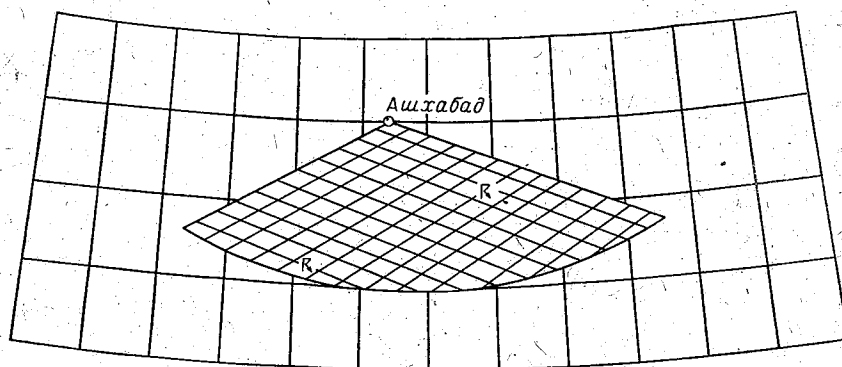


Рис. 1. Сопоставление данных, полученных при помощи установки и отмеченных метеостанциями.

в азимутах 280—360°. В эти дни грозовая обстановка сохранялась в Ашхабаде в течение 9 час.

1/V ночью самолет ИЛ-18, летевший из Москвы в Ашхабад, попал в сложную грозовую обстановку. Ливень с грозой был и в Ашхабаде. Координаты грозовых разрядов, получаемые с помощью установки, непрерывно передавались на АМСГ и оказали существенную помощь при посадке самолета.

В качестве примера на рис. 1 приведено сопоставление данных о наличии гроз 4/IV 1964 г., зарегистрированных при помощи установки (заштрихованный сектор) и отмеченных метеостанциями (обозначено значком К).

При сопоставлении синоптической обстановки с данными инструментальных наблюдений оказалось, что приблизительно в 90% случаев синоптическая обстановка подтверждала наличие или возможность грозовой деятельности в том или ином районе республики. Данные, приведенные в настоящей работе, являются предварительными, однако они показывают, что инструментальные наблюдения за грозами в Туркмении заслуживают особого внимания.

Таким образом, разработанная в ГГО установка для определения местоположения гроз с одного пункта может быть эффективно использована в службе погоды для уточнения положения фронтов, предупреждения о возможных селях и в оперативной работе АМСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балакирев Е. К. Град и грозы в Туркмении. Сб. работ Ашхабадской ГМО, вып. 1, 1958.
2. Соловьев В. А. Об оценке грозовой активности по данным пеленгования атмосфериков. Метеорология и гидрология, № 1, 1965.
3. Стекольников И. С. Изучение молнии и грозозащита. Изд. АН СССР, М., 1955.
4. Лыдзар П. С. Установка для определения местонахождения близких гроз-
вых очагов с одного пункта (см. настоящий сборник).

МЕТОД ОЦЕНКИ ПЛОТНОСТИ ТОКА КОРОНИРОВАНИЯ С ЕСТЕСТВЕННЫХ ОСТРИЙ¹

Процесс восстановления электрического поля у поверхности земли после грозового разряда можно представить состоящим из двух компонентов: восстановления электрического момента облака и рассеяния приземного объемного заряда.

На основании машинной обработки 250 разрядов, полученных в 17 грозах, анализируется составляющая, связанная с объемным зарядом. По этой составляющей рассчитывается плотность тока коронирования с естественных острий. Расчеты приводят к значениям тока коронирования, согласующимся с литературными данными.

Введение

Составляющие баланса электрических токов в системе атмосфера—земля можно условно разделить на две группы.

Одна группа охватывает периоды «хорошей погоды»; основными составляющими баланса здесь являются вертикальный ток проводимости и конвективный ток.

Вторая группа проявляется в областях «нарушенной погоды» — главным образом в областях с грозами. К важнейшим составляющим баланса этой группы, помимо указанных тока проводимости и конвективного тока, относятся ток коронирования с острий, ток осадков и ток молний.

Общепризнано, что наибольшую роль в обмене зарядами между землей и атмосферой играет ток коронирования с острий, возникающий при больших электрических полях. Целью настоящей работы является разработка метода расчета тока коронирования с естественных острий.

В настоящее время не существует метода определения суммарного тока коронирования с естественных острий участка земной поверхности.

Данные о количестве электричества, участвующего в обмене между атмосферой и естественным участком земной поверхности, обычно получают, регистрируя ток коронирования с единичного искусственного острия. Для пересчета тока искусственного острия на ток с остроконечных предметов участка земной поверхности вводят понятие эффективной площади, т. е. площади, равноценной по току, короны одному острию. Определение эффективной площади или эффективного радиуса обычно основывается на ряде предположений. Чалмерсом [10], например, приводится метод расчета, основанный на следующих допущениях:

- 1) суммарный ток через грозовое облако равен 0,5 а;
- 2) ток под грозовым облаком есть в основном ток с острия;
- 3) электрическое поле под облаком характеризуется моделью Симпсона—Робинсона (заряды +4 к, —20 к и +24 к соответственно на высотах 1,5, 3 и 6 км);

¹ Печатается в дискуссионном порядке.

4) соотношение между током с острия I и напряженностью поля E имеет вид

$$I = A(E^2 - E_0^2),$$

где A и E_0 — постоянные величины.

На основании этих положений рассчитывается поле в кольцевых зонах шириной 0,1 км и радиусом 0,1, 0,2, 0,3 км и т. д. и по средним значениям напряженности для каждой зоны вычисляется ток коронирования.

Далее, выразив ток на площадь каждого кольца в единицах эффективной площади и приравняв сумму по всем кольцам к общему току, равному 0,5 а, находят величину эффективной площади.

Симпсон предложил другой метод определения эффективной площади. Метод основывается на предположении о том, что капли дождя полностью уносят весь объемный заряд, образующийся под грозовым облаком благодаря коронированию.

Величины эффективной площади, полученные разными авторами, могут различаться. Так, для Кью [10] первоначально эта величина оценена Уипплом в размере 500 м², круг диаметра 25 м. Симпсон эффективный диаметр уменьшил до 22 м. Чалмерс уточняет это значение до 14,5 м. В работе В. П. Колоколова и К. А. Семенова [4] для Ленинграда принимается эффективная площадь, равная 100 м² (диаметр 11,2 м).

Большинство приведенных выше допущений не являются строго обоснованными. Действительно, исследования электрической структуры грозовых облаков, выполненные И. М. Имянитовым и Т. В. Лободиным [2], показывают, что модель Симпсона—Робинсона не является типичной. Часто над дипольной или более сложной структурой преобладает избыточный заряд одного знака. Наблюдения Гиша и Уайта [12] показывают, что суммарный ток над облаком меняется от 0,3 до 6,5 а, и величина 0,5 а получена лишь как среднее небольшого числа наблюдений. Наконец, формула для расчета тока коронирования, как это следует, например, из [4, 11], имеет более сложный вид. Помимо напряженности поля, нужно учитывать зависимость тока коронирования от ветра.

Все сказанное позволяет заключить, что распространенный пересчет тока коронирования с единичного острия на ток коронирования совокупности естественных острий обладает существенными недостатками. Желательно поэтому иметь метод, не связанный с индивидуальными свойствами искусственного острия. Метод, идея которого предложена Имянитовым, основанный на суммарном эффекте, порождаемом совокупностью естественных острий, и разрабатывается в настоящей работе.

Сущность метода

В основу метода положены следующие соображения. Наблюдаемое у поверхности земли электрическое поле можно считать состоящим из двух слагаемых. Одним слагаемым является поле, связанное с поверхностным зарядом Земли. Вызывается оно общими для всей Земли причинами. В грозовой период это слагаемое определяется в основном полем облака. Другое слагаемое обязано своим существованием объемному заряду в атмосфере.

Плотность объемного заряда, как показывают непосредственные измерения [5], особенно велика при коронировании с острий под грозовыми облаками.

Напряженность поля E_p и плотность порождающего это поле объемного заряда ρ связаны известным уравнением Пуассона

$$\operatorname{div} E_p = -4\pi\rho.$$

В случае когда горизонтальными составляющими поля можно пренебречь, интегрирование по толщине слоя объемного заряда h приводит к выражению

$$E_p = 4\pi \int_0^h \rho dz = 4\pi q,$$

где q — общий заряд столба воздуха сечением 1 см^2 .

Плотность тока коронирования, приводящего к образованию заряда q , определится соотношением

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{1}{4\pi} \frac{dE_p}{dt}. \quad (1)$$

Таким образом, если удастся выделить из измеряемого суммарного поля поле объемного заряда, то нетрудно найти плотность тока с естественных острий. Осуществить выделение поля объемного заряда можно для моментов времени, следующих за разрядом молнии.

Как известно [3, 13, 14], за моментом грозового разряда, сопровождающегося резким изменением поля, происходит сравнительно медленное восстановление поля до прежних значений.

Характер восстановления описывается обычно экспоненциальным законом и связывается с процессом разделения зарядов в облаке. Экспоненциальную зависимость можно получить и теоретически, а именно интегрированием уравнения неразрывности для полного тока (с учетом члена, определяющего нестационарность). В работе [13], например, эта задача решается для диполя с постоянным током генерации.

Детальное рассмотрение кривых восстановления поля, проведенное автором, показало, что часто эти кривые можно представить суммой двух экспонент. Разделение наблюдаемой кривой восстановления на две составляющие свидетельствует о двух процессах, формирующих измеряемое поле. Вероятными процессами, определяющими эти компоненты, могут являться восстановление электрического момента облака и рассеяние объемного заряда у поверхности земли.

Поэтому кривая восстановления поля может быть представлена в виде

$$E = E_1 e^{-\frac{t}{\tau_1}} + E_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}}, \quad (2)$$

где E_1 и E_2 — начальные амплитуды процессов с постоянными времени τ_1 и τ_2 .

Основываясь на этих положениях, по выделенной составляющей, связанной с полем объемного заряда, можно вычислить рассмотренным выше способом суммарный ток коронирования.

Методика обработки материала

Для расчетов нами использовались материалы регистрации поля во время гроз в Иркутске в период 1960—1962 гг. Регистрация осуществлялась с помощью прибора напряженности поля ГГО в комплекте с осциллографом К-4-51. Организация наблюдений описана в [9]. Методика обработки состояла в следующем. Через одинаковые интервалы времени (2 сек.) измерялись ординаты кривой восстановления поля $y_1, y_2, \dots, y_n$.

Введя подстановку $z_1 = e^{-\frac{2}{\tau_1}}$ и $z_2 = e^{-\frac{2}{\tau_2}}$ с учетом уравнения (2), для измеренных ординат имеем систему:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= E_1 z_1 + E_2 z_2 \\ y_2 &= E_1 z_1^2 + E_2 z_2^2 \\ &\dots \dots \dots \\ y_n &= E_1 z_1^n + E_2 z_2^n \end{aligned} \right\}$$

Для определения неизвестных E_1 , E_2 и z_1 , z_2 (а значит, τ_1 и τ_2) воспользуемся методом акад. А. Н. Крылова [8].

Пусть z_1 и z_2 корни уравнения

$$z^2 + Az + B = 0.$$

Задача теперь сводится к определению коэффициентов A и B . Взяв в исходной системе любые три уравнения, нетрудно показать, что

$$Ay_k + By_{k+1} + y_{k+2} = 0.$$

Полагая k равным 1, 2, 3, ..., $n-2$, получим систему так называемых основных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} Ay_1 + By_2 + y_3 &= 0 \\ Ay_2 + By_3 + y_4 &= 0 \\ &\dots \dots \dots \\ Ay_{n-2} + By_{n-1} + y_n &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Решив эту систему методом наименьших квадратов, найдем коэффициенты A и B , а затем z_1 и z_2 — вероятные значения корней.

Наконец, подставляя значения z_1 и z_2 в исходную систему, найдем величины E_1 и E_2 .

Достоинством применяемого метода является возможность нахождения вероятных значений искомым величин. Это достигается тем, что в исходной системе число уравнений больше числа неизвестных.

Очевидно, что выполнять все вычисления вручную затруднительно из-за их исключительной трудоемкости.

Поэтому расчеты проводились на электронно-вычислительной машине «Урал-2».

Программирование осуществлялось так, что вначале решение искалось в виде двух экспонент; если одна из составляющих отсутствовала, то решение повторялось (по той же методике) для одной экспоненты.

Результаты обработки

Машинной обработке подвергались 257 кривых восстановления поля, полученных при 17 грозах в 1960—1962 гг. Все кривые разбивались на две группы: по 10 и 8 раз измеренным через 2-секундные интервалы ординатам.

Из этого общего числа в 124 случаях кривые восстановления представлялись двумя экспонентами, а в оставшихся 133 случаях — одной. Большинство случаев с двумя экспонентами соответствует положительным скачкам поля. Так, из общего числа (156) положительных скачков 100 разрядов представляются двумя экспонентами; а из 75 отрицательных скачков две экспоненты выявляются 37 раз.

Повторяемость различных соотношений знаков наблюдаемого поля и выделенных компонентов приведена в табл. 1, из которой видно, что

примерно в половине случаев амплитуды выделенных составляющих имеют разные знаки.

На рис. 1 и 2 представлены повторяемости значений начальных амплитуд E_1 и E_2 (в процентах к измеренному скачку поля E) и постоянных времени для выделенных составляющих. Эти графики показывают, что наблюдаемая кривая восстановления представляет собой сумму двух экспонент с различными амплитудами и временами восстановления. Одна из составляющих имеет наибольший вес; начальная амплитуда ее близка к величине наблюдаемого скачка поля; время восстановления (до величины $\frac{1}{e}$ от начальной амплитуды) лежит в пределах 5—15 сек. Есть основания связать эту составляющую с процессами восстановления электрического момента облака. Так, измерения напряженности поля при ударах молнии, проведенные с самолета [3] (т. е. в условиях, исключающих влияние приземного объемного заряда), приводят к таким же величинам времени релаксации. На основную роль процессов в облаке в формировании кривой восстановления указывают также работы [13, 14].

Вторая экспонента имеет значительно меньшую начальную амплитуду и малое время восстановления (1—2 сек.). Можно считать, что эта составляющая определяется объемным зарядом, возникающим у поверхности земли при коронировании с остроконечных предметов. Действительно, величина этого компонента составляет обычно 1—5 в/см. Если считать, что объемный заряд располагается равномерно на высотах до сотен метров (например, 250 м), то указанная напряженность соответствует плотности объемного заряда 0,01—0,05 э.с.е./м³. Такие величины плотности объемного заряда являются реальными [5, 6]. Далее, время релаксации 1—2 сек. нельзя объяснить восстановлением поля за счет эффективной проводимости. При обычной проводимости воздуха у земли постоянная времени $\tau = \frac{1}{4\pi\lambda}$ составляет сотни секунд. Существенного же увеличения проводимости под грозовым облаком не происходит [7]. Ни осадки, ни турбулентное перемешивание, как показывают оценки, также не могут привести к столь быстрому уменьшению объемного заряда. Механизм рассеяния объемного заряда можно представить следующим образом. Перед грозовым разрядом благодаря большим полям грозового облака у поверхности земли происходит интенсивное коронирование естественных острий, что приводит к появлению объемного заряда

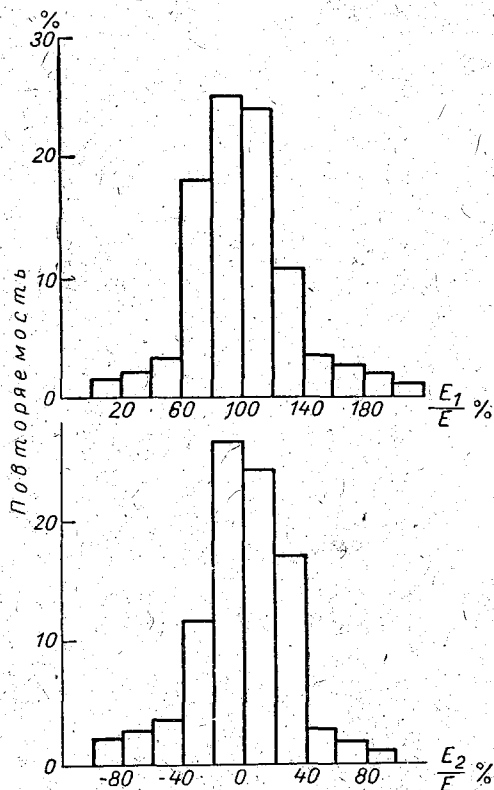


Рис. 1. Повторяемость отношения величин выделенных составляющих к наблюдаемому скачку поля.

большой плотности. В моменты времени после разряда, когда поле облака как фактор, поддерживающий коронирование, резко уменьшается, коронирование быстро нейтрализует накопившийся пространственный заряд. Пусть, например, объемный заряд плотностью 10^{-2} э.с.е./м³ распределяется равномерно в столбе высотой 300 м и площадью сечения 1 м². Тогда при токе коронирования 10^{-9} а/м² (ток с одного острия равен 10^{-7} при эффективной площади 100 м²) этот заряд нейтрализуется за время, равное 1 сек. Приведенные выше постоянные времени второй составляющей имеют такие же величины.

Наконец, косвенным подтверждением такой схемы являются данные табл. 1. Действительно, как показывают результаты [2], преобладающая

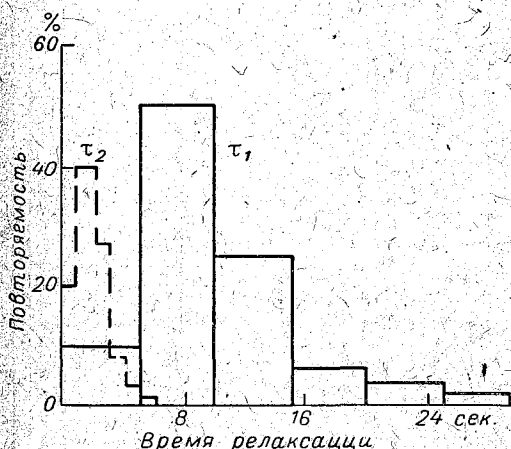


Рис. 2. Повторяемость постоянных времени выделенных составляющих.

поляризация грозовых облаков соответствует расположению положительного заряда вверху, отрицательного — внизу.

При такой электрической структуре облака близкие разряды как наземные, так и внутриоблачные дают положительный скачок поля [14]. При далеких разрядах положительный скачок поля наблюдается лишь для наземных разрядов; внутриоблачные разряды — отрицательны. Деление на близкие и далекие разряды условно. Можно, например, границей между ними считать область, где поле при дипольной структуре облака меняет знак. Как

видно из табл. 1, две экспоненты наблюдаются чаще именно при положительных скачках поля, т. е. в основном для близких разрядов. Но близкие разряды сопровождаются большими полями и коронированием с остроконечных предметов — условиями, когда может проявиться поле объемного заряда.

Считая, что выделенная нами составляющая E_2 определяется объемным зарядом, можно найти плотность тока коронирования из выражения (1). Так как $E_p = E_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}}$, то для интересующего нас начального момента времени $t=0$ (время перед разрядом) получим

$$i = \frac{1}{4\pi} \frac{dE_p}{dt} = - \frac{E_2}{4\pi\tau_2}. \quad (3)$$

Интересно найти зависимость вычисленного таким способом тока коронирования от напряженности поля, наблюдаемой перед разрядом. Моменты разряда играют при этом роль своеобразных отсчетов величины тока. Такая зависимость позволит свести задачу о нахождении тока коронирования с естественных острий к задаче о распределении поля.

Наиболее четко зависимость суммарного тока от напряженности поля проявляется при отрицательных полях. Это видно из табл. 2, составленной по случаям, когда ток и напряженность поля имели одинаковые знаки. Для области положительных величин тока и напряженности число измерений невелико. Этим, в частности, можно объяснить отсут-

ствие четкой зависимости. Каждая цифра табл. 2 (для отрицательных полей) получена как среднее 8—9 случаев расчета тока.

Таблица 1

Число случаев выделенных компонентов восстановления поля после грозового разряда (в % от общего числа) с различным соотношением знаков

Поле перед разрядом положительно				Поле перед разрядом отрицательно			
$E_1 > 0$ $E_2 > 0$	$E_1 > 0$ $E_2 < 0$	$E_1 < 0$ $E_2 > 0$	$E_1 < 0$ $E_2 < 0$	$E_1 > 0$ $E_2 > 0$	$E_1 > 0$ $E_2 < 0$	$E_1 < 0$ $E_2 > 0$	$E_1 < 0$ $E_2 < 0$
3,8	9,5	9,5	18,0	25,7	27,6	0,9	4,8

В табл. 2 приводится также значение тока коронирования с искусственного острия, полученное по материалам того же периода. Для этого по материалам регистрации находились средние за 1 мин. величины тока и поля. Затем проводилось осреднение этих значений для каждой величины поля. Данные, приведенные в табл. 2, получены осреднением 5—15 измеренных величин. Влияние ветра при этом не учитывалось.

Таблица 2

Связь тока коронирования с напряженностью поля

Напряженность поля, в/см	Вычисленная плотность тока коронирования, 10^3 а/км ²	Измеренный ток с острия, 10^6 а
—2	—0,6	—0,5
—6	—2,1	—0,8
—10	—2,7	—1,0
—14	—3,4	—1,3
+2	0,4	0,2
+6	0,5	0,7
+18	0,6	2,3

Отметим, что кажущееся отличие табл. 2 от типичных квадратических зависимостей [4, 11] можно объяснить очень малым интервалом наблюдаемых полей. В работе [4], например, рассматривается ток с острия при полях до ± 100 в/см, в то время как данные, приведенные в табл. 2, ограничены интервалом полей до ± 20 в/см. Если по материалам [4] выделить этот же участок величин поля и пренебречь влиянием ветра, то зависимость тока с острия от напряженности поля будет аналогична зависимости, представленной в табл. 2.

Из данных табл. 2 можно оценить эффективную площадь. Ее можно найти как отношение тока коронирования с искусственного острия к плотности тока с естественных острий для одних и тех же величин напряженности поля. Такие вычисления дают величину эффективной площади, равную 360 м², что соответствует кругу диаметром около 20 м. Это значение представляется правдоподобным [12].

Из данных табл. 2 для рассматриваемого интервала полей зависимость тока коронирования от напряженности можно принять линейной

$$I = kE.$$

Коэффициент k можно использовать для оценки суммарного тока по известному распределению поля.

Для примера рассмотрим вычисление суммарного тока под грозовым облаком, интерпретируя последнее как диполь с зарядами Q_1 и Q_2 , расположенными на высотах h_1 и h_2 . Напряженность поля на расстоянии R от облака (R измеряется по горизонтали) определяется выражением

$$E_R = \frac{2Q_1 h_1}{\varepsilon (h_1^2 + R^2)^{3/2}} - \frac{2Q_2 h_2}{\varepsilon (h_2^2 + R^2)^{3/2}} \quad (4)$$

Выбрав на расстоянии R от облака кольцо шириной dR , для тока на площадь этого кольца будем иметь

$$dI = 2\pi I_R R dR,$$

где I_R — плотность тока коронирования при напряженности E_R .

Учитывая связь тока коронирования с напряженностью поля, для общего тока под облаком получим

$$I = \int_0^{R_0} dI = 2\pi k' \int_0^{R_0} E_R R dR. \quad (5)$$

Интегрирование здесь распространяется от нуля до расстояния R_0 , где напряженность поля равна порогу коронирования. Величину R_0 для облака дипольной структуры можно найти графически, построив зависимость напряженности от расстояния. Значение R_0 на таком графике будет соответствовать порогу коронирования E_0 .

В наших расчетах E_0 принято равным 8 в/см. Для однозарядного облака R_0 найдется аналитически подстановкой E_0 в выражение (4).

Интегрирование выражения (5) с учетом зависимости напряженности поля от расстояния приводит к следующему значению для полного тока под облаком:

$$I = \frac{4\pi k Q_2}{\varepsilon} \left(\frac{h_2}{\sqrt{h_2^2 + R_0^2}} - 1 \right) - \frac{4\pi k Q_1}{\varepsilon} \left(\frac{h_1}{\sqrt{h_1^2 + R_0^2}} - 1 \right).$$

Таблица 3

Суммарный ток коронирования под грозовыми и ливневыми облаками, вычисленный по результатам [2]. Август 1959 г.

Число	Время, час. мин.	Q к	H км	R_0 км	I а
22	9 28	1,3	3,5	3,2	0,12
25	10 08	6,0	6,0	7,1	0,72
26	6 58	2,0	6,6	1,2	0,10
	7 22	3,0	5,0	4,9	0,30
	7 42	2,8	7,3	2,6	0,06
	9 04	5,9	5,6	7,1	0,77
	9 08	2,6	6,1	5,8	0,12
31	4 12	3,8	5,7	5,45	0,36
	4 24	4,0	6,8	5,1	0,27
	4 34	2,1	5,6	3,2	0,09
	4 42	3,6	6,2	5,0	0,13
	5 08	3,8	5,5	5,6	0,39
	13 12	8,7	3,3	8,1	1,88

В табл. 3 приведены расчеты суммарного тока под облаком на основании электрических структур, исследованных в [2] (первые четыре графы перенесены из табл. 1 работы [2]).

По порядку величины эти значения согласуются с измерениями, приведенными в работе [12], где на основании измерений над 21 грозовым облаком величина полного тока лежит в интервале 0—1,4 а при средних значениях 0,5—0,8 а. Несколько заниженные величины суммарного тока, приведенные в табл. 3, могут быть объяснены тем, что наблюдения, описываемые в работе [2], как это указывается авторами, относятся в основном к стадии распада облаков.

ВЫВОДЫ

1. По наблюдаемому после грозового разряда восстановлению напряженности электрического поля у поверхности земли можно выделить составляющую, которая определяется рассеянием приземного объемного заряда.

Эта составляющая позволяет определить плотность суммарного тока коронирования естественных острий участка земной поверхности.

2. Сопоставление рассчитанных предлагаемым методом величин суммарного тока с током коронирования с искусственного острия позволяет найти эффективную площадь. Для Иркутска величина эффективной площади получается равной 360 м² (эффективный диаметр около 20 м).

3. На основании связи суммарного тока коронирования с напряженностью поля возможно рассчитать полный ток под облаком, если известна электрическая структура облака.

Пример такого расчета приводит к значениям тока коронирования, согласующимся с известными из литературы данными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Имянитов И. М., Шифрин К. С. Современное состояние исследований атмосферного электричества. УФН, т. 76, вып. 4, 1962.
2. Имянитов И. М., Лободин Т. В. Исследование электрической структуры ливневых и грозовых облаков. Труды ГГО, вып. 136, 1962.
3. Имянитов И. М. Об электропроводности в грозовых облаках. ДАН СССР, т. 109, 77, 1956.
4. Колоколов В. П., Семенов К. А. Наблюдения за токами коронирования с искусственного острия в Воейково. Труды ГГО, вып. 136, 1962.
5. Махоткин Л. Г., Сущинский Б. Л. Плотность объемного заряда в Сестрорецке. Труды ГГО, вып. 110, 1960.
6. Красногорская Н. В., Середкин А. А. Об объемном заряде нижних слоев атмосферы. Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 4, 1964.
7. Крамич К. Ф., Соловьев В. А. О некоторых различиях характеристик гроз и ливней. Труды ГГО, вып. 120, 1961.
8. Крылов А. Н. Собрание трудов, т. 3, ч. 1. Изд. АН СССР, М.—Л., 1949.
9. Филиппов А. Х. Некоторые результаты наблюдений элементов атмосферного электричества в Иркутске в период МГГ—МГС. Мат. конференций по итогам МГГ. Гидрометеиздат, М., 1961.
10. Chalmers A. The effective separation of discharging points. Quart. I. Roy. Met. Soc., vol. 77, April, N 332, 1951.
11. Milnet J. W., Chalmers J. A. Point discharge from natural and artificial points. Quart. I. Roy. Met. Soc., vol. 87, N 374, 1961.
12. Gich O. H., Wait G. R. Thunderstorms and the earth's general electrification. I. Geophys. Res., vol. 55, No 4, 1950.
13. Freier G. Conductivity of the air in thunderstorms. I. Geophys. Res., vol. 67, N 12, 1962.
14. Wormell T. W. Vertical electrical currents below thunderstorms and showers. Proc. Roy. Soc., N 127, 1930.

СОДЕРЖАНИЕ

В. П. Колоколов, К. Н. Баркалова, В. В. Купрович, В. А. Кутявин, Р. И. Симонова. Об уточнении методики составления карт числа грозových разрядов	3
В. П. Колоколов, В. А. Камышанова. Характеристика грозовой деятельности в Киеве в 1964 г. по инструментальным наблюдениям	11
Т. В. Лободин. Регистрация лидерной стадии грозových разрядов	15
К. А. Семенов. Результаты наблюдений за грозowymi разрядами в Воейково и на о. Валаам в 1964 г.	21
С. Е. Огуряев. Исследование порогового распределения атмосфериков и их связь с процентом занятого времени	24
П. С. Лыдзар. Установка для определения местонахождения близких грозových очагов с одного пункта	29
Б. К. Иньков. Контрольный генератор для проверки работы пеленгатора атмосфериков	34
Б. К. Иньков. Блок подсветки пеленгатора атмосфериков	38
Г. Ф. Павлюченков. Зонд — счетчик ионов	45
Я. М. Шварц, С. И. Андреева. Еще раз о связи градиента потенциала с грозовой деятельностью	51
М. И. Айнбиндеров. Об использовании установки для определения местоположения гроз с одного пункта в условиях Туркмении	55
А. Х. Филиппов. Метод оценки плотности тока коронирования с естественных острий	59

ТРУДЫ ГГО, выпуск 188

АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Редактор Е. П. Капитанец. Технич. редактор И. К. Грейвер.
Корректоры: Ф. И. Межиковская, Р. Л. Пейсахович

Сдано в набор 24/IX 1965 г. Подписано к печати 16/II 1966 г. Бумага 70×108¹/₁₆. Бум. л. 2,125.
Печ. л. 5,95. Уч.-изд. л. 5,01. Тираж 650 экз. М-20652. Индекс МЛ-81. Гидрометеорологическое
издательство. Ленинград, В-53, 2-я линия, дом № 23. Заказ № 481. Цена 34 коп.

Ленинградская типография № 8 Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете
Министров СССР. Ленинград, Прачечный пер., 6