1932 г. *Т. XII, вып. 2—3*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

О ПРИМЕНЕНИИ ВИДИМЫХ И НЕВИДИМЫХ ЛУЧЕЙ В ТЕХНИКЕ СВЯЗИ И БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ *

Гергард Грески

Общие положения

1. Применяемые волны и их возбуждение.
2. Приемные устройства.
3. Распространение волн и влияние на него атмосферных условий

Специальное применение

1. Оптическая телефония.
   Прием модулированного излучения.
   Детальность действия.
2. Улавливание теплового излучения.
3. Другие применения.

Список литературы

П. 1206/2

Физический ин-т Библиотека Академии Наук

ВВЕДЕНИЕ

Возможность передачи сообщений при помощи световых лучей была использована в примитивном виде еще в старину. Этот способ связи с течением времени и в особенности в XIX в. благодаря успехам в изготовлении линз и зеркал, был усовершенствован настолько, что явилось возможным осуществить на расстоянии видимости бесперебойное телеграфное сообщение с достаточной быстротой. При этом прием производился исключительно при помощи непосредственного наблюдения глазами. Новыми путями пошли только тогда, когда удалось модулировать излучение источников света, например дуговой лампы; одновременно появилась также возможность те-

* Phys. ZS 1931. Перев. Е. М. Брумберг.

лефонной связи. Для подобного приема необходимо иметь устройство, позволяющее преобразовать модулированное излучение в форму слышимой передачи. К этому времени техника электрической передачи, в особенности беспроволочной, сделала столь большие успехи, что вопрос осуществления связи без проводов представлялся тем самым решенным. Дальнейшее развитие оптических средств передачи отошло на задний план, ввиду того, что оптическая телефония обладает ограниченной дальностью действий. Только в последнее время, когда перешли к беспроволочному покрытию небольших расстояний (несколько километров), употребляя для этого небольшие легкие приборы с весьма ограниченным радиусом действия (ультракороткие волны), предназначенные для специальных целей, стали больше внимания уделять передаче при помощи света. Во времена примитивных форм оптической передачи пользовались для связи исключительно светом видимым. Теперь же, когда для приема больше не пользуются глазами, явилось возможным использовать также ультрафиолетовую и инфракрасную части спектра, причем невидимый свет представляет некоторые преимущества.

Приборы для улавливания инфракрасных лучей могут найти себе применение и в другой области. Так, например, они могут быть использованы для отыскания тел, излучающих вследствие разности температур некоторую иную область инфракрасных лучей по сравнению с окружающими предметами (трубы пароходов). Подобные приспособления могут применяться в качестве вспомогательного средства для обеспечения безопасности сообщений.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Применяемые длины волн и их возбуждение

Самыми коротковолновыми лучами, использованными до сих пор для целей оптической связи, являются применяемые Циклером ультрафиолетовые лучи с волною около 0,35 μ (вольтова дуга). Верхняя граница длин волн

пригодных для целей связи, лежит около 2 μ. Более длинные волны, получаемые только в сложных условиях опыта (метод Рубенса, ртутная лампа), не могут быть использованы еще и потому, что наряду с трудностью их возбуждений, для этой области спектра не имеется еще достаточно безинерционных приемников. Для работы в применяемой области спектра от 0,22 до 2 μ служат следующие источники излучения: для ультрафиолетовой части ртутная дуговая лампа и вольтова дуга, для видимой и инфракрасной части вольтова дуга, лампочка накаливания и газосветные лампы. Отдельные области спектра, необходимые для специальных целей, выделяются при помощи соответствующих светофильтров [12]. Таким образом, пользуясь ртутной лампой и фильтром из раствора окиси никеля [26], можно получить исключительно ультрафиолетовые лучи, а с вольтовой дугой и стеклянным фильтром Шотта RG_7 исключительно инфракрасные.

Для целей техники безопасности сообщений длина волны в 2 μ не является предельной, так как в качестве теплового искателя не обязательно применение безинерционного прибора. Наиболее длинные волны, которые могут быть обнаружены при помощи тепловых искателей, излучаются телами с низкой температурой, для которых максимум излучаемой энергии лежит около 10 μ.

2. Приемные устройства

Для обнаружения излучения, применяемого для связи и тепловой сигнализации, пользуются фотоэлектрическим эффектом (фотоэлементы и селеновые элементы) и тепловым действием излучения (болометры и термостолбики). Ячейки, применяемые для связи, должны наряду с достаточной чувствительностью обладать возможно малой инерцией. Вследствие этого совершенно непригодны для целей телеграфии интегральные приемники (болометры и термоэлементы), обладающие чрезвычайно большой инерцией. Из существующих фотоэлементов, на конструкции и деталях которых мы здесь не останавливаемся, так как по этому вопросу имеется многочисленная специальная литература (см. Гудден [13]),

следует выбрать соответствующий тип в зависимости от применяемой длины волны. Неодинаковая чувствительность отдельных типов фотоэлементов к различным частям спектров определяется, главным образом, материалом катода. Так, например, резонансная длина волны для калия лежит приблизительно у 0,44 μ, а для цезия около 0,52 μ. Повышение чувствительности установки к красному концу спектра достигается применением натровых элементов, наполненных газом. Наибольшая длина волны, к которой еще чувствительны такие элементы, соответствует приблизительно 0,8 μ, а длина волны, для которой фотоэлементы обладают еще практически достаточной чувствительностью, соответствует приблизительно 0,6 μ.

Дальнейшее повышение чувствительности к длинноволновому концу видимого спектра получено благодаря открытию свойства кристаллической модификации селена изменять свое электрическое сопротивление под действием света. При первых опытах в области светотелефонии (Симон, Румер), в качестве приемника применялись исключительно селеновые фотоэлементы. Свойства различных видов селеновых элементов подробно описаны в работах Румера [45], [47] (рис. 38) и Бернарда [3]. *

Так как целям связи специально при помощи ультракрасных лучей было в последнее время уделено большое внимание, возникли благодаря систематическим работам Куз [16], Кобленца [7], Майорана и Тедеско [29], Михельсона [32], Шретера [53] и Зевига [58] новые элементы типа селеновых, имеющие максимум чувствительности в инфракрасной области. При этом оказалось, что наиболее подходят для этого элементы из кристаллических материалов, как, например, сурьмы, молибдена, селен-теллура и металлосернистых соединений.

Новый вид фотоэлементов указан Шотки [51], [52] и Ланге [22], [23] (см. также Граффундер [14]). Элемент состоит из медной пластинки, покрытой слоем закиси меди Cu_2O, которая не-

* О механизме действия селенового элемента на основе новых воззрений см. работу Рейхинштейна [37].

сет противоположный электрод (купрокс). Если через этот электрод на слой окиси меди падает свет, то освобождаются фотоэлектроны, следствием чего является фототок.

Схема фотоэлемента Ланге изображена на рис. 1. Этот элемент, в противоположность другим, может также работать и без добавочного напряжения. Его максимальная чувствительность лежит приблизительно у 0,8 μ, а граница чувствительности у 6,6 μ. На рис. 2 представлена спектральная чувствительность различных фотоэлементов. Для хорошей передачи речи при телефонии необходимо, чтобы изменения в приемном элементе следовали с достаточной

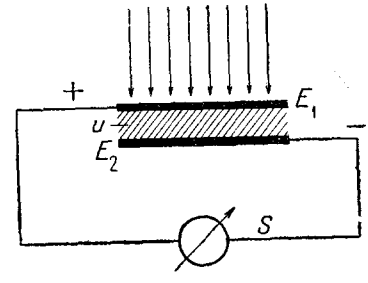

Рис. 1. Схема фотоэлемента по Ланге [22]

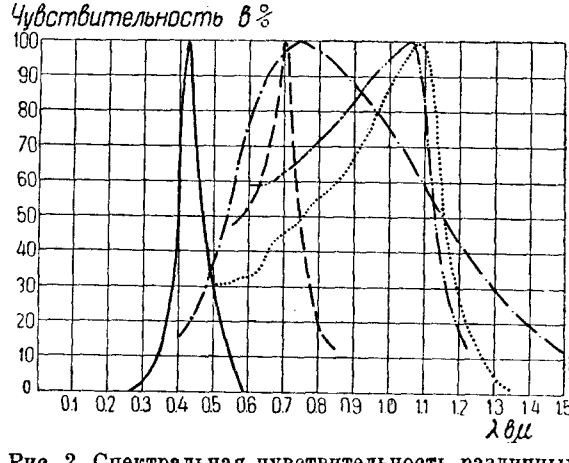

Рис. 2. Спектральная чувствительность различных типов фотоэлементов:

———— калиевый элемент по Циклеру [72],
— — — — селеновый элемент по Шретеру [58],
— . — . — закисный элемент по Ланге [22],
— . . — таллиевый элемент Осрам Т 52 }
. . . . . таллиевый элемент „Cema“ } по Зевигу [58].

быстротой за колебаниями света. Это свойство называется инерцией фотоэлемента и определяется временем в секундах, необходимых, считая с момента освещения, для того

чтобы ток в цепи фотоэлемента достиг своей наибольшей величины. На рис. 3 изображено возрастание тока для различных типов элементов при внезапном освещении. У фотоэлементов ток достигает своего максимального значения уже через 10^{-8} *сек/см* (Шретер и Любцинский [54]). Элементы типа селе-

Рис. 3. Кривая тока при внезапном освещении по Зевигу [58].

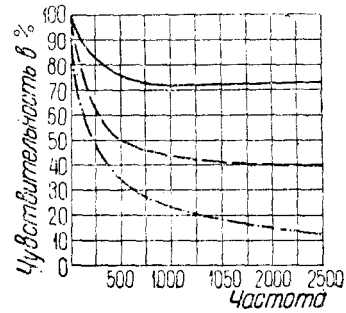

Рис. 4. Зависимость чувствительности различных элементов от частоты:

——— фотоэлемент $E = 80$ V;
— — — фотоэлемент $E = 90$ V;
— . — селеновый элемент $E = 100$ V.

новых и таллиевых обладают наибольшей инерцией, которая возрастает вместе с толщиной слоя.

Практически достаточная ясность телефонной передачи достигалась еще при помощи селенового элемента с инерцией в 10^{-1} сек. Следствием инерции при переменном освещении, является уменьшение амплитуды фототока с возрастанием частоты колебания света; указанное явление в наибольшей степени проявляется у элементов, обладающих значительной инерцией. На рис. 4 изображена эта зависимость от частоты для отдельных типов элементов. Дальнейшим условием для достижения правильно звучащей телефонной передачи является пропорциональность между освещением и фототоком.

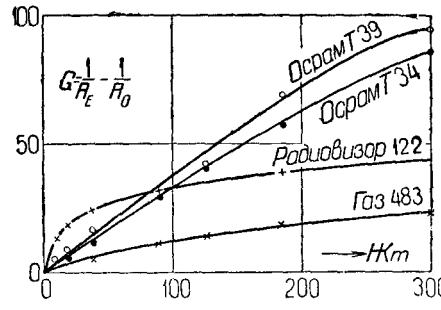

Рис. 5. Связь между фототоком и освещением по Зевигу [58].

Эта пропорциональность строго выполняется у фотоэлементов и купроксных элементов в их рабочей области, в то время как у таллиевого элемента выявляется незначительное уменьшение крутизны при больших интенсивностях освещения, а у селеновых элементов, напротив, имеет место сильное уменьшение крутизны при слабом освещении (рис. 5).

Максимальным пределом при практическом применении вышеописанных фотоэлементов является 2 μ. За этим пределом приходится прибегать к интегральным приемникам (болометрам, термостолбикам). О болометрах и термостолбиках см. книги и статьи Леконта [24], Раулинс и Тейлора, Шефера и Матосси [49], Феге [65] и Вестфаля [66].

Так как в теплоискателях улавливается излучение в пределах до 10 μ, то здесь возможно применение только болометров и термостолбиков. Их инерция в данном случае не имеет значения, так как в этом случае речь идет о приеме немодулированного излучения.

3. Распространение волн и влияние на него атмосферных условий

Теоретически возможный максимальный радиус действия оптической связи, включая сюда ультрафиолетовые и инфракрасные лучи, определяется при отсутствии поглощения в промежуточной среде и, не учитывая мощности передатчика и чувствительности приемника, исключительно прямолинейным распространением света. Дальность действия зависит только от высот положения обеих станций и может быть вычислена из следующего выражения:

$$r = \sqrt{2\rho\,(h_1 + h_2)} = 3{,}55\sqrt{h_1 + h_2}\ км,$$

где ρ (радиус земли) $= 6{,}4 \cdot 10^6$ *м* и h_1 и h_2 должны быть выражены в метрах. Так, например, при положении одной станции в NN, а другой на высоте 1000 *м* эта дальность действия составляла бы приблизительно 110 *км*. Внутри этого чисто геометрического предела дальность действия определяется без учета поглощения среды, исходя из необходимости для действия приемного элемента минимального

освещения. Эта величина по Циклеру [72] для применяемого им калиевого фотоэлемента в соединении с двояковыпуклой линзой, диаметром в 11 *см*, имеет следующее значение:

1. Нормальная, хорошая слышимость, минимальное освещение

$$Eg_{(\min)} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Lx}.$$

2. Слабая, еще понятная слышимость, минимальное освещение

$$Eg_{(\min)} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Lx}.$$

3. Предел слышимости, уже непонятно, минимальное освещение

$$Eg_{(\min)} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Lx}.$$

Приняв за основу предел освещения при хорошей, нормальной слышимости, получаем для различных дуговых ламп указанные в табл. 1 дальности действия.

Если принять теперь во внимание абсорбцию промежуточной среды, то между возможной дальностью действия r и дальностью действия в присутствии абсорбции (идеальная дальность действия ri) существует следующее соотношение, применяемое при расчете прожектора:

$$\frac{r}{\sqrt{\left(1 - \frac{a}{100}\right)^2}},$$

где a есть абсорбция в процентах на 1 *км*, а r дальность действия в *км*. Для минимального освещения приемника, учитывая дальность действия при наличии поглощения, получается следующее соотношение:

$$Eg_{(\min)} = \frac{\left(1 - \frac{a}{100}\right)^2 Ig}{10^6 r^2},$$

где Ig обозначает интенсивность передатчика в свечах Гефнера. Вычисленные из этого соотношения в зависимости от поглощения дальности действия для различных энергий

ТАБЛИЦА 1

Зависимость дальности действия от силы передатчика

(прожектор с углями Герца-Бека)

Сила тока	Диаметр зеркала в *см*	Сила света в НК	Дальность действия в *км*
15	25	$6 \cdot 10^6$	38
30	35	$15 \cdot 10^6$	61
60	60	$75 \cdot 10^6$	137
225	110	$560 \cdot 10^6$	374
300	200	$2000 \cdot 10^6$	707

передатчика, учитывая минимальное освещение, необходимое для хорошей слышимости $Eg_{(\min)} = 4 \cdot 10^{-3}$ Lx, представлены по Циклеру на рис. 6 (I' и I'' указывают дальность действия при слабой слышимости или на границе слыши-

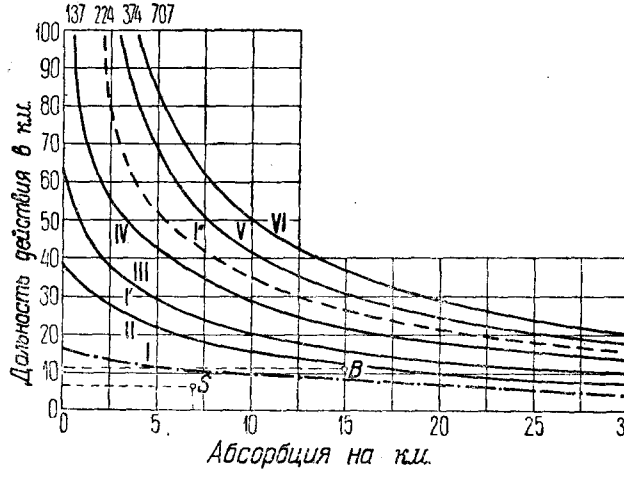

Рис. 6. Зависимость дальности действия от абсорбции при различной интенсивности передачи по Циклеру (цифровые данные см. таблицу).

№	Угли ∅ мм		Дуга I_{gA}	Дуга E_{gV}	Зеркало ∅ см	Сила света I_g $H<$	$I_\omega = \frac{I_g}{S}$ при $F = 1170$ $\cos\varphi = 0{,}48$
Экспериментальная лампа с углями Герца-Бэка							
I	6	6	30	40	20	1×10^6	6 A
Прожектор с углями Герца-Бэка							
II	3	3	15	45	25	6×10^6	3 A
III	6	6	30	55	35	15×10^6	6 „
IV	9	8	60	60	60	75×10^6	12 „
V	16	14	225	90	110	560×10^6	45 „
VI	185	16	300	100	200	1000×10^6	60 „

мости). Если заменить у приемника линзу в 11 *см* диаметром, для которой и проделаны все вышеприведенные расчеты, большей или зеркалами с бо́льшим диаметром, то дальность действия увеличивается пропорционально поверхности этой линзы или зеркала.

Величина потери энергии излучения при прохождении через промежуточную среду зависит от атмосферных условий. Эта величина максимальна во время дождя и тумана. Но также и при хорошей оптической видимости появляются уже потери, зависящие от длины волны. Однако на практике для инфракрасных и видимых волн эти потери существенны только на очень больших дальностях действия, в то время как при ультрафиолетовом свете потери заметны и при небольших расстояниях. Согласно измерениям Даусона, Граната и Гельберта [8] для различных ультрафиолетовых волн, необходимо следующее расстояние d в *км* для того, чтобы уменьшалась интенсивность света до $^1/_{100}$ своей первоначальной величины:

λ в *м*	0,28	0,25	0,22	0,205
d в *км*	22	5	0,51	0,20

Свыше 0,3 μ потери при хорошей видимости также незаметны и для ультрафиолетового света. Однако во время дождя и тумана даже на небольших дальностях действия для всех волн до инфракрасных лучей включительно потери имеют решающее значение, так что их влияние необходимо было экспериментально исследовать. Главное влияние на потери во время дождя и тумана оказывают поглощающие и рассеивающие свойства частиц. Какое влияние является решающим в каждом отдельном случае, зависит от величины частиц и их числа в единице объема, т. е. от рода осадков. О соотношении величин различных видов осадков см. табл. 2. Поглощение не зависит от величины частиц и их количества и определяется исключительно содержанием воды в единице объема.

Влияние рассеивания * различно, в зависимости от соотношения между диаметром частиц и длиной волны. Если величина частиц—одного порядка с длиной волны, то имеет силу закон лорда Рэлея, согласно которому интенсивность

* См. также теоретические работы Ми [33], Дебая [9], Стреттон [63].

рассеянного света возрастает обратно пропорционально четвертой степени длины волны. Кроме того, величина рассеивания увеличивается еще с увеличением количества частиц в единице объема. Частицы указанного порядка

ТАБЛИЦА 2

Соотношение величин у различных видов осадка

Род осадка	Осадков в час	Диаметр капель в *мм*	Колич. *мг* воды на *см* воздуха
Легкий туман	минимум	0,01	6,0
Туман	0,05	0,10	55,5
Моросящий дождь	0,25	0,20	92,6
Слабый дождь	1,00	0,45	138,9
Средний дождь	4,00	1,00	277,8
Сильный дождь	15,00	1,50	833,3
Очень сильный	40,00	2,10	1851,9
Ливень	100,00	3,0 до 5,0	5401,4

величины имеются в тончайшем тумане. В этом случае можно путем применения длинных волн, в особенности инфракрасного света, получить значительное увеличение дальности передачи. Для больших частиц, каковые бывают при сильном тумане и небольшом дожде, закон лорда Рэлея уже не действителен. Потери начинают даже возрастать * с увеличением длины волны до тех пор, пока длина волны по порядку величины не станет опять сравнима с величиной частицы и закон лорда Рэлея не войдет опять в силу, что может быть достигнуто у инфракрасных лучей. Если частицы чересчур велики по сравнению с длиной волны (например при сильном дожде), тогда решающими для рассеивающих действий являются законы геометрической оптики для отражения и преломления в каплях воды, которые не зависят от длины волны. В какой мере поглощение и рассеяние действуют совместно, вследствие того, что они зависят от различных величин, сказать в общем виде довольно затруднительно. Для отдельных случаев можно получить ответ путем экспериментальных исследований.

Гранат и Гельберт [15] исследовали во время сильного

* Согласно измерениям Рудольфа [41], Гельфа и Шеринга [13].

тумана для волн от 0,4 до 3 μ зависимость интенсивности прошедшего излучения от длины волны.

Толщина слоя, при котором интенсивность уменьшилась до $^1/_{100}$ первоначальной величины была для разной длины волн следующая:

0,4	0,5	0,6	1,0	2,0	3,0 μ
710	843	910	970	980	980 *м*

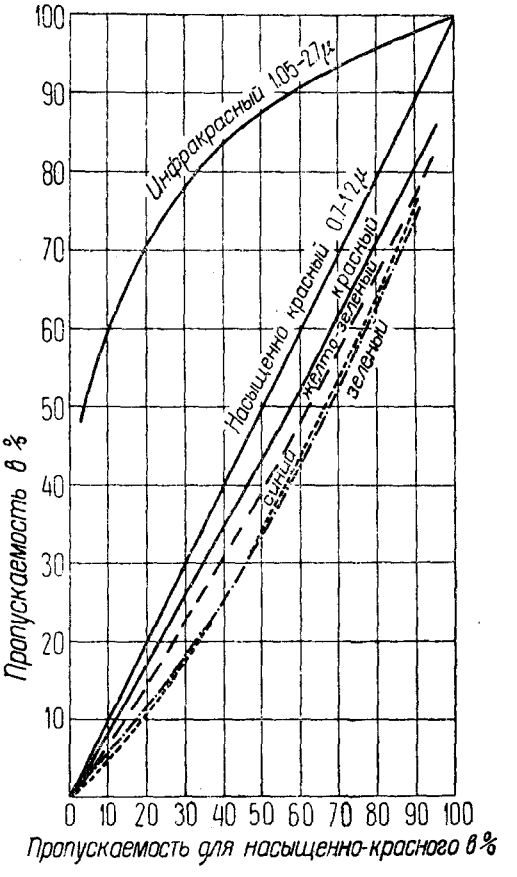

Рис. 7. Пропускаемость облака из малых частиц по Андерсону [1].

Отсюда следует, что при данной концентрации и величине частиц тумана, ожидаемое согласно закону Рэлея сильное превосходство инфракрасных лучей вследствие влияния поглощения будет в значительной мере компенсировано. Так как систематические опыты при обычном тумане вследствие беспрерывно меняющихся условий очень затрудняются, то Андерсоном [1] были произведены различные лабораторные испытания с искусственным туманом различной концентрации и величиной частиц. Он исследовал туман, состоящий из маленьких и больших частиц для различных выделенных посредством фильтра областей спектра, в основу кривых (рис. 7 и 8) он положил процентную пропускаемость темнокрасного света

(0,7 до 12 μ) для различных концентраций, которая откладывалась на оси абсцисс, в то время как на оси ординат отложена пропускаемость в процентах для других цветов. * Кривые, прежде всего, показывают, что для всех концентраций для обоих видов тумана пропускаемость инфракрасных лучей значительно больше, чем для видимого света. Затем пропускаемость от инфракрасного к видимому свету в обоих случаях возрастает с увеличением концентрации, так как поглощение увеличивается с возрастанием концентрации медленнее, чем влияние рассеивания. Пропускаемость для инфракрасных лучей больше при тумане из маленьких частиц (рис. 8), чем при тумане из больших частиц (рис. 7), так как в последнем случае поглощение сильней.

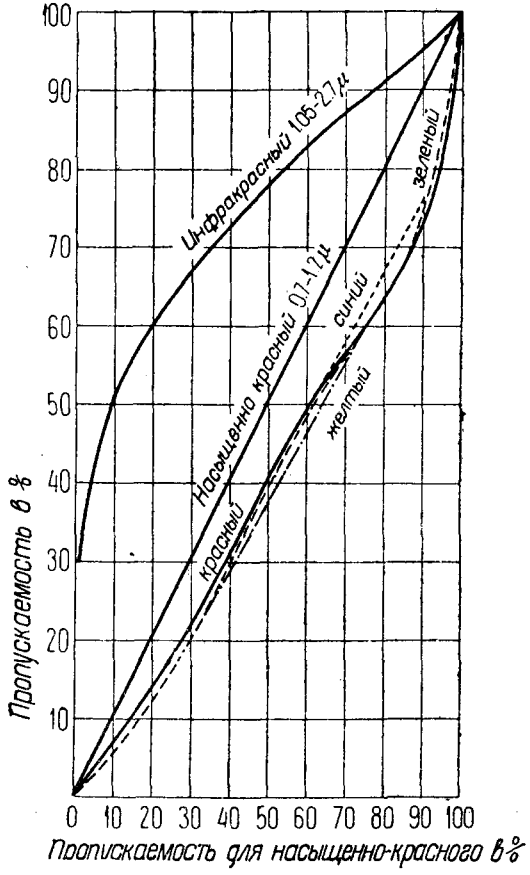

Рис. 8. Пропускаемость облака из больших частиц по Андерсону [1].

В то время как у Граната и Гельберта видно только небольшое превосходство в дальности действия инфракрасных лучей по отношению к видимым лучам во время

* При этом способе черчения графика кривая для темнокрасного цвета представляет собой прямую.

тумана, эта разница гораздо больше в исследованном Андерсоном искусственном тумане и особенно велика при более сильной концентрации. Например, при тумане, состоящем из крупных частиц в сильной концентрации, при пропускаемости для насыщенно-красного света в 5%, пропускаемость видимого света только 2%, тогда как для инфракрасного (1,05 до 2,7 μ) пропускаемость 40%.

Найденная Гранатом и Гельбертом незначительная разность в пропускаемости имелась в искусственных туманах в гораздо большей степени уже при наиболее слабой концентрации, откуда следует, что исследованные здесь туманы были гораздо гуще, чем, вообще говоря, настоящие.

На основании вышеизложенных выводов, что с инфракрасными лучами при неблагоприятных атмосферных условиях все же можно будет получить наилучшие дальности действия, в последнее время возобновилось внимание к развитию оптической телефонии с применением инфракрасных лучей.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ

1. Оптическая телефония

Оптическую передачу предпочтительней применять в том случае, когда речь идет о сообщении только между двумя станциями. Для достижения наибольшей дальности действия необходим интенсивный передатчик, излучение которого можно было бы еще — для достижения большей интенсивности — сделать направленным. Путем очень сильного направленного действия можно достигнуть того, что даже при применении видимого излучения возможность подслушивания третьей станцией будет исключена.

Первый, пригодный для практики оптический телеграфный прибор,* у которого направленность действия достигалась сначала системой линзы, затем заркалами, был предложен еще Манженом[31] в 1870 г., причем ему удалось тогда достичь дальности действия в 25 *км*. На рис. 9 изображен сконструированный им прибор.

---

* О прежних работах см. Геннинг[19].

При помощи этих аппаратов, так называемых оптических телеграфов, можно достигнуть лишь сравнительно медленного темпа телеграфии, так как прием производится глазом. Для повышения скорости телеграфии необходимо акустическое приемное устройство. Для этой цели лучеиспускание должно быть модулировано, что проще всего сделать при помощи вращающегося перед источником света диска с отверстием. Тогда знаки будут, как и вообще в оптической телеграфии, даваться прерыванием потока света.

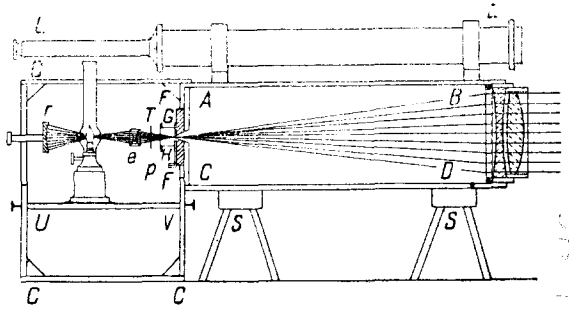

Рис. 9. Оптический телеграф по Манжену [31].

Пользоваться вместо этого непосредственным включением и выключением источника света нельзя, так как вследствие его инерции знаки будут неясными. В остальном применяются те же методы модуляции телеграфной передачи, которые ниже будут указаны для телефонии. Первое устройство для модулирования источника света в ритме вибраций голоса принадлежит Бэллу [4] и здесь упоминается для полноты. Свет дуговой лампы заставляют падать на зеркальную мембрану, которая отражает его по направлению к приемнику. В заднюю сторону мембраны говорят и, благодаря ее деформациям, изменяется в ритме речи расхождение отраженного пучка лучей. Подобные „электромеханические" виды модуляций были также применены в последнее время Майорана [30] и Ролла и Мацца [40]. Дальнейшим пригодным для практического применения устройством является предложенная Симоном [59, 60] говорящая дуговая лампа, устройство которой изображено на рис. 10.

На постоянный ток батарей, питающий дугу, накладываются, при помощи трансформатора, колебания тока в цепи микрофона. Таким образом в пламени дуги возникают в ритм с частотой речи колебания в объеме, и поток выходящего света оказывается модулированным частотой речи. Он вызывает в служащем приемником селеновом фотоэлементе изменение сопротивления, которое делает возможным прием передаваемой речи на телефон.

Румер [42, 43] приводит также и для пламени газа модулированное устройство. Он подводит колебания напряжения

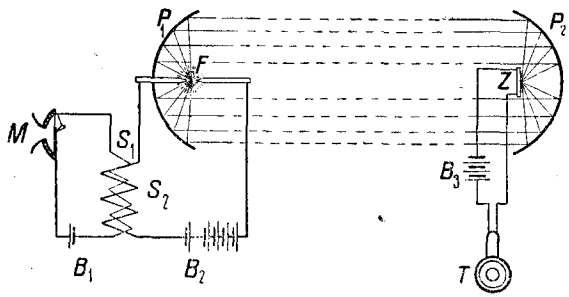

Рис. 10. Оптический телефон по Симону [59]. F — дуга, M — микрофон, S_1, S_2 — трансформатор, P — параболическое зеркало, Z — селеновый элемент, T — телефон.

в цепи микрофона через трансформатор к пламени, причем один полюс, присоединенный к платиновой пластинке, вводится прямо в пламя, а другой присоединяется к основанию бунзеновской горелки. Однако практического применения этот способ не получил вследствие незначительной интенсивности пламени газа и небольших колебаний в интенсивность. Точно так же не была применена на практике известная модуляция пламени (по Кенигу) посредством разговора в мембрану, которая замыкает наполненный газом объем. Для передачи путем световой телефонии и для получения хорошей производительности необходимо выполнение следующих условий.

1. Наибольшая интенсивность лучей для достижения максимальной дальности действия.

2. Наибольшие колебания интенсивности для достижения наилучшей силы звука.

3. По возможности хорошая пропорциональность между колебаниями тока в лампе и вызванными этими колебаниями света.

4. Возможная независимость от частоты для получения правильно звучащей передачи.

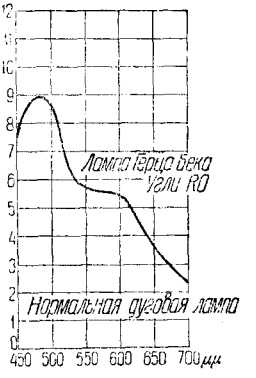

Рис. 11. Спектральное распределение плотности освещения дуговой лампы Герца-Бека по отношению к нормальной дуговой лампе по Циклеру.

Для исполнения первого требования может быть использован опыт из области прожекторной техники. При применении зеркала плотность энергии на приемнике может быть увеличена в 10^4 раза по сравнению с направленным передатчиком. Если приемник также снабжен зеркалом, можно получить усиление в 10^8 раз. При данной интенсивности излучения лампы дальность действия существенно определяется величиной и оптическими качествами применяемого прожектора. Румер [46] применял для передатчика зеркала диаметром в 60 *см*, Симон [60] — 90 *см*. Если имеются в распоряжении оптически высокосортные зеркала*, то можно обойтись и более незначительными размерами, приблизительно 25 или 30 *см*. Для телефонии с инфракрасными или ультрафиолетовыми лучами необходимы зеркала с посеребренной поверхностью. В некоторых модуляционных устройствах направление энергии передатчика более благоприятно производить при помощи системы линз, чем при помощи зеркал. Из всех источников излучения в смысле интенсивности наиболее удобна угольная дуга. При употреблении углей Герц-Бэка получают при одинаковой силе постоянного тока, на 43—75% высшую интенсивность излучения, чем при употреблении чистых углей. И как указано на рис. 11 максимальная интенсивность в 75% лежит при 0,48 μ.

---

* Более подробно о зеркалах см. Зоннефельд [62].

При телефонной передаче, преимущественно на волнах 0,48 μ дуга с этими углями дает наибольший эффект по сравнению с чистыми углями, если приемник состоит из фотоэлемента, максимум чувствительности которого лежит при той же длине волн (0,48 μ). На рис. 12 изображено спектральное распределение чувствительности двух калиевых фотоэлементов фирмы Пресслер в Лейпциге. Кроме того, вышеупомянутые угли имеют относительно маленькую светящуюся поверхность, благодаря чему световая энергия может быть рационально использована. Если же хотят в качестве основных волн применять для телефонии красные и инфракрасные лучи, то угли Герц-Бэка по сравнению с чистым углем дают меньше преимуществ. Колебания интенсивности света, которые должны быть по возможности велики, для достижения хорошей передачи, зависят от различных

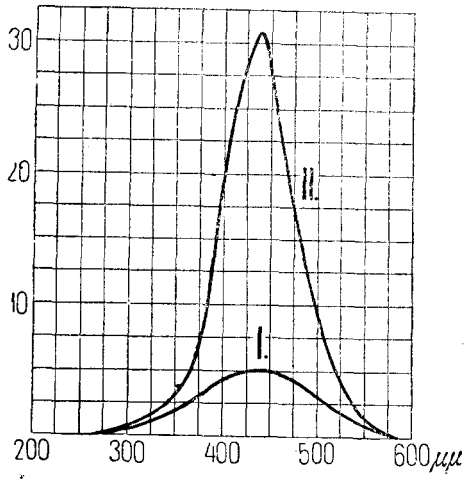

Рис. 12. Спектральное распределение чувствительности калиевого фотоэлемента Пресслера по Циклеру: *I* — вакуумный элемент, *II* — газополный элемент.

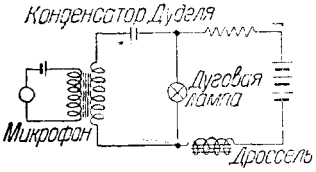

Рис. 13. Схема говорящей дуги по Дуделю [10].

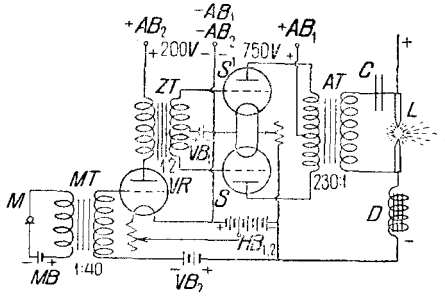

Рис. 14. Передатчик оптической телефонии с дуговой лампой по Циклеру [72].

факторов. Решающую роль здесь играет в первую очередь амплитуда переменного тока, накладывающегося на постоянный ток дуги. В указанном на рис. 10 устройстве Симона, переменный ток проходит также через батарею и реостат для дуги, вследствие чего ослабляется его амплитуда. Дудель[10] изменил поэтому включение так, как изображено на рис. 13. При этом переменный ток, которому дроссель закрывает путь через батарею и сопротивление, проходит через конденсатор непосредственно к дуге.

У современных передатчиков, употребляемых в световой телефонии, например у Тиринга[64] и Циклера[72], переменный ток подводится к дуге через усилительное устройство, как указано на рис. 14.

Первоначальное предположение, сделанное Брауном[5] и Симоном[59], согласно которому колебания сводятся на колебания имеющегося в дуге джоулевого тепла (i^2w), повлекло за собой необходимость усилить постоянный ток дуги, для увеличения колебаний интенсивности. Так как колебания света, согласно этому предположению, пропорциональны колебанию тепла $dQ = 2iwdi$, Симон установил улучшение силы звука при увеличении постоянного тока, в то время как Румер[46] этого наблюдения не подтвердил. Систематические исследования зависимости изменений света, как кратера, так и самой дуги от силы постоянного тока, питающего дугу для различных частот, недавно были вновь проведены Яуманом[21] (см. табл. 3).

ТАБЛИЦА 3

Зависимость колебаний света от силы тока

1. Кратер угля Герц-Бэка

Сила тока напряжением в 30 V	Колебания света при		
	170 Hz	1593 Hz	9190 Hz
40 A	0,0786	0,0696	0,0318
30 „	0,0693	0,0504	0,0242
20 „	0,0665	0,0385	0,0216

Физический Ин-т Академии наук СССР Библиотека

2. Дуга с углями Герц-Бэка

Сила тока напряжением в 30 V	Изменения света при			
	191	1593	5630	11 270
40 A	0,0370	0,0279	0,0161	0,0115
30 „	0,0451	0,0219	0,0153	0,0111
20 „	0,0496	0,0246	0,0144	0,0103

Из этой таблицы видны результаты, полученные Яуманом. При повышении постоянного тока в дуге от 30 А на один процент, изменения силы света происходят на следующие величины (считая данную 30 А за 1).

Угли Герц-Бека

Кратер

Пер.	169,8	1593	9190
Изм.	0,210%	0,915%	0,635%

Дуга

Пер.	191	1593	5630	11 270
Изм.	0,42%	0,22%	0,065%	0,160%

Для общей области частот, необходимой для передачи речи, величина колебаний света при всех исследованных частотах возрастает меньше, чем пропорционально силе тока, так что достигнутое увеличение колебаний света путем усиления постоянного тока не представляется экономически выгодным.

Для правильной передачи звука необходимо, чтобы между колебаниями света и переменным током, накладываемым на дугу, была пропорциональность. В какой мере это соблюдается, было систематически исследовано Яуманом. В области частот от 100 до 50 000 герц он не мог установить никаких систематических отклонений от пропорциональности. Линейность была соблюдена, однако, с отклонениями до 10%.

Следующим требованием для правильной передачи звука является возможно большая независимость колебаний света от частоты. Эта независимость была также исследована Яуманом в интервале от 100 до 50 000 герц, причем он ис-

следовал как кратер, так и различные области дуги для чистых углей и угля Герц-Бека.

Наибольшие колебания света при обоих сортах углей наблюдаются в кратере. В верхних частях дуги не наблюдается почти никаких колебаний в силе света, несмотря на то, что они являются местами наибольшей интенсивности дуги. Однако при углях Герц-Бека величина колебания силы света достигает в части дуги, прилегающей к кратеру, половины величины колебаний силы света в самом кратере, в то время как у дуги из чистых углей эта величина значительно меньше. Результаты приведены в табл. 4. Во второй колонке указана амплитуда колебаний силы света при эффективной силе накладываемого переменного тока в 1 А.

Величина постоянного света указана в каждом случае, так как сила света, несмотря на постоянство величины силы и напряжения постоянного тока, вероятно, изменяется вследствие неоднородности углей. Это изменение постоянного света обусловливает одновременно изменения колебаний света, однако, редукция соответственных значений на какое-нибудь одно значение постоянного света не была возможна, вследствие того что закономерность этих изменений не была точно выявлена.

Лучшее представление о зависимости от частоты можно получить путем введения „относительных колебаний силы света“:

$$K = \frac{\dfrac{\text{амплитуда колебаний силы света}}{\text{постоянный свет}}}{\dfrac{\text{амплитуда переменного тока}}{\text{постоянный ток}},}$$

т. е. зависимости между относительными колебаниями света и относительными колебаниями тока. Влияние вышеуказанных случайных колебаний изменилось пропорционально постоянному свету, как это бывает приблизительно у дуги. На рис. 15 представлена зависимость этих „относительных колебаний света“ от частоты, и видно, что эта зависимость для самой дуги имеет более гладкий ход, чем для кратера. Наглядное понятие дает логарифмическое изо-

бражение (рис. 16). Начиная с 1000 периодов k уменьшается приблизительно пропорционально корню квадратному из частоты, между 0 и 1000 это уменьшение идет еще медленнее.

Эта, сравнительно, небольшая зависимость от частоты обеспечивает возможность применения дуги для передачи речи.

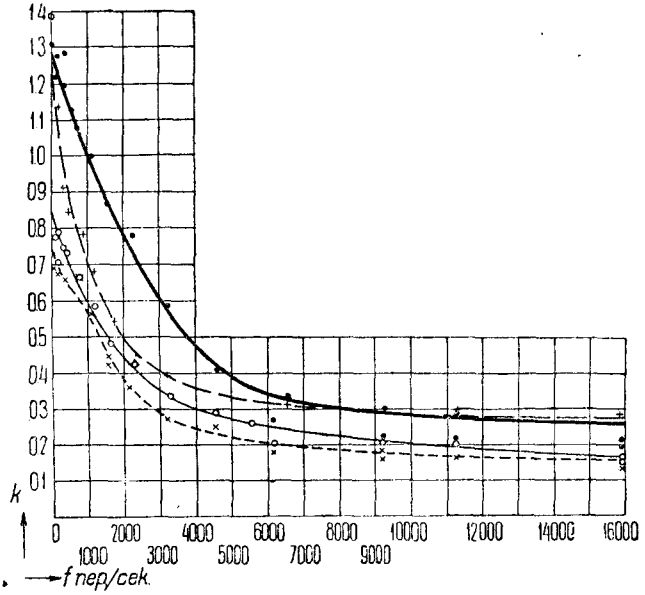

Рис. 15. Зависимость от частоты относительных колебаний света дуги по Яуману [21].

Непригодность высоких частот при передаче посредством световой дуги может быть сглажена путем выбора размеров конденсатора при включении по схеме Дуделя (рис. 13), так как при уменьшении этой емкости амплитуды низких частот могут быть ослаблены. Во всяком случае, вышеуказанная зависимость от частоты облегчает передачу речи и улучшает ее по сравнению с передатчиком с лампой накаливания по Тирингу [64], у которой даже при самых тонких металлических проволочках амплитуда изменений света с увеличением частоты падает вместе с $1/f$.

При своих опытах Яуман пользовался в качестве прием-

ТАБЛИЦА 4

Зависимость колебаний света от частоты и кратера и дуги угольных дуговых ламп по Яуману [21]

Частота	Чистые угли				Угли Герц-Бека			
	кратер		дуга		кратер		дуга	
	Пост. свет	Колеб. света на 1 А	Пост. свет	Колеб. света на 1 А	Пост. свет	Колеб. света на 1 А	Пост. свет	Колеб. света на 1 А
135	0,910	0,0823	—	—	—	—	0,699	0,0399
142	—	—	—	—	2,16	0,0779	—	—
191	0,943	0,0860	0,111	0,01625	2,09	0,0757	0,764	0,0456
254	—	—	0,109	0,01481	—	—	—	—
270	0,997	0,0889	—	—	2,15	0,0749	0,682	0,0386
381	0,944	0,0821	0,114	0,01344	2,04	0,0693	0,628	0,0377
563	0,936	0,0804	0,117	0,01260	2,11	0,0641	0,775	0,0413
796	0,950	0,0705	0,117	0,01192	2,15	0,0676	0,752	0,03805
1127	0,940	0,0683	0,136	0,01178	2,20	0,0583	0,731	0,03535
1593	0,990	0,0545	0,131	0,00873	2,10	0,0501	0,771	0,0307
2252	1,290	0,0461	0,144	0,00789	2,18	0,0429	0,830	0,0274
3185	1,110	0,0354	0,147	0,00754	2,35	0,0396	0,780	0,01977
4510	0,943	0.0301	0,141	0,00727	2,46	0,0342	0,780	0,01508
6500	0,889	0,0246	0,133	0,00525	2,51	0,0288	0,771	0,01218
9190	0,970	0,0218	0,144	0,00543	2,00	0,0219	0,730	0,0103
11 270	1,120	0,0245	0,144	0,00545	1,95	0,0164	0,916	0.0127
15 930	—	0,01803	0,147	0,00512	2,05	0,0152	0,715	0.00715
16 790	—	0,01725	—	—	—	—	—	—
22 520	—	0,01670	0,128	0,00493	2,31	0,0201	0,650	0,0101
29 100	—	—	0,143	0,00297	—	0,0	—	—
7130	0,967	0,0222			1,86	0.0178	0,620	0,00720
9190	1,110	0,0224			2,02	0,0200	—	—
11 270	1,178	0,0221			2,25	0,0219	0,770	0,00786
15 930	1,150	0,0195			1,89	0,0145	0,805	0,00696
22 520	1,075	0,0163			1,94	0,0120	0,850	0,00673
29 100	1,117	0,01505			1,93	0,01058	0,752	0,00518
35 600	1,158	0,0126			1,98	0,01080	0,916	0,00540
50 400	0,917	0,00931			—	0,00815	—	0,00385

ника калиевым фотоэлементом с максимумом чувствительности в голубом свете. Экспериментальных исследований

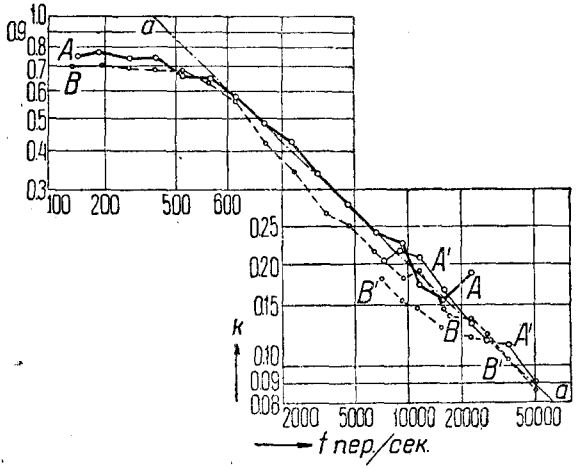

Рис. 16. Зависимость от частоты относительных колебаний света (логарифмический масштаб) по Яуману.

в других спектральных областях пока не имеется. Однако на основании теоретических соображений Яумана можно сделать заключение о правильности принципиальных результатов и для других областей спектра, в частности для инфракрасной.

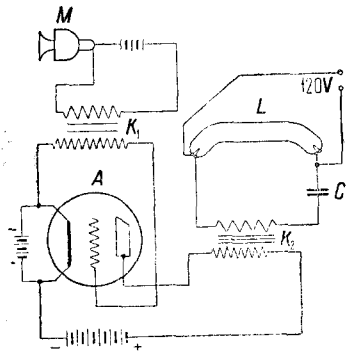

Рис. 17. Расположение для модуляции ртутной лампы по Майорана [26].

Наряду с обычной дугой, горящей при атмосферном давлении, можно также применить дугу в разреженном газе. Так, Майорана [26] применял в качестве передатчика кварцевую ртутную лампу.

Представленное на рис. 17 модуляционное включение собрано по принципу схемы Дуделя, применяемой к дуговой лампе. Путем одноступенного усиления колебаний тока микрофона, можно дугу модули-

ровать так, что ее сила тока будет колебаться между $^1/_6$ и $^1/_5$. Эта степень модуляции является предельной для получения хорошего звучания и для достижения стабильных условий работы.

Решающее значение имеет давление газа в разрядной трубке; при чересчур малом давлении дугу, по Майорана, трудно модулировать. Ртутная дуговая лампа, по сравнению с открытой дуговой лампой, имеет преимущество большего постоянства и более удобного обращения. Ее следует в особенности предпочесть в том случае, когда приходится работать с ультрафиолетовыми лучами, если нет необходимости достигать больших дальностей действия.

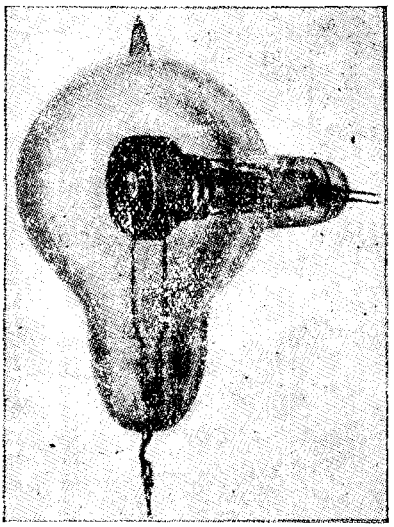

Рис. 18. Лампа тлеющего разряда по Пирани [35].

То же, вне зависимости от области волн, действительно для применения лампы тлеющего разряда в качестве телефонного передатчика. При этом есть возможность путем подходящего наполнения газом получить для передачи определенные спектральные линии, именно те, к которым особенно чувствителен применяемый фотоэлемент. Так, например, Шретер [53] применял гелиевую лампу, резонансная линия которой находится в инфракрасной части около 1,08 μ, где приблизительно находится максимальная чувствительность для использованного им в качестве приемника фотоэлемента. Применение лампы тлеющего разряда на практике для целей связи стало возможно, благодаря развитию ламп с большой поверхностной яркостью, так называемых „световых шприцев".

Для сравнения следует сказать, что угольная лампочка накаливания в 3,5 W на НК имеет плотность света, равную

71 НК/см², в то время как положительный кратер вольтовой дуги (с чистыми углями) дает 15 500 НК/см².

Шретер использовал для модуляции гелиевой лампы указанное на рис. 19 включение. Для всех до сих пор перечисленных видов модуляции характерно, что интенсивность источника излучения колеблется в ритме речи. Поэтому в качестве передатчика света годятся только такие источники, интенсивность колебаний которых при модуляции разговорными токами имеет чрезвычайно малую инерцию. У обыкновенных лампочек накаливания это требование было бы выполнимо только для очень низкочастотных колебаний тока, приблизительно до 50 герц, так что для передачи речи они не годятся.

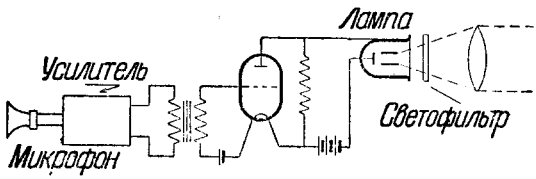

Рис. 19. Модуляция гелиевой лампы по Шретеру [53].

Модуляцию светового потока можно осуществить таким образом, что источник света питается током постоянной силы, а изменение интенсивности происходит лишь на пути луча. Для этого представляется возможным применить электромагнитное вращение плоскости поляризации (эффект Фарадея) и эффект Керра. На практике до сих пор пользовались только эффектом Керра, который позволяет управлять изменениями интенсивности без затраты дополнительной мощности. На рис. 20 изображено такое модуляционное устройство по Шретеру, которое уже известно из дальновидения и передачи изображений. При разговоре

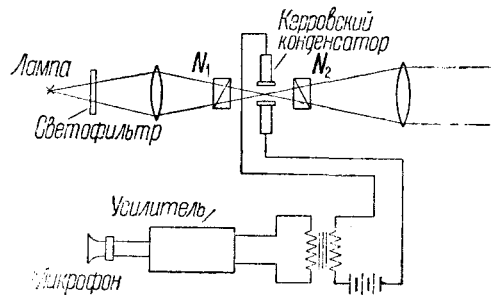

Рис. 20. Модуляция при помощи керровского конденсатора по Шретеру [53].

в микрофон на зажимах керровского конденсатора возникают колебания напряжения, которые вызывают безинерционное изменение электрического двойного лучепреломления в диэлектрической жидкости (в большинстве случаев нитробензол). Чтобы работать в прямолинейной части характеристики керровского конденсатора так, чтобы маленькие колебания в напряжении вызывали большие изменения двойного лучепреломления, нужно наложить добавочное напряжение порядка 100V. Инерция этого устройства значительно меньше всех вышеописанных.

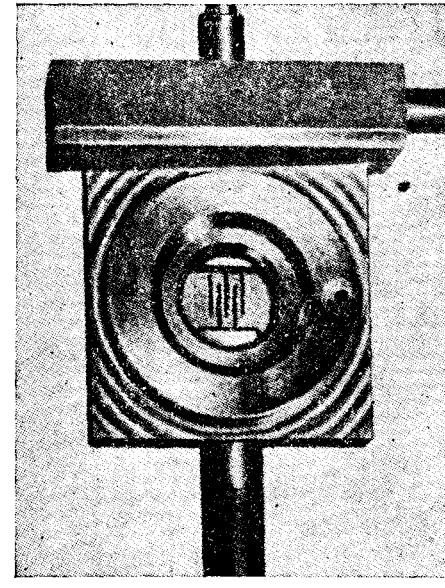

Рис. 21. Керровский конденсатор большой мощности по Ильбергу [20].

Недостатком этого устройства является небольшая отдача света, так как в нормальном конденсаторе Керра для достижения больших полей расстояние между электродами должно быть незначительным (несколько десятых миллиметра). Чтобы устранить этот недостаток разработан конденсатор с несколькими электродами [20], как показано на рис. 21.

Другой вид модуляции, который в противоположность ячейке Керра допускает полное использование силы света лампы, был предложен фирмой Цейсса в Иене [69].

От источника света a (рис. 22) посредством линзы b направляют пучок света под углом полного внутреннего отражения на поверхность C_1 стеклянного тела C. Отраженный свет падает на линзу d и выходит параллельным пучком. Если к поверхности C_1 прижимают второй стеклянный полушар, то падающий пучок света проходит через поверхность соприкосновения, без отклонения, а через

линзу d света больше не проходит. Между этими двумя предельными случаями, как показывает опыт, можно непрерывно менять интенсивность света, исходящего от d, перемещая стеклянное тело i от одного крайнего положения до другого, т. е. от полного соприкосновения с телом C до положения, в котором наступает полное внутреннее отражение.

Если же стеклянное тело i укрепить на мембране телефона и включить указанным образом магнитные обмотки h_2

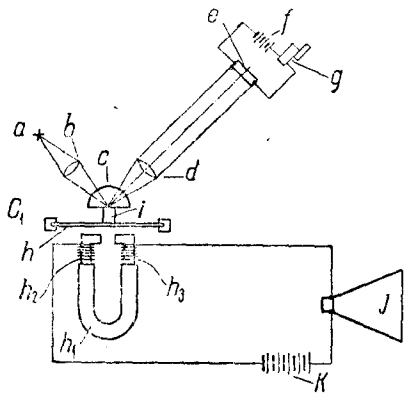

Рис. 22. Схема оптической телефонии по Цейссу [69] для отраженного света.

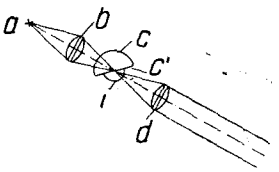

Рис. 23. Ход лучей в схеме Цейсса для проходящего света.

и h_1 с микрофоном и батареей в цепь тока, то при разговоре в микрофон получается модуляция исходящего из a света.

Расстояние между i и c выбрано так, что при максимальной амплитуде мембраны тело i вполне соприкасается с поверхностью C, так что через d совершенно не проходит свет.

Вместо отраженного на поверхности стеклянного тела света можно также модулировать проходящий свет (рис. 23).

При этом максимальная интенсивность получается при полном соприкосновении обоих стеклянных тел и полное потухание при таком расстоянии, когда вместе C_1 начинается полное внутреннее отражение.

В противоположность модуляции посредством керровского конденсатора, который работает без инерции приблизительно до 10^8 герц, описанный способ, при котором должны перемещаться некоторые (хотя и малые) массы, обладает большой инерцией. Впрочем, при разговорных частотах этот недостаток еще сказывается. Выбор типа передатчика и модуляции в каждом отдельном случае зависит от особых требований поставленной задачи.

Прием модулированного излучения. В качестве приемников модулированного излучения в настоящее время пользуются фотоэлементами и при том различных типов, в зависимости от применяемого интервала длин волн. Интегральные приемники, как болометры, термоэлементы не пригодны для приема модулированного излучения вследствие своей инерции.

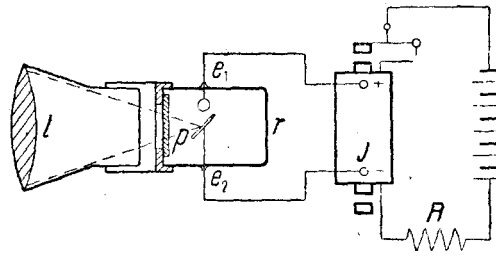

Рис. 24. Приемное устройство для ультрафиолетовой телеграфии по Циклеру [70].

До применения фотоэлементов для целей оптической телеграфии и телефонии, Циклер [70] указал на оригинальный способ приема секретной телеграфии ультрафиолетовыми лучами, причем, пользуясь прожектором в качестве передатчика, достиг дальностей действия до 1300 *м*. Практического значения это устройство не получило (рис. 24), а упоминается здесь об этом только ради полноты. Способ Циклера основывается на том факте, что можно вызвать еще не наступившую искру, освещая искровой промежуток e_1 e_2 ультрафиолетовыми лучами.

В ритме попадающих на искровой промежуток ультрафиолетовых телеграфных знаков происходит проскакивание искры, которое можно услышать при помощи когерера. Для повышения чувствительности искровой промежуток был заключен в закрытый сосуд с пониженным давлением (200 *мм* Hg). Ультрафиолетовый свет пускался на элек-

троды посредством кварцевой линзы *l*, через кварцевое окошечко *p*. Такое устройство представляет собой, таким образом, примитивную форму фотоэлемента. Для испытания на пути ультрафиолетового света ставилась стеклянная пластинка.

Значительный успех в развитии приемников для телефонии был возможен после изобретения усилительных катодных ламп. До этого пользовались исключительно селеновыми элементами. Использованное Симоном приемное устройство с селеновым элементом показано на рис. 10. Различные исследователи для своих опытов изготовляли их большей частью сами лабораторными способами, надеясь получить более высокую чувствительность и меньшую инерцию. Качество элемента всецело определялось его производительностью и дальностью действия. Наибольшей чувствительности селенового элемента достиг Румер [47]; применив большие зеркала, он достиг передачи расстояния до 15 *км*.

Когда усилители радиотелеграфии развились в аппараты, пригодные для целей практической эксплоатации, они были также применены в свето́телефонии в соединении с селеновыми элементами и фотоэлементами.

Применяя селеновые элементы без усилителей приходится колебания в контуре элемента делать настолько большими, чтобы превзойти минимальные значения, еще достаточные для приведения в действие телефона. Используя уже один усилитель, можно обойтись значительно меньшими колебаниями в контуре элемента и тем самым существенно уменьшить нагрузку элемента. Это дает преимущество, так как с понижением нагрузки уменьшаются даваемые элементом шумы, обусловленные, вероятно, постоянным изменением сопротивления вследствие внутренней молекулярной перегруппировки. Для получения отчетливой слышимости этот внутренний шум должен быть возможно малым по сравнению с шумом, полученным в телефоне при помощи модулированных колебаний. Последнее условие будет тем более выполнено, чем слабее интенсивность падающего на ячейку диффузного света и чем значительней

амплитуда световых колебаний отправителя. Ввиду этого Тиринг [64] применял элементы, помещаемые им в фокусе приемного объектива, с очень малой воспринимающей поверхностью (около 1 *мм*). Подобный элемент, имея сопротивление при отсутствии освещения около одного мегома, выдерживает нагрузку лишь около двадцати вольт. Поэтому Румеру пришлось для получения более сильных колебаний, и следовательно, большей нагрузки, применять элементы с большей поверхностью. Для лучшего использования приходящей энергии элементы устанавливались в зеркалах экстрафокально. Тиринг пользовался четырехламповым усилителем. В этом случае нижняя граница тока,

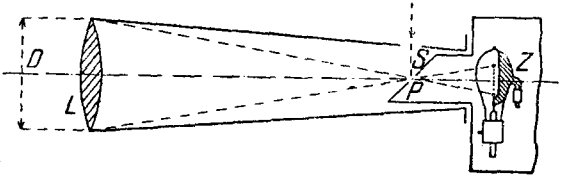

Рис. 25. Приемник оптической телефонии с фотоэлементом по Циклеру [72].

вызываемого колебаниями света, не должна лежать слишком низко, так как в противном случае слышимость может быть снижена вследствие мешающих шумов усилителя. Это происходит по Тирингу тогда, когда сопротивление ячейки превосходит приблизительно десять мегомов.

Фотоэлементы в соединении с одноламповым усилителем впервые были применены Майорана [26] в его ультрафиолетовой телефонии. Так же, как и Тиринг, он использовал в приемнике собирающую линзу, увеличивая диаметр и фокусное расстояние с отдалением приемника от отправителя.

На рис. 25 изображена приемная установка по Циклеру [72], с калиевым фотоэлементом Пресслера, для которого распределение спектральной чувствительности было уже приведено на рис. 12. Для лучшего использования светочувствительной поверхности фотоэлемент *2* установлен относительно линзы *L* экстрафокально. Элемент защищен от постороннего света металлическим футляром, имеющим тубус

Т А Б

Обозрение применявшихся до настоящего времени уста

№	Автор	Источник света	Область волн	Выделение области волн при помощи	Способ модуляции	Микрофонный усилитель
1	Белл (4) 1880	Дуговая лампа	Длинноволновой видимый свет	Фотоэлемент	(?)	—
2	Циклер (70, 71) 1898	Дуговая лампа 60 А	Ультрафиолетовый ($\lambda < 0{,}35$ μ)		(?)	—
3	Симон (59, 60) 1901	Дуговая лампа 3 А	Длинноволновой видимый свет	Фотоэлемент	Говорящая дуга	—
4	Румер (46) 1902	Дуговая лампа	Коротковолновой видимый свет		Говорящая дуга (Дудель)	—
5	Румер (47) 1904	»	Длинноволновой видимый свет	Ф.-э. (max до 0,438 μ)	»	—
6	Тиринг (64) 1920	»			Говорящая дуга	С усилителем
7	Тиринг (64) 1920	Лампа тлеющего разряда с большим разряд. 5 W			Как при говорящей дуге	»
8	Майорана (26) 1928	Ртутная дуговая лампа	Ультрафиолетовый до 0,365 μ	Никель-оксид. фильтр	Говорящая дуга (Дудель)	1 лампа
9	Циклер (72) 1928	Дуговая лампа на различную силу тока	Коротковолновой видимый свет до 0,48 μ	Ф.-э. (max до 0,438 μ)	»	3 лампы
10	Майорана (27) 1920	Лампа тлеющего разряд. 500 W	Инфракрасный ($\lambda \sim 1$ μ)	Manganoxcug фильтр	Отражение от подвижн. зеркала	—
11	Ролла и Маца (40) 1930	Дуговая лампа 75 W 100 »	Инфракрасн. (от 0,8 до 0,4 μ)	Ф.-э. и фильтр	Телеграфн. говорящая дуга	С усилителем
12	Шротер (53) 1930	Лампа тлеющего разряда	Инфракрасный	Фильтр	Конденсатор Керра	»
13	» »	Лампа тлеющего разряда, наполненная гелием	» (до 0,8 μ)	»	Как при говорящей дуге	»
14	Шротер (56) 1930	Дуговая лампа 600 W	Инфракрасный ($\lambda > 0{,}745$ μ)	Инфракрасный фильтр Wratten № 87	(?)	—

Л И Ц А 5

новок и дальностей передачи при световой телефонии

Отправительная оптика	Приемная оптика	Приемный ф.-э.	Усиление	Дальность действия в *км*
Зеркало или линза	Зеркало	Селеновый ф.-э.	—	0,25
Металлическое зеркало 80 *см* ∅ 20 *см*. ф. р.	Кв. линза 4 *см* ∅ 15 *см* ф. р.	(?)	—	1,3
Зеркало 90 *см* 32 *см*. ф. р. ∅	Линза 30 *см* ∅	Селеновый ф.-э.	—	2,5
Зеркало 35 *см* ∅	Зеркало 50 *см* ∅ 7 *см* ф. р.	Сенсибилизированный цилиндрической формы Селеновый ф.-э. 23 *мм* длины 18 *мм* ∅	—	7,0
Зеркало 60 *см* ∅	Зеркало 90 *см* ∅	Цилиндрический ф.-э.	—	15,0
Зеркало 35 *см* ∅	Линза 22 *см* ∅ 30 *см* ф. р.	Селеновый ф.-э. поверхность 1 $мм^2$	4 лампы	9,0
Зеркало 35 *см* ∅	»	»	4 лампы	Несколько *км*
Кв. линза 50 *см* ∅ 50 *см* ф. р.	Кв. линза 50 *см* ∅ 50 *см* ф. р	Ф.-э.	1 лампа	16 *км*
Зеркало разл. диам.	Линза 11 *см* ∅	Калиевый ф.-э.	3-кратн. усил. Лове	Рассчитано, см. таб. 1 и фиг. 6
Линза 30 *см* ∅	Линза 30 *см* ∅	Таллиевый ф.-э.	Усилитель	10,2
Линза 30 *см* ∅ линза или зеркало	Линза	»	Усилитель	18 [туман (сред.) 15 *км* туман (сред.) 10 *км*]
Линза	Зеркало	Селен-теллур. или таллиевый ф.-э.	Усилитель	Не указано
»	»	»	Усилитель	Не указано
»	»	Селен-теллур ф.-э.	4 лампы	28,0

в форме трубы. Передняя стенка этого тубуса представляет собою зеркало, наклоненное под 45° к оптической оси и имеющее в центре отверстие диаметром около 1 *мм*.

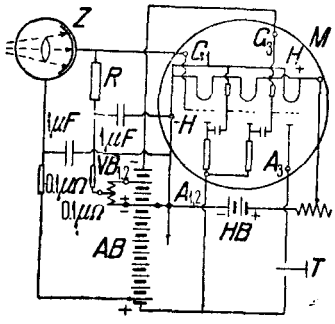

Рис. 26. Приемник оптической телефонии с фотоэлементом по Циклеру. Электрическая часть.

Наблюдая через верхнее отверстие, устанавливают линзу так, чтобы получаемое изображение отправителя исчезло как раз в отверстии у зеркала S и благодаря этому свет попал на фотоэлемент.

Схема включения электрической части приемника показана на рис. 26. Усилителем служит трехкратный усилитель Лове, с которым достигается возможно наилучшее усиление передачи относительно шумов, даваемых фотоэлементом.

На рис. 27 представлено приемное устройство для инфракрасного излучения, использованное в последнее время Шретером [53] с применением селен-теллурового фотоэлемента и вогнутого зеркала.

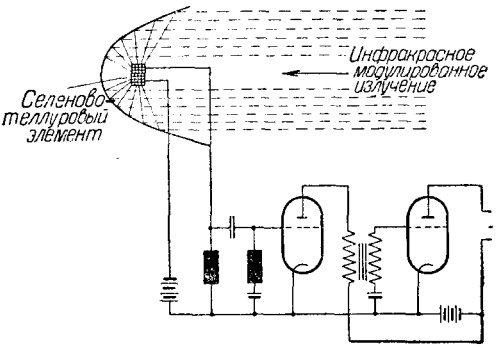

Рис. 27. Приемник ультрафиолетовой телефонии по Шретеру [53].

Выводы усилителя должны во всех случаях правильно присоединяться к примененной фотоячейке (ср. также Шретер и Ильберг [55]).

Дальность действия. В практике, при выборе аппаратов, достигаемая при их помощи дальность передачи не всегда может служить мерой пригодности. Следует принять во внимание также необходимые издержки. Так, во многих случаях, и в особенности при пе-

реносных аппаратах, предпочтительнее передатчик с дуговой лампой, как в отношении потребляемой энергии, так и ввиду применимости в этом случае больших вогнутых зеркал.

На табл. 5 дано обозрение известных в литературе полученных до сих пор результатов, а также приведены издержки и указаны использованные длины волн. Однако следует отметить, что по приведенным данным нельзя делать сравнений в отношении полученной дальности действия, так как не во всех случаях известны атмосферные условия, имеющие подчас решающее значение.

2. Приемники тепловой радиации

В то время, как при оптическом способе передачи на дальность действия решающее влияние оказывает выбор отправительного агрегата, при приеме тепловых лучей дальность действия увеличивается исключительно за счет повышения чувствительности приемного устройства.

Так как здесь речь идет исключительно о приеме невидимого температурного излучения, вопрос может быть только о чувствительности приемника в инфракрасной части. В особенности важна чувствительность к более длинным тепловым волнам, так как излучатели обладают, в общем, относительно низкой температурой. Инерция применяемых интегральных приемников — болометров и термоэлементов — не играет существенной роли, так как в данном случае требуется лишь обнаружение немодулированного излучения.

К соответствующей установке предъявляется требование, с одной стороны, обнаружения возможно малых количеств приходящей энергии и, с другой стороны, возможности точного определения направления на излучатель. Для этого требуется, наряду с высокой чувствительностью ячейки, также хорошая оптика. В данном случае исключается применение линз, так как единственно пригодные здесь линзы больших размеров из каменной соли и флуорита обходятся слишком дорого. Следует обратиться, следовательно, к зеркалам с посеребренной поверхностью; последнее является

*

необходимым для лучшей отдачи энергии в данной области волн.

Энергия, концентрирующаяся на ячейке, увеличивается соответственно увеличению поверхности зеркала, вследствие чего следует применять зеркала с возможно большим открытием. Зеркалам приходится придавать параболическую поверхность, так как сферические зеркала большой светосилы не дают хорошего изображения.

В общем, при равных диаметрах, зеркало с большим фокусным расстоянием по оптическим качествам превосходит зеркало с малым фокусом, что особенно ясно выступает для зеркал с очень большим диаметром. При равных оптических качествах для зеркал разной величины чувствительность растет пропорционально поверхности зеркала. Табл. 6 дает сравнение параболических зеркал с посеребренной поверхностью, имеющих различные диаметры и фокусные расстояния по данным, полученным автором.

ТАБЛИЦА 6

№ зеркала	Диаметр	Фокусное расстояние	Соотношение усилений	
			рассчитанное соотнош. пов.	измеренное
1	250	140	1	1
2	350	150	1,95	2,47
3	600	250	5,74	4,52
4	600	480	5,74	8,20
5	1180	480	22,20	11,0

Выбор приемника определяется поверхностной чувствительностью ячейки и величиной собирающей поверхности. Относительная поверхностная чувствительность двух болометров или термопар находится из отклонений, получаемых на гальванометре, при освещении равных поверхностей обоих клеток лучами одинаковой интенсивности. Подобное сравнение показывает, что болометр с меньшею собирающей поверхностью обладает, в общем, большей поверхностной чувствительностью. Таким образом приемное устройство, снабженное болометром с меньшей собирающей поверх-

ностью, является наиболее чувствительным при том условии, что получаемое изображение излучателя не превышает собирающей поверхности болометра.

Кроме того, при этом достигается большая острота наводки. В случае, когда не требуется значительная острота, для облегчения нахождения луча целесообразно применять болометры с большей улавливаемой поверхностью.

Для измерений, требующих большой чувствительности и точности, следует применять гальванометры постоянного тока. Наиболее подходящим является петлевой гальванометр Цейсса, обладающий достаточной чувствительностью, и ввиду своего малого внутреннего сопротивления хорошо работающий при данных фотоячейках. Существенным его преимуществом является хорошее демпфирование, что позволяет работать с ним даже при быстрых движениях зеркала. В некоторых случаях предпочтительнее производить установку на излучатель, используя в качестве индикатора телефон. При работе с болометром следует при этом пользоваться исключительно мостиком с переменным током, причем целесообразно в соответствующую ветвь включить перед телефоном усилитель. При применении термоэлемента пробовали для достижения возможности работы на слух вводить механический прерыватель.

3. Иные применения

Дальнейшее применение, при нахождении подходящих источников инфракрасных лучей, тепловые искатели могут найти в навигации на воде и в воздухе. Так, например, можно снабдить подобными инфракрасными бакенами вход в гавань или же летные трассы и проводить отыскивание этих бакенов при погоде с плохой видимостью, в особенности в тумане, при помощи тепловых искателей. Для этой цели особенно подходят коротковолновые инфракрасные лучи, так как в этом случае можно использовать в качестве приемника также и фотоэлемент. Целесообразно для распознавания бакенов модулировать их излучение звуковой частотой.

Первый опыт приложения этой идеи для целей воздушной

навигации был проделан К. Мюллером [34, 39], который усовершенствовал аппараты для автоматического пеленгования. Назначение подобного прибора заключается в постоянном контролировании курса при продвижении в тумане вдоль воздушной линии, освещенной сигналами (инфракрасные бакены) и мгновенном указании отклонений от курса. Для этого используют поворачивающееся вогнутое зеркало с помещенной в его фокусе таллофидным фотоэлементом, чувствительным к инфракрасным лучам, который во время полета как бы ощупывает местность по обе стороны самолета в пределах некоторого угла. Ячейка питается переменным током так, чтобы во время положительного полупериода зеркало скользило вдоль местности, расположенной по правую сторону борта, а во время отрицательного — по левую. Ток от ячейки, после соответствующего усиления подается на прибор постоянного тока. Прибор не будет давать отклонений, если только участки по обе стороны самолета имеют одинаковую яркость. Если же в одном из них находится добавочный источник излучения, например инфракрасный бакен, то инструмент покажет отклонение в определенную сторону, которое и может быть использовано для определения направления полета. При помощи второй системы, имеющей качания в плоскости перпендикулярной, можно наряду с ориентировкой в направлении полета достичь также ориентировки по высоте.

Во всех до сих пор изложенных применениях тепловых лучей, для целей обслуживания сообщения, дело шло о поисках невидимого излучателя и о наблюдении за изменением его положения. Можно также, при соответствующих условиях опыта, при помощи инфракрасных лучей, доказать присутствие неизлучающих тел. Для этого пересекают данное тело пучком лучей, направленным с отправителя на приемник и наблюдают за изменением тока, получаемого от приемной ячейки. Указанные изменения можно использовать для приведения в действие реле, тревожного сигнала и т. п.

Подобным способом возможно также воспользоваться для охраны входа в гавань в темноте и при тумане или для сигнализации с целью охраны помещений.

Заключение

Развитие световой телефонии в последнее время, благодаря введению катодных ламп и улучшению приемных ячеек, привело к аппаратам практически способным в некоторых отношениях конкурировать с электрическими коротковолновыми установками. Благодаря утилизации инфракрасного спектра для передачи известий, преследовалась некогда цель осуществления совершенно невидимой передачи и достижения дальности действия через туман. Преимущества, которые будут обнаруживаться при применении более длинных волн, чем те, которые использованы до сих пор, не могут быть, пока что, еще использованы для целей телефонии, так как пока не имеется безинерционных приемных ячеек, пригодных для этой области волн. Вопрос также упирается пока в невозможность рационального использования в качестве отправителей холодных температурных излучателей, к которым не могут быть рационально применены описанные способы модуляции.

Литература

1. S. H. Anderson, The penetration of light through fog. The Aviation *38*, 930—936, 1930.

2. O. v. Auwers u. Kerschbaum, Über Sperrschichtphotozellen, Ann. d. Phys. *7*, 129/175, 1930.

3. G. G. Barnard, The selenium cell, its properties and application, London 1930.

4. Bell, Proc. Am. Assoc. Adv. Scient. S., 115—136, 1880.

5. F. Braun, Notiz über Thermophonie, Ann. d. Phys, *65*, 358—360, 1898.

6. T. W. Case, Phys. Rev., *15*, 289—292, 1920.

7. W. W. Coblentz, Wien-Harms, Handb. Exp. Phys, *9*, i. T. S. 411.

8. L. H. Dawson, L. P. Granath a. E. O. Hulburt, The attenuation of ultraviolet light by lower atmosphere, Phys. Rev., *34*, 136—139, 1929.

9. P, Debye, Der Lichtdruck auf Kugeln von beliebigem Material Ann. d. Phys., *30*, 57—136, 1909.

10. W. Dudell, The Electrician, *46*, 269 — 273, 310—313, 1900.

11. A. Esau and W. Hahnemann, Report on experiments with

electric waves of about 3 meters: their propagation and use, Proc. I, R. E. *18*, 471—489, 1930.

12. M. Fritz-Schmidt, G. Gehlhoff u. Thomas, Die physitkalischen Eigenschaften der Gläser in Abhängihkeit von der Zusammenset. zung IV. Die Durchlässigkeit der Gläser im ultraviolettensichtbaren und ultraroten Gebiet, Z. tech. Phys., *11*. 289—326, 1930.

13. G. Gehlhoff u. H. Schering, Über ein neues Photometer sehr hoher Empfindlichkeit und einige Anwendungen, Z. tech. Phys., *1*, 247, 1920.

14. W. Graffunder, Über den lichtelektrischen Effekt bei Trockengleichrichtern, Physik Z., *31*, 375. 1930.

15. L. P. Granath u. E. O. Hulburt, The absorption of light by fog, Phys. Rev., *34*, 140, 1929.

16. G. Gresky, Verkehrssicherung und Nachrichtenübermittlung mit Ultrarotstrahlen, Radio-Helios *7*, 69, 1930.

17. G. Gresky, Wärmestranlungsmessungen mit verschiedenen integrierenden Empfängern mit und ohne Hohlspiegeln.

18. A. Gudden, Lichtelektrische Erscheinungen, Berlin 1928.

19. R. Hennig, Die Entwicklung der Telegraphie und Telephonie, Wissen und Können, Leipzig 1908.

20. W. Ilberg, Die Verwendung trägheiteloser Lichtrelais beim Fernsehen, Fernsehen, *1*, 97, 1930.

21. J. Jaumann, Die Frequenzabhängigkeit der Lichtschwingungen des tönenden Lichtbogens, Physik Z., *59*, 386, 1930.

22. B. Lange, Über eine neue Art von Photozellen, Physik. Z. *31*, 139, 1930.

23. B. Lange, Über eine neue Art von Photozellen (2 Mitteilung), Physik. Z. *31*, 964, 1930.

24. F. Lecomte, Le spectre infrarouge, Paris 1928.

25. Q. Majorana, Telefonia ottica mediante radiazioni ultraviolette ad ultrarosse, Linc. Rend., *9*, 924, 1929.

26. Q. Majorana, Attenuazione dessimetrica di energia raggiante in un mezzo assorbente. Atti di Torino, *64*, 359, 1928/29.

27. Q. Majorana, Telefonia ottica mediante radiazione visibili ad invisibili, Rend. di Bologna (NS), *31*, 118, 1926/27.

28. Q. Majorana, Su di un nuovo metoda di telefonia ottica con luce ordinarion i con luce ultraviolette, Linc. Rend, *5*, 726, 1927.

29. Q. Majorana e Todesco, Preparauine delle cellule fotoelettriche al tallio, Linc. Rend., *8*, 9, 1928.

30. Q. Majorana, Dalla radiotelefonia alla telefonia ottice invisibile Cim (NS), *6*, 9, 1929.

31. A. Mangin, Mémoire sur le système de télégraphie optique de la défense der Paris, Etude de divers dispositifs optiques destinés à projeter la lumière électrique sur les objets éloignés, Ostwalds Klassiker, 219, übersetzt von A. Sonnefeld.

32. Michelssen, Infrarotempfindiche Zellen, Z. techn. Phys., *11*, 511, 1932.

33. G. Mie, Beiträge zur Optik trüber Bedien, speziell kolloidaler Metallösungen, Ann., d. Phys., *25*, 377, 1908.

34. C. Müller, Vergl. Tätigkeitsber. d. Phys. Techn. Reichsanst. 1929, Z. Einstr. K., *50*, 356, 1930.

35. M. Pirani, Fortschritte und Entwicklungsmöglichkeiten auf dem Gebiete der Leuchtröhren, E. T. Z., *51*, 889, 1930.

36. F. I, G. Rawlius a. A. M. Taylor, Infrared analysis of molecular structure, Cambridge 1929.

37. Reichinstein, Der galvanische Polarisationseffekt der festen lichtelektrischen Selenzellen, Naturw., *18*, 685, 1930.

38. Chr. Ries, Das Selen, München 1918.

39. Rothaas, Ultrarote Strahlen, V. D. I. Z., *73*, 1859, 1929.

40. L. Rolla e. L. Mazza, Sistemi di telegrafia e di telefonia per mezzo di fasci di radiazione infrarosse, Linc. Rend., *11*, 19, 1930.

41. A. Rudolph, Über die Durchlässigkeit von Nebel für Lichtstrahlen von verschiedener Wellenlänge, Physik. Z., *5*, 36, 1904.

42. E. Ruhmer, Neue Sende- und Empfangsanordnung für drahtlose Telephonie, Physik Z., *2*, 339, 1901.

43. E. Ruhmer, Über das sprechende Licht, Physik Z., *2*, 325, 1901.

44. E. Ruhmer. Der sprechende elektrische Flammenbogen und seine Verwendung zur drahtlosen Telephonie, E. T. Z., *22*, 196, 1901.

45. E. Ruhmer, Über die Empfindlichkeit und Trägheit von Selenzellen, Physik, Z., *3*, 468, 1902.

46. E. Ruhmer, Neuere Versuche mit Lichttelephonie, E. T. Z., *23*; 859, 1902.

47. E. Ruhmer, Das Selen und seine Bedeutung für die Elektrotechnik mit besonderer Berücksichtigung der drahtlosen Telephonie, Berlin 1902 u. E. T. Z., *25*, 1021, 1904.

48. I. Runge u. Sewig, Über den inneren Photoeffekt in kristallinen Halbleitern, Physik Z., *62*, 726, 1930.

49. Cl. Schäfer u. F. Matossi, Das ultrarote Spektrum, Berlin 1930.

50. G. Schmidt, Elektrische Sicherheitsvorrichtungen gegen Einbruch und Feuer, Elektrot. Anz., *47*, 816, 1930.

51. W. Schottky, Über den Entstehungsort der Photoelektronen in Kupfer-Kupferoxydul Photozellen, Z. tech. Phys., *11*, 358, 1930.

52. W. Schottky, Über den Entstehungsort der Photoelektronen in Kupfer-Kupferoxydul Photozellen, Physik Z, *31*, 913. 1930.

53. R. Schröter, Hertzsche und infrarote Strahlen als Nachrichtenmittel, E. N. T., *7*, 1, 1930.

54. F. Schröter. u. G. Lubszynsky, Untersuchung zur Frage der Trägheit gasgefüllter Photozellen, Physik. Z., *31*, 897, 1930.

55. F. Schröter u. W. Ilberg, Vergleich von Selen und Photozellen, Physik Z, *30*, 801, 1930.

56. F. Schröter u. F. Michellsen, Infrared sensitive cells; aus: Photo-electric cells and their applications, London 1930.

57. R. Seeliger, Die Physik der Gasentladungen, Leipzig 1928.

58. R. Sewig, Die lichtelektrischen Eigenschaften der Thalliumzellen, Z. tech. Physik, *11*, 269, 1930.

59. H. Th. Simon, Über den sphrechenden Flammenbogen und seine Verwendung zu einer Telephonie ohne Draht, Physik Z., *2*, 253, 1901.

60. H. Th. Simon u. M. Reich, Flammen und Flammentelephonie, Physik Z., *3*, 278, 1901/02.

61. H. Th. Simon, Mönende Flammen und Flammentelephonie, F. T. Z., *22*, 510, 1901.

62. A. Sonnefeld, Die Hohlspiegel, Berlin 1925/26.

63. U. A. Stratton, The effect of rain and fog on propagation of very short radio waves, Proc. I. R. E. *18*, 1064, 1930.

64. Thirring, Neue Apparate für Lichttelephonie, Physik Z., *21*, 67, 1920.

65. W. Voege, Neue Apparate zur Strahlungmessung, Physik Z., *21*, 288, 1920.

66. W. Westphal, Wärmestrahlung, Handb. d. Astrophysik., *3*, Berlin 1930.

67. E. Wiegand. Widerstandsvergleichung mit Wechselstrom unter Verwendung von Verstärkerröhren, Ann. d. Phys., *4*, 781, 1930.

68. W. Wien, Wärmestrahlung, Wien-Harms, Handb. d. Exp. Phys, Leipzig 1929.

69. C. Zeiss, Improvements in Apparatus Effecting Fluctuations of the Intensity of a Pencil of Light Rays, Engl Patentanm., 317, 318, v. 15, V. 30.

70. K. Zickler, Lichtelektrische Telegraphie, E. T. Z., *19*, 474 u. 487, 1898.

71. K. Zickler, Weitere Versuche uber die lichtelektrische Telegraphie, E. T. Z., *19*, 826, 1898.

72. K. Zickler, Das Problem der Phototelephonie, E. u. M., *46*, 769 u. 793, 1928.