

6  
А45

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР  
ТОМСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В. В. КУЙБЫШЕВА**

На правах рукописи

**ТУРУСБЕКОВ МУКАН**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ  
РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ПАССИВНОЙ РЕТРАНСЛАЦИИ  
УКВ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ**

(01.04.03. — радиофизика, включая квантовую радиофизику)

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук**

Томск — 1973

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РСФСР

Томский ордена Трудового Красного Знамени государственный  
университет имени В.В. Куйбышева

на правах рукописи

Турусбеков Мукан

Исследование закономерностей распространения и пассивной  
ретрансляции УКВ в горной местности

(01.04.03 - радиофизика, включая  
квантовую радиофизику)

Автореферат

диссертации на соискание  
ученой степени доктора  
технических наук

Т о м с к - 1973

6  
АЧ5  
Работа выполнена в лаборатории распространения радиоволн  
в горных условиях института физики и математики АН Киргизской ССР

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор,  
академик АН Киргизской ССР П.А. Рязин  
доктор технических наук, Ю.И. Давыденко  
доктор технических наук, профессор И.И. Кабанов

Ведущее предприятие - Научно-исследовательский институт  
дальней связи г. Москва

Автореферат разослан " 7 " января 1974 г.

Защита диссертации состоится " " февраля 1974 г.  
в 14<sup>30</sup> часов на заседании Совета по присуждению ученых степеней  
по радиофизическим специальностям Томского ордена Трудового Крас-  
ного Знамени государственного университета имени В.В. Куйбышева  
(634010, г. Томск, 10, пр. Ленина, 36, университет, П-ой учебный  
корпус, ауд. 428).

Отзывы на автореферат (в 2-х экземплярах), заверенные под-  
писью и печатью, просим направлять по адресу: 634010, г. Томск,  
пр. Ленина, 36, университет, факультет прикладной математики,  
Горцеву А.М.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке  
университета.

Ученый секретарь Совета  
кандидат физико-математических наук

/А.М. Горцев/



Теоретические и экспериментальные исследования закономерностей распространения и пассивной ретрансляции УКВ над пересеченной местностью имеют важное фактическое значение в области обеспечения населения нашей страны высококачественной и устойчивой связью и телепередачами.

Данная работа посвящена разработке инженерных методов расчета как величины напряженности поля в пересеченной местности, так и величины множителя ослабления поля различных пассивных ретрансляторов.

Здесь обобщаются результаты исследований закономерностей распространения и пассивной ретрансляции УКВ в горных условиях, выполненных автором в Институте физики и математики АН Киргизской ССР за период с 1960 по 1972 гг.

Диссертация состоит из шести глав объемом 241 машинописная страница, 76 рисунков и графиков.

## Глава I

### Обзор литературы

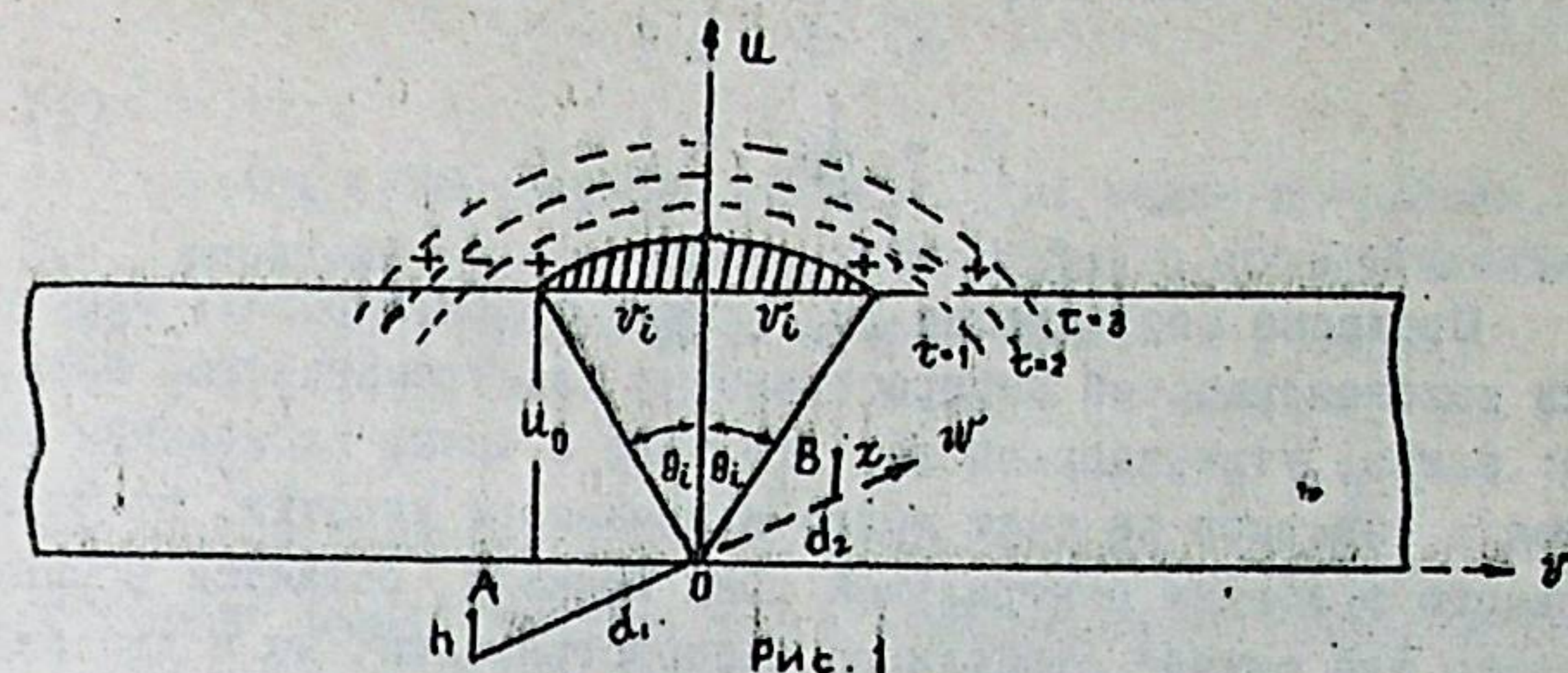
В этой главе критически анализируются экспериментальные и теоретические работы, посвященные изучению закономерностей распространения и пассивной ретрансляции УКВ в пересеченной местности. На основе этого делается вывод о необходимости продолжения исследований закономерностей распространения и пассивной ретрансляции УКВ в горных условиях с целью разработки методов расчета и способов усиления напряженности поля на закрытых и открытых трассах.

Формулировка задач дифракции по методу Френеля-Кирхгофа и по методу существенного сегмента

Известно, что дифракция относится к одному из сложнейших разделов физики. Для выяснения закономерностей дифракции обычно применяется сложный математический аппарат. При этом конечный результат выражается через специальные функции Френеля, либо Ханкеля или Бесселя и т.д., что не позволяет наглядно представить себе механизм дифракции электромагнитных волн. Здесь о механизме дифракции судят обычно только косвенным образом: построением кривых зависимостей множителя ослабления поля от аргументов вышеуказанных специальных функций, зависящих от множества взаимосвязанных факторов. Такое построение кривых в конечном счете приводило к путанице представлений о механизме дифракции электромагнитных волн. В результате этого в настоящее время исследование дифракций на телах более сложной формы встречает целый ряд трудностей.

Изучая закономерность расположения зоны Френеля, выступающей над препятствием, отмечается: что сигналы, рассеянные краями препятствия в точке наблюдения, налагаясь друг на друга, суммируются с учетом фазы, в результате чего в формировании поля в точке наблюдения решающую роль играют волны, рассеянные на небольшом участке, размер которого не превышает величины половины диаметра первой зоны Френеля. Сигналы, рассеянные остальными участками края препятствия, налагаясь друг на друга, взаимно компенсируются и не участвуют в формировании поля в точке наблюдения. Исходя из такой закономерности, делается вывод, о том, что края препятствия при дифракции образуют обособленные небольшие участки, чем превышающие по размеру половины диаметра первой зоны Френеля. Такие участки нами названы существенными

сегментами, а метод решения задачи дифракции, основанный на такой закономерности, назван методом существенного сегмента.



На рис. 1 в безразмерной плоскости  $u$  и  $v$  изображены бесконечные полуплоскости с безразмерной высотой  $u_0$ . Знаком "+" и "-" разделена длина этой полуплоскости на зоны Френеля;  $\tau$  - число зон Френеля, выступающих над полуплоскостью ( $\tau = 1, 2, 3, \dots$ ). Заштрихованный участок представляет существенный сегмент. Полагается, что излучатель и точка наблюдения высотой  $h$  и  $z$  находятся на расстоянии  $d_1$  и  $d_2$  от полуплоскости, на координатной оси  $w$ , которая проходит перпендикулярно через начало координат  $O$ . При таком расположении приемно-передающих антенн и полуплоскости безразмерная высота  $u_0$  определяется из соотношения

$$u_0 = \left[ h - \frac{d_2 h + d_1 z}{d_1 + d_2} \right] \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}} = \sqrt{2n} \quad (1)$$

где  $n$  - число зон Френеля, укладывающихся на высоте полуплоскости  $u_0$ ;  $\lambda$  - длина волны.

Установлена следующая замечательная закономерность существенного сегмента: хорда существенного сегмента в безразмерном масштабе всегда равна  $\sqrt{2}$  и не зависит от высоты полуплоскости.

ти  $u_0$  (или от  $H$ ), исходя из этой закономерности, находим, что половина хорды  $v_i$  существенного сегмента равна

$$v_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

Согласно соотношению (2), можно сформулировать одну из общих закономерностей распространения электромагнитных волн, а именно: закон, утверждающий то, что поле в точке наблюдения формируется в основном за счет волны занимаемого участка, по размеру равного половине центральной зоны Френеля, остается верным не только для случая свободного распространения, но и для случая дифракционного распространения электромагнитных волн. Это означает, что эффективная длина края полуплоскости всегда равна половине диаметра первой зоны Френеля.

Если края препятствия аппроксимируются существенным сегментом, то величина множителя ослабления поля, согласно данного метода, вычисляется из соотношения

$$F = \frac{1}{2i} \int_{-v_i}^{v_i} \int_{u_0}^{\infty} e^{\frac{ix}{2}(u^2+v^2)} du dv \quad (3)$$

т.е. интегрируется по поверхности существенного сегмента. Здесь предел " $\infty$ " — соответствует по оси  $u$  верхней границе существенного сегмента, выше которого предполагается, что эффективное значение поля всюду равно нулю.

### Глава III

Метод существенного сегмента для задач дифракции, решаемых методом Френеля-Кирхгофа, и сопоставление полученных результатов

В данной главе применен метод существенного сегмента для задач дифракции, решаемых методом Френеля-Кирхгофа (дифракция на бесконечной полуплоскости, прямоугольном отверстии, бесконечной ленте и щели).

Определена сначала величина множителя ослабления поля для бесконечной полуплоскости.

Вычисление выражения (3) производилось в полярной системе координат. Выражение (3) для этой системы примет вид

$$F = \frac{1}{i} \int_0^{\theta_i} d\theta \int_{\rho_0}^{\infty} e^{\frac{ix}{2}\rho^2} \rho d\rho \quad (4)$$

где  $\rho$  и  $\theta$  — полярный радиус и угол, соответственно.

Показано, что предельные значения  $\rho_0$  и  $\theta_i$  определяются из соотношения

$$\rho_0 = \sqrt{u_0^2 + v_i^2 - (\sqrt{u_0^2 + v_i^2} - u_0)^2} \quad (5)$$

$$\theta_i = \arctg \frac{v_i}{u_0} \quad (6)$$

Интегрируя (4) и принимая во внимание (2) находим, что величина множителя ослабления поля в теневой области полуплоскости определяется из соотношения

$$F = |F| e^{i\varphi(u)} \quad (7)$$

Здесь

$$|F| = \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2} u_0} = \quad (8)$$

- модуль  $= \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{1}{2\sqrt{n}}$

$$\varphi(u) = \frac{\pi}{2} \left[ u_0^2 + \frac{1}{2} - \left( \sqrt{u_0^2 + \frac{1}{2}} - u_0 \right)^2 \right] = \quad (9)$$

- фаза.

$$= \pi \left[ n + \frac{1}{4} - \left( \sqrt{n + \frac{1}{4}} - \sqrt{n} \right)^2 \right]$$

Из соотношения (8) и (9) следует, что: а) если точка наблюдения находится на линии границы геометрической тени ( $u_0 = 0$ ), то  $|F| = \frac{1}{2}$  и  $\varphi(u_0) = 0$ ; б) если  $u_0 > 1$ , то из (9) получаем

$$\varphi(u_0) = \frac{\pi}{2} \left( u_0^2 + \frac{1}{2} \right) \quad (10)$$

из (10) видно, что при  $u_0 > 1$  в множителе ослабления поля возникает постоянный одвиг фаз, равный  $\frac{\pi}{4}$ ; в) если  $u_0$  велико, что допустимо,  $\operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2} u_0} \approx \frac{1}{\sqrt{2} u_0}$ , то  $|F| = \frac{1}{\sqrt{2} u_0}$ ; г) при  $u_0 \rightarrow \infty$  модуль  $F \rightarrow 0$ .

Таким образом, из всех этих анализов видно, что метод существенного сегмента дает все частные случаи множителя ослабления поля бесконечной полуплоскости, известные из теории дифракции Френеля-Кирхгофа.

Множитель ослабления поля в освещенной области полуплоскости вычисляется на основе закона: сумма множителей ослабления

поля в теневой и освещенной областях бесконечной полуплоскости есть величина постоянная и равная единице. Согласно этому закону, множитель ослабления поля в освещенной области определяется из соотношения

$$F = 1 - \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2} u_0} e^{i\varphi(u)} \quad (11)$$

из которого следует, что в данном случае множитель ослабления поля по мере возрастания величины просвета  $u_0$  осциллирует с затухающей амплитудой и в дальнейшем асимптотически приближается к единице при  $u_0 \rightarrow \infty$ . Такое свойство ослабления в освещенной области полуплоскости известно также из теории Френеля-Кирхгофа.

Далее определена величина множителя ослабления поля на оси бесконечной ленты, щели, а также на прямоугольном отверстии.

1. Каждое ребро бесконечной ленты шириной  $2a$  аппроксимируется существенными сегментами. Поэтому множитель ослабления поля бесконечной ленты определяется из соотношения (8). Но в данном случае он умножается на два и переписывается в виде

$$F = \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2} u_0} e^{i\varphi(u)} \quad (12)$$

где

$$u_0 = a \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}} \quad (13)$$

Из соотношения (12) следует: а) если лента отсутствует ( $u_0 = 0$ ), то множитель  $F = 1$ ; б) при  $u_0 \rightarrow \infty$  множитель  $F \rightarrow 0$ .

2. Каждое ребро бесконечной щели аппроксимируется также одним существенным сегментом. Следовательно, бесконечная щель аппроксимируется двумя существенными сегментами. Рассеянные поля их, налагаясь на падающую волну, суммируются. Поэтому множитель ослабления поля для бесконечной щели определяется из соотношения

$$F = 1 - \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2} v_0} e^{i\varphi(v)} \quad (14)$$

где

$$\varphi(r) = \frac{\pi}{2} \left[ v_0^2 + \frac{1}{2} - \left( \sqrt{v_0^2 + \frac{1}{2}} - v_0 \right)^2 \right] \quad (15)$$

$$v_0 = b \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}}$$

$b$  — половина ширины щели. Из соотношения (14) следует, что:  
 а) если щель отсутствует ( $v_0 = 0$ ), то множитель  $F = 0$ ;  
 б) если ширина щели растет, то поле в точке наблюдения осциллирует с затухающей амплитудой; в) при  $v_0 \rightarrow \infty$  множитель  $F \rightarrow 1$ .

3. Каждое ребро прямоугольного отверстия, простирающееся по оси  $Z$  на  $\pm a$ , по оси  $y$  на  $\pm b$ , аппроксимируется одним существенным сегментом. Следовательно, прямоугольное отверстие аппроксимируется четырьмя существенными сегментами, причем два из них расположены по оси  $Z$  на высоте  $\pm u$ , а два других — по оси  $y$  на высоте  $\pm v_0$ . Выяснено, что рассеянные сигналы двух существенных сегментов, находящихся на одной оси, суммируются как между собой, так и с прямой падающей волной независимо от двух других сегментов, расположенных на другой оси; результирующий множитель ослабления поля равен произведению множителей ослабления поля, вызванных в отдельности существенными сегментами, расположенными соответственно на осях  $x$  и  $y$ . Следовательно, множитель ослабления поля прямоугольного отверстия определяется из соотношения:

$$F = \left[ 1 - \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2} u_0} e^{i\varphi(u)} \right] \left[ 1 - \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2} v_0} e^{i\varphi(v)} \right] \quad (16)$$

Если препятствие представляет собой квадратное отверстие, т.е.  $u_0 = v_0$ , то выражение (16) примет вид

$$F = \left[ 1 - \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2} u_0} e^{i\varphi(u)} \right]^2 \quad (17)$$

Из выражения (17) следует: а) при отсутствии отверстия ( $u_0 = b$ ) множитель  $F = 0$ ; б) при увеличении размера отверстия множитель ослабления поля осциллирует с постоянным уменьшением амплитуд;

в) при  $u_0 \rightarrow \infty$  множитель  $F \rightarrow 1$ .

Таким образом, анализ результатов решения задачи дифракции методом существенного сегмента на вышеуказанных препятствиях показывает вполне удовлетворительное согласование с результатами, полученными по методу Френеля-Кирхгофа.

## Глава IV

### Решение задач дифракции, не решаемых методом Френеля-Кирхгофа

В этой главе решаются такие задачи дифракции (на двух, трех и ряде последовательно расположенных полуплоскостей; на круглом экране, отверстии, зональной пластинке и на полуплоскости, имеющей на вершине зональный выступ), которые необходимы для расчета величины напряженности поля на закрытых трассах, либо при определении величины множителя ослабления поля различных пассивных ретрансляторов.

Данная глава состоит из десяти параграфов. В первом параграфе рассмотрены вопросы, когда на пути распространения УКВ имеются две последовательно расположенные полуплоскости. В этом случае, общий множитель ослабления поля для этих полуплоскостей достаточно просто вычисляется по методу существенного сегмента.

Так, например, если над первой полуплоскостью образуется отрицательный просвет, то общий множитель ослабления поля  $F_2$  равен произведению множителей ослабления поля  $F(u)$  и  $F(v)$ , вызываемых каждым препятствием в отдельности. Здесь  $F(u)$  — множитель ослабления поля на вершине второй полуплоскости,  $F(v)$  — множитель ослабления поля в точке наблюдения, когда первая полуплоскость отсутствует вообще. Тогда общий множитель ослабления поля  $F_2$  определяется из соотношения

$$F_2 = \frac{1}{\pi} \left( 1 - \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2} u_0} e^{i\varphi(u)} \right) \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2} v_0} e^{i\varphi(v)} \quad (18)$$

Здесь

$$u_{01} = \left[ H_1 - \frac{H_2 d_1 + h d_2}{d_1 + d_2} \right] \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}}$$

$$v_0 = \left[ H_2 - \frac{\lambda(d_1 + d_2) + h d_3}{d_1 + d_2 + d_3} \right] \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2 + d_3)}{\lambda(d_1 + d_2) d_3}}$$
(19)

и

$$\varphi(u) = \frac{\pi}{2} \left[ u_{01}^2 + \frac{1}{2} - \left( \sqrt{u_{01}^2 + \frac{1}{2}} - u_{01} \right)^2 \right]$$

$$\varphi(v) = \frac{\pi}{2} \left[ v_0^2 + \frac{1}{2} - \left( \sqrt{v_0^2 + \frac{1}{2}} - v_0 \right)^2 \right]$$
(20)

Если отрицательный просвет имеется над второй полуплоскостью, то схема расчета общего множителя ослабления поля несколько обратная. Здесь  $F(u)$  вычисляется для случая, когда отсутствует вторая полуплоскость, а  $F(v)$  вычисляется в предположении, что излучатель находится как бы на вершине первой полуплоскости. Тогда общий множитель ослабления поля для данного случая определяется по формуле:

$$F = \frac{1}{\pi} \left( 1 - \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2} v_0 + m} e^{i\varphi(v)} \right) \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2} u_0} e^{i\varphi(u)} \quad (21)$$

Здесь

$$v_{01} = \left[ H_2 - \frac{\lambda d_2 + H_1 d_3}{d_2 + d_3} \right] \sqrt{\frac{2(d_2 + d_3)}{\lambda d_2 d_3}}$$
(22)

$$u_0 = \left[ H_1 - \frac{\lambda d_1 + h(d_2 + d_3)}{d_1 + d_2 + d_3} \right] \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2 + d_3)}{\lambda d_1 (d_2 + d_3)}}$$

$$\varphi(u) = \frac{\pi}{2} \left[ u_0^2 + \frac{1}{2} - \left( \sqrt{u_0^2 + \frac{1}{2}} - u_0 \right)^2 \right]$$
(23)

$$\varphi(v) = \frac{\pi}{2} \left[ v_{01}^2 + \frac{1}{2} - \left( \sqrt{v_{01}^2 + \frac{1}{2}} - v_{01} \right)^2 \right]$$

Анализ формул (18) и (21) показывает, что: а) если просвет над первой или над второй полуплоскостью равен нулю, т.е.  $u_0 = 0$  или  $v_0 = 0$ , то член  $F(u)$  в выражении (18) примет вид

$$F(u) = 1 - \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{1}{m} \quad (24)$$

Из выражения (24) видно, что при  $u_0 = 0$  или  $v_0 = 0$  множитель ослабления поля не равен 0,5, как это следует из теории Френеля-Кирхгофа, а зависит от параметра  $m$ , определяемого формулой (20); б) если точка наблюдения находится на линии границы геометрической тени двух полуплоскостей, т.е. если  $u_0 = v_0 = 0$  или  $v_0 = u_0 = 0$ , тогда выражение (18) и (21) перепишется в едином виде

$$F = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{1}{m} \right) \quad (25)$$

из (25) видно, что для границы геометрической тени двух полуплоскостей получена уже известная формула Миллингтона и др.; в) если просвет велик и допустим, что  $\operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2} u_0} \approx 0$  и  $v_0 = 0$  или  $\operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2} v_0} \approx 0$  и  $u_0 = 0$  то  $F_2 = 0,5$ . Отсюда заключаем, что для частного случая, когда две полуплоскости расположены достаточно близко друг к другу, множитель ослабления поля примет значение, равное 0,5.

Если над обоими полуплоскостями происходит последовательная дифракция, то, согласно методу, величина множителя ослабления поля первого препятствия  $F(u)$  вычисляется обычным путем; величина множителя ослабления поля второго препятствия  $F(v)$  вычисляется несколько иным путем. Это связано с тем, что при последовательной дифракции вершина второго препятствия дифрагирует сигналы, рассеянные вершиной первой полуплоскости. Здесь вторая полуплоскость дифрагирует так, как будто источник излучения находится на вершине первой. В этом случае общий множитель ослабления поля  $F_2$  двух полуплоскостей определяется из соотношения

$$F_2 = |F_2| e^{i\varphi} \quad (26)$$



где

$$|F_2| = \frac{1}{\pi^2} \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2} u_0 - m} \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2} v_0} \quad (27)$$

при  $u_0 < v_0$

или

$$|F_2| = \frac{1}{\pi^2} \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2} u_0} \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2} v_0 - m} \quad (28)$$

при  $u_0 > v_0$

$$\varphi = \frac{\pi}{2} \left[ u_0^2 + v_0^2 + 1 - \left( \sqrt{u_0^2 + \frac{1}{2}} - u_0 \right)^2 - \left( \sqrt{v_0^2 + \frac{1}{2}} - v_0 \right)^2 \right] \quad (29)$$

Анализ выражений (27) и (28) показывает, что:

а) если вершина второй полуплоскости находится на линии границы геометрической тени первой, т.е. если  $u_0 = 0$ , а  $v_0 \neq 0$  или, наоборот,  $u_0 \neq 0$ ,  $v_0 = 0$ , то модуль множителя ослабления поля определяется соответственно из соотношения

$$F_2 = \frac{1}{\pi} \left( 1 - \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{1}{m} \right) \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2} v_0} e^{i\varphi(v_0)} \quad (30)$$

или

$$F_2 = \frac{1}{\pi} \left( 1 - \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{1}{m} \right) \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2} u_0} e^{i\varphi(u_0)}$$

б) если  $v_0 = 0$  и  $u_0 = 0$ , тогда из соотношения (27) и (28) получаем одно выражение

$$F_2 = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{1}{m} \right) \quad (31)$$

формулу (31) мы уже встречали раньше (см. 25);

в) если  $v_0 \gg 4$  и  $u_0 \gg 4$  и  $m$  - мало, то арктангенсы в (27) и (28) можно заменить аргументом. Тогда оба соотношения (27) и (28) примут вид

$$|F_2| = \frac{1}{2\pi^2 u_0 v_0} \quad (32)$$

Из последнего выражения следует, при  $u_0 \rightarrow \infty$  или  $v_0 \rightarrow \infty$  модуль  $|F_2| \rightarrow 0$ , что очевидно.

Во втором и третьем параграфах рассмотрена дифракция на трех и на  $N$  - последовательно расположенных полуплоскостях.

В четвертом параграфе произведено сопоставление формул общего множителя ослабления поля для двух и трех последовательно расположенных полуплоскостей. Экспериментальные и теоретические данные представлены в ряде таблиц, из которых видно, что они вполне удовлетворительно согласуются между собой.

В пятом параграфе рассмотрена дифракция на круглом экране. Результаты таких решений очень важны для обоснования нового метода решения ряда дифракционных задач препятствия которых аппроксимируется круглым экраном.

Известно, что задача дифракции на круглом экране решается по методу Френеля-Кирхгофа.

Согласно этому методу, для круглого экрана модуль множителя ослабления поля не зависит от размера радиуса и остается постоянной величиной, равной единице.

Необходимо отметить, что задачу дифракции на круглом экране нельзя решать методом существенного сегмента, так как он не аппроксимируется этим сегментом. Это вытекает из того, что вся рассеивающая длина края экрана представляет существенные участки. Поэтому задача дифракции на круглом экране решается иным путем, а именно, на закономерности постоянства множителя ослабления поля круглого экрана, не зависящего от радиуса. Применение такого метода в дальнейшем будем называть методом круглого экрана.

Экспериментально установлено, что: при равномерном облучении множитель ослабления поля круглого экрана равен единице, а при неравномерном - значение диаграммы направленности антенн, соответствующему углу, под которым виден край экрана из наблюдения.

Согласно этой закономерности, в общем случае, множитель ослабления поля круглого экрана определяется из соотношения

где  $f(\theta_c)$  - диаграмма направленности передающих антенн, а  $\theta_c$  - угол, под которым виден край круглого экрана от точки излучающих антенн. Величина этого угла, согласно геометрическому соображению, определяется из соотношения

$$\theta_c = \arctg \frac{R_c}{d_1} \quad (33a)$$

где  $\tau$  - число зон Френеля, укладывающихся на радиус экрана, равное  $R_c$ ;  $d_1$  - расстояние от излучателя до центра экрана.

Из соотношения (33) видно, что если поверхность круглого экрана равномерно облучается падающей волной, т.е. если  $f(\theta_c) = 1$  то имеем

$$F = e^{i\pi\tau} \quad (33b)$$

т.е. получили формулу Френеля-Кирхгофа.

Отсюда заключаем, что соотношение (33) верно только для частного случая, когда поверхность экрана облучается излучателем равномерно.

Особо следует отметить, что величина рассеянного сигнала оказалась заметным образом зависит от физико-химических свойств материала экрана. Поэтому в дальнейшем даются результаты исследования для случаев, когда круглый экран изготовлен из металлического кровельного листа. При этом установлено, что если уровень диаграммы направленности антенн, облучающей край экрана меньше, чем значение 0,7 (т.е.  $f(\theta_c) < 0,7$ ), то тогда для определения величины множителя ослабления поля применимо соотношение (33). Если же наоборот, т.е.  $f(\theta_c) > 0,7$ , то тогда множитель ослабления поля для круглого экрана вычисляется из соотношения

$$F = f(\theta_c') e^{i\pi\tau} \quad (34)$$

где

$$\theta_c' = 0,85 \arctg \frac{R_c}{d_1} \quad (35)$$

Постоянный коэффициент в (35) возникает из-за влияния физико-химических свойств материала экрана. Для кровельного листа

он оказался равным, примерно, 0,85.

В шестом параграфе решается задачи дифракции на круглом отверстии. Эта задача решается методом Френеля-Кирхгофа, согласно которого множитель ослабления поля в зависимости от радиуса осциллирует с незатухающей амплитудой. Причем, если на радиус отверстия укладывается четное и целое число зон Френеля, то множитель ослабления поля всегда равен нулю, а при нечетном и целом - двум. Тем не менее, в научной литературе признается обратное - множитель ослабления поля круглого отверстия осциллирует с затухающей амплитудой. Подобная затухающая осцилляция исчезает, если на радиус круглого отверстия укладывается большее число, чем  $8 - 10$ , зон Френеля.

Такой вывод, по-видимому, не совсем верен. Это связано с тем, что множитель ослабления поля в данном случае вычисляется с помощью разбиения площади отверстия на ряд прямоугольников и интегрируется по поверхности каждого из них, а затем суммируется. В результате множитель ослабления поля круглого отверстия осциллирует с затухающей амплитудой.

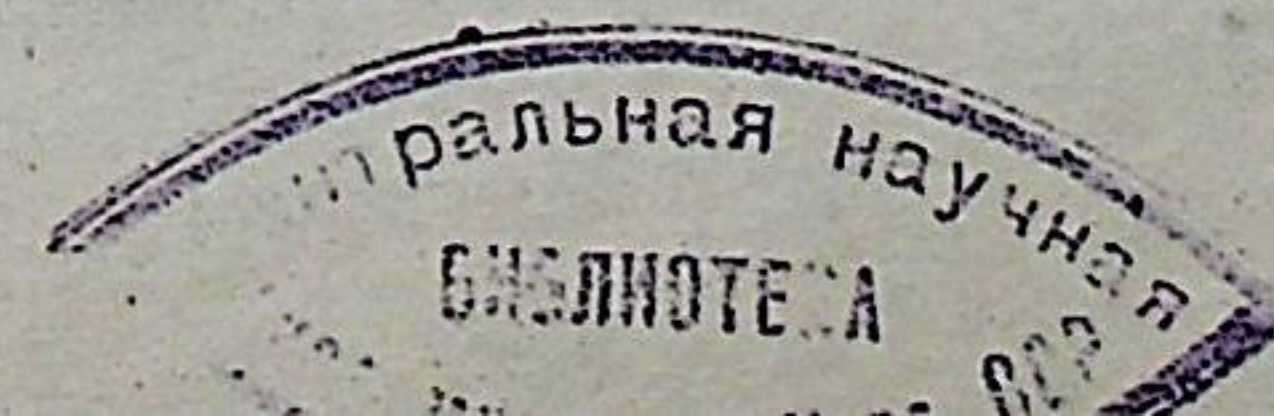
Задача дифракции на круглом отверстии решается методом круглого экрана. Так, как рассеянные сигналы на крае отверстия вполне можно представить как сигналы рассеянные на краях экрана, имеющие одинаковые размеры радиуса. Для определения величины множителя ослабления поля круглого отверстия можно использовать следующие закономерности: сумма множителей ослабления поля круглого экрана и отверстия всегда равна единице, согласно этой закономерности, множитель ослабления поля для круглого отверстия вычисляется из соотношения

$$F = 1 - f(\theta_c) e^{i\pi\tau} \quad (36)$$

или

$$F = 1 - f(\theta_c') e^{i\pi\tau}$$

В седьмом параграфе вычислены величины множителя ослабления поля зональной пластинки, состоящей из  $N$  колец. При этом установлено, что общий множитель ослабления поля складывается из



Суммы множителей ослабления поля, вызванных последовательно расположенными отверстиями-экранами и т.д. Причем, при суммировании перед множителем ослабления поля круглого отверстия ставится знак минус, а для круглого экрана - плюс.

Показано, что если поверхность зональной пластинки облучается равномерно, то общий множитель ослабления поля определяется из соотношения:

$$F = 2N + 1 \quad (37)$$

Из (37) видно, что если  $N=1$ , то  $F=3$ ;  $N=2$ ,  $F=5$ ;  $N=3$ ,  $F=7$  и т.д. Такое усиление получается по напряженности поля, а по мощности эти цифры эквивалентны усилению в 9,25; 49 и т.д. раза. Это большой выигрыш в усилении величины поля в точке приема и простой метод повышения эффективности активной антенны.

Отметим, что формула (37) выведена для случая равномерного облучения поверхности зональной пластинки. На практике обычно используется антенна с острой диаграммой направленности. В таких случаях поверхность зональной пластинки может оказаться облученной неравномерно. Показано, что для такого случая множитель ослабления поля определяется из выражения

$$F = 1 + \left[ \sum_{\tau=1}^{2N_1} f(\theta'_\tau) + \sum_{\tau=2N+1}^{2N_2} f(\theta_\tau) \right] f(\beta_\tau) \quad (38)$$

где  $N_1$  и  $N_2$  - число колец, края которых облучаются участками диаграммы направленности антенн, соответствующих значений  $\theta'_\tau$  и  $\theta_\tau$ ;  $f(\beta_\tau)$  - диаграмма направленности приемной антенны;  $\beta_\tau$  - угол, под которым виден радиус отверстия  $R_\tau$  от точки приемной антенны. Величина этого угла определяется из соотношения

$$\beta_\tau = \arctg \frac{R_\tau}{d_2} \quad (39)$$

$d_2$  - расстояние от центра экрана до точки приемной антенны.

Кроме того, следует подчеркнуть, что на работу зональной пластинки (ЗП), в сильной степени влияют сигналы, отраженные от

поверхности Земли, расположенной на участке излучатель - ЗП и ЗП - точка наблюдения. Учитывать отраженные сигналы от поверхности Земли в реальных высокогорных условиях очень сложно, так как положение точки отражения зависит от множества трудноучитываемых факторов.

Используя результаты таких решений, создан пассивный ретранслятор. Этот ретранслятор назван зональной антенной приставкой (ЗАП), которая представляет собой зонную пластинку, затеняющую четные или нечетные зоны Френеля, образующиеся между корреспондирующими пунктами (см. рис. 2а).

ЗАП, практически состоящая из одной или двух кольцевых лент, затеняющих одинаковофазные зоны Френеля, образующиеся между корреспондирующими пунктами, устанавливается вблизи одной из активных антенн. Расстояние от ЗАП до другой активной антенны велико. Поэтому поверхность ЗАП равномерно облучается полем второй антенны. Следовательно, можно принять, что диаграмма направленности второй антенны в точке установки ЗАП равна единице ( $f(\beta_\tau) = 1$ ). Тогда, согласно выражению (38), величина множителя ослабления поля для ЗАП, затеняющей вторую зону Френеля, определяется из соотношения

$$F = 1 + \sum_{\tau=1}^2 f(\theta'_\tau) \quad (40)$$

а для ЗАП, затеняющей вторую, четвертую зоны Френеля,

$$F = 1 + \sum_{\tau=1}^4 f(\theta'_\tau) \quad (41)$$

Здесь величина  $\theta_{\tau, 2, 3, 4}$  вычисляется согласно соотношению (35), если затеняющая лента изготовлена из металлической сетки.

Из соотношений (40) и (41) видно, что ЗАП усиливает на трассе напряженность поля в  $F$  раз, а по мощности - в  $F^2$  раз. Отсюда видно, что с увеличением числа затененных зон Френеля можно получить большее поле, чем при свободном распространении.

В восьмом параграфе определена оптимальная площадь ОПР (см. рис. 2 б, в). Показано, что величина этой площади вычисляется из соотношения

$$S_{\text{опт}} = \frac{S_{1\varphi}}{\pi \cos \theta} \arccos \left( 1 - \frac{E_{\text{отр}}^2}{2E_{\text{над}}^2} \right) \quad (42)$$

где  $S_{1\varphi} = \pi R_{1\varphi}^2$  — площадь первой зоны Френеля с радиусом  $R_{1\varphi}$ ,  $\theta$  — угол между нормалью к поверхности ОПР и падающей волной,  $E_{\text{над}}$  — напряженность поля, падающего на поверхность ОПР. Величина  $E_{\text{над}}$  определяется либо экспериментально, либо теоретически, а  $E_{\text{отр}}$  — напряженность поля, необходимая для нормальной работы приемного устройства, задается.

ОПР обычно конструируют в виде прямоугольника. В этом случае оптимальная площадь равна  $S_{\text{опт}} = \alpha \beta$ , где  $\alpha$  — вертикальный, а  $\beta$  — горизонтальный размер ОПР. Следует отметить, что форма ОПР влияет только на его диаграмму направленности излучения и не влияет на величину поля в точке наблюдения.

Горизонтальная и вертикальная диаграмма направленности прямоугольной ОПР определяется из соотношения

$$\psi_z = 52^\circ \frac{\lambda}{\alpha \cos \theta}, \quad \psi_\beta = 52^\circ \frac{\lambda}{\beta} \quad (43)$$

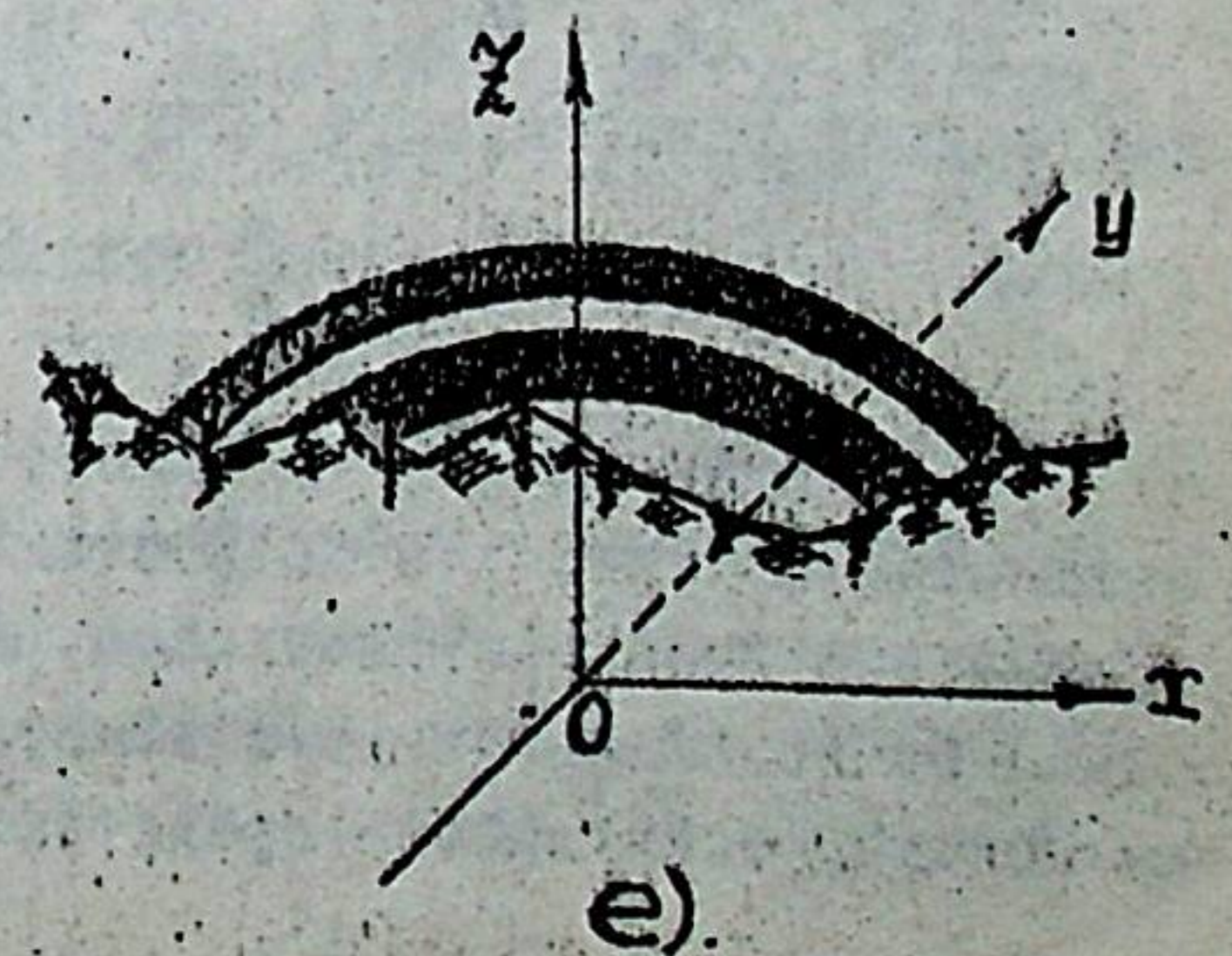
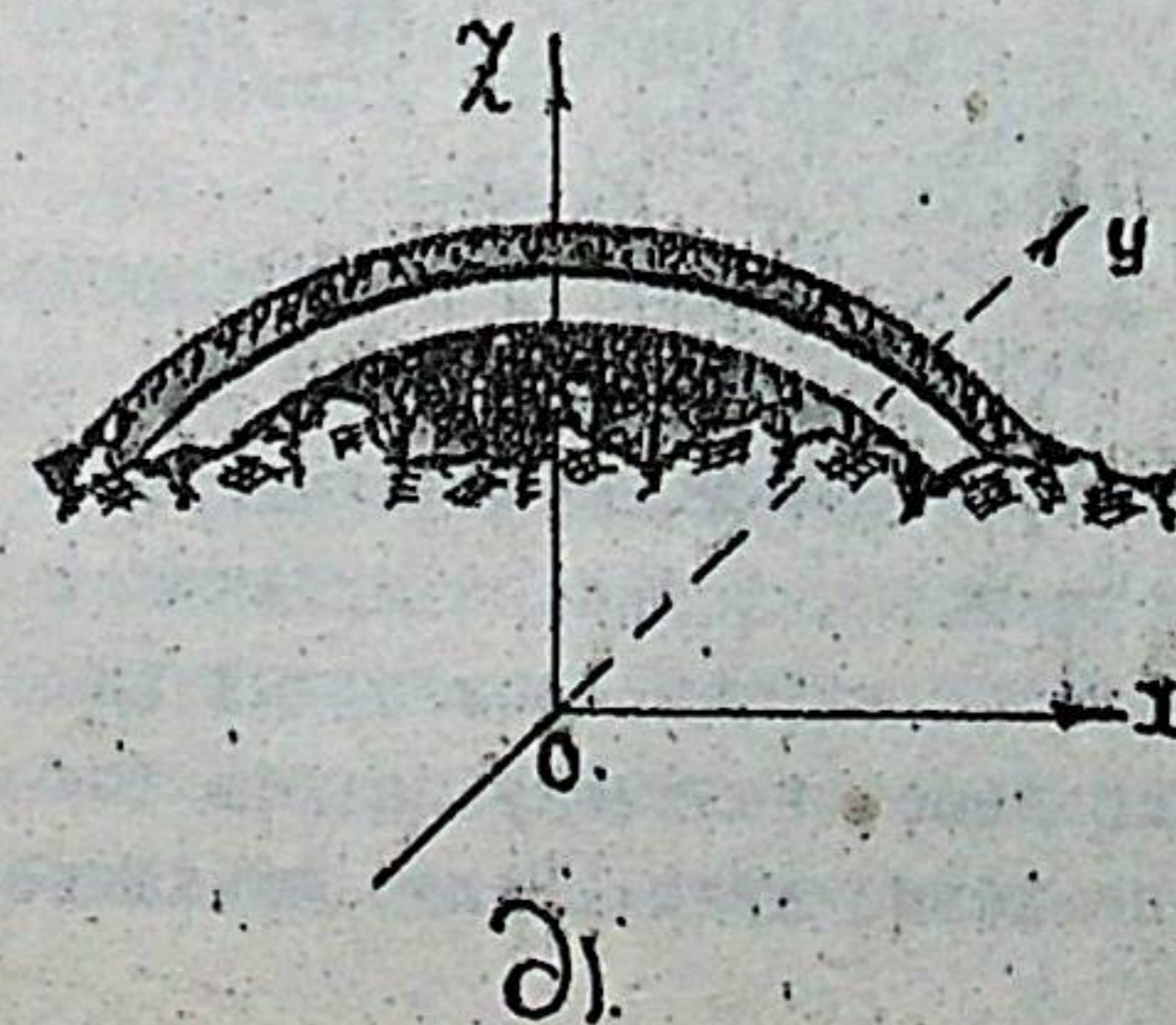
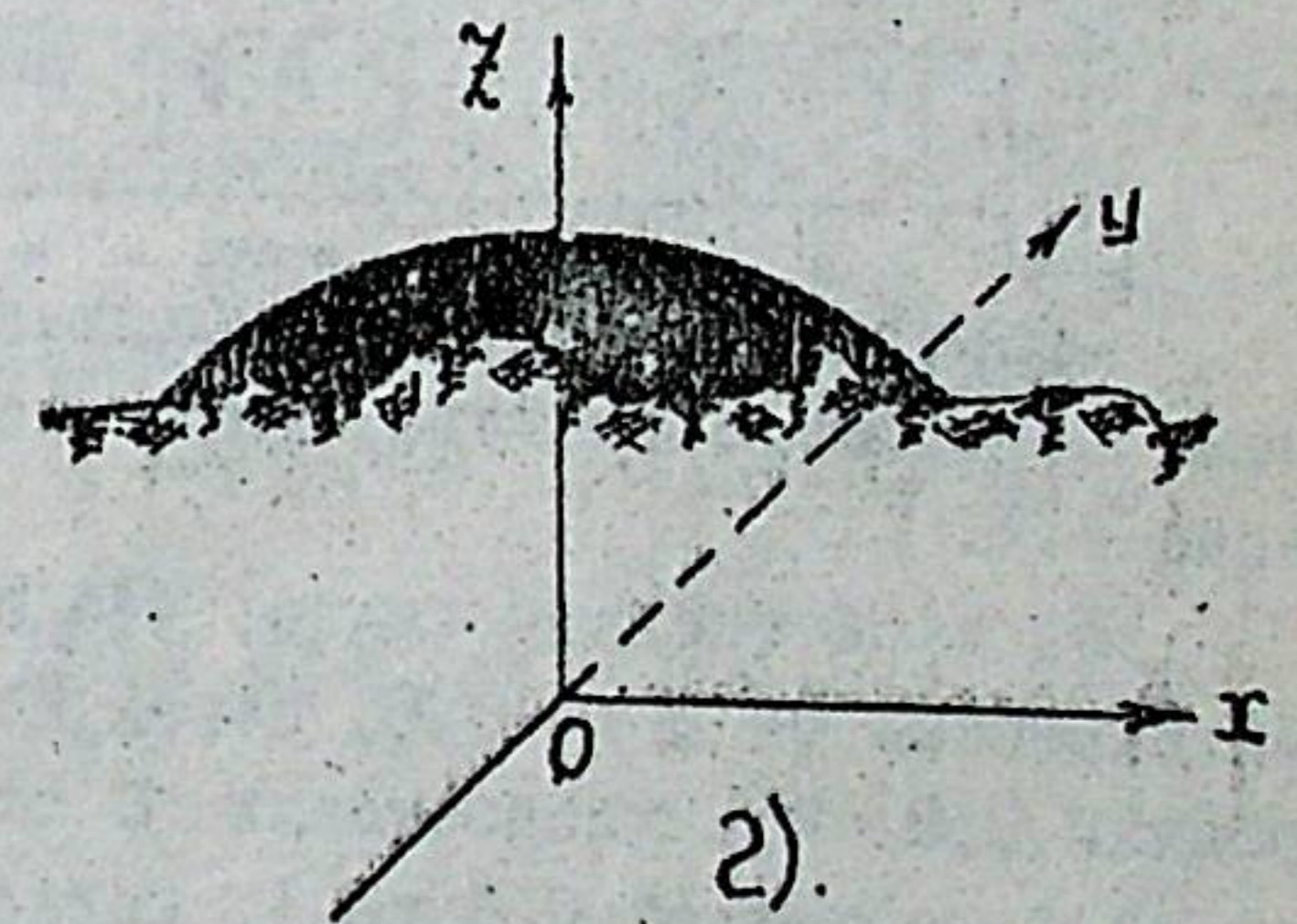
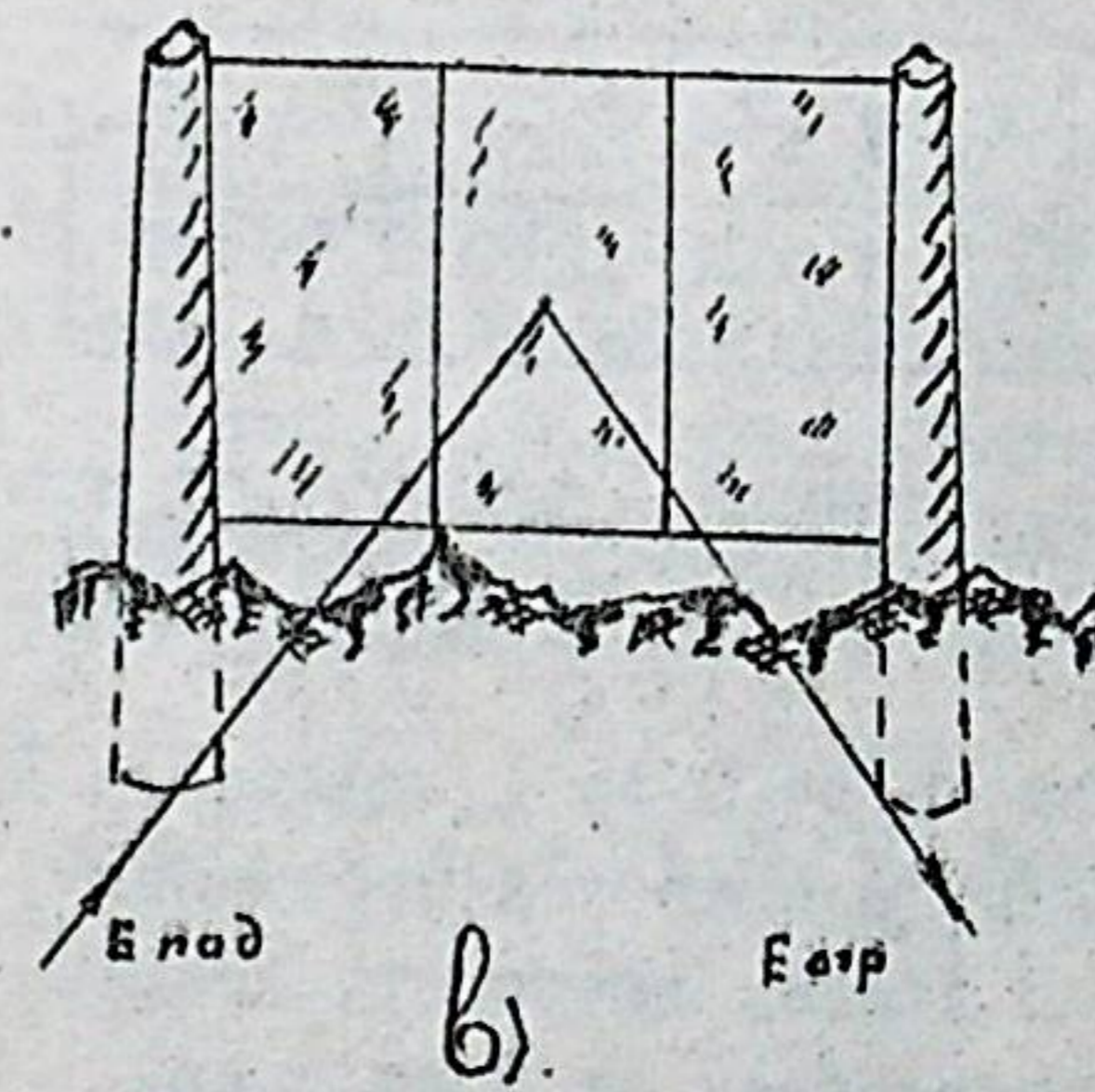
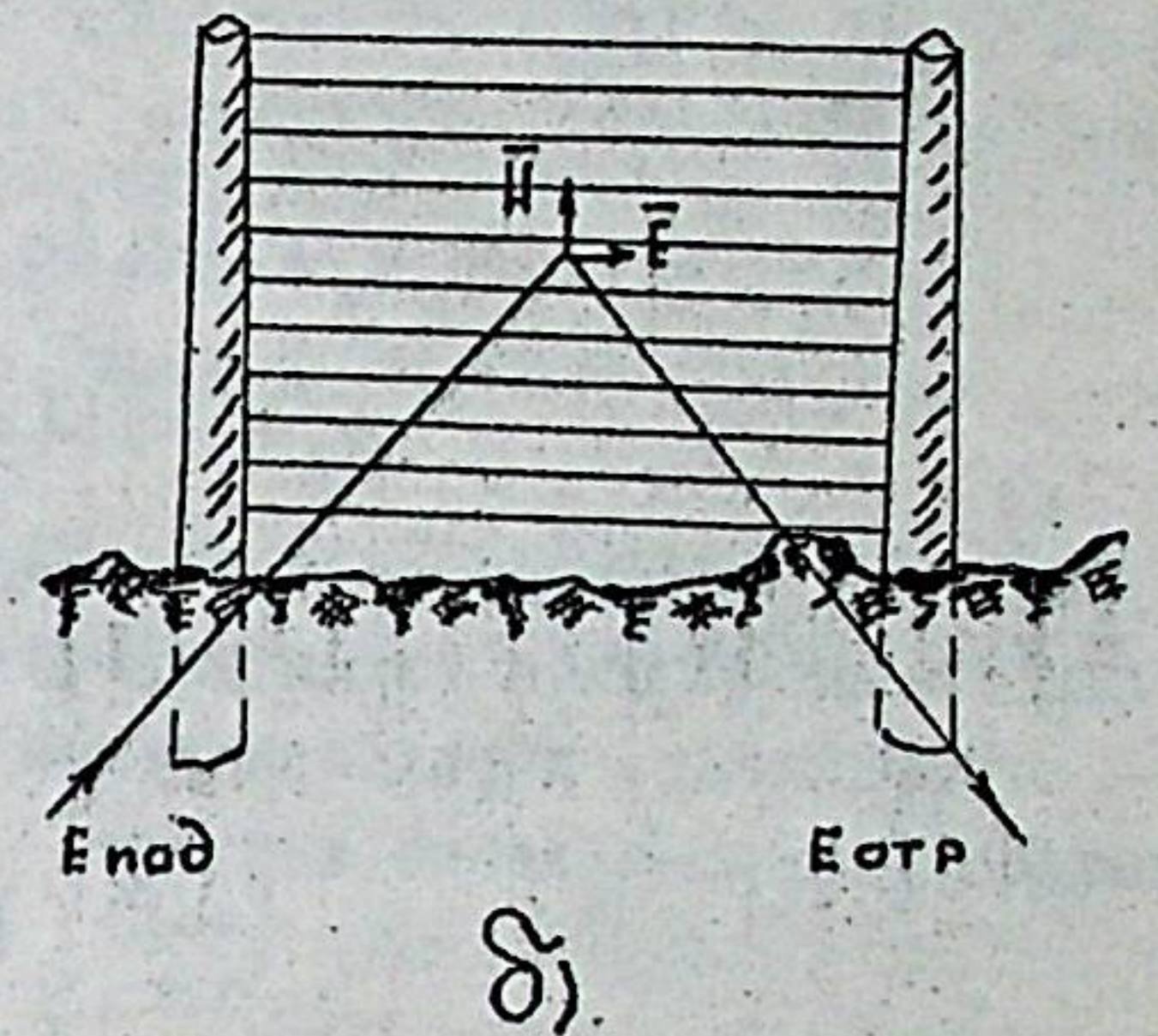
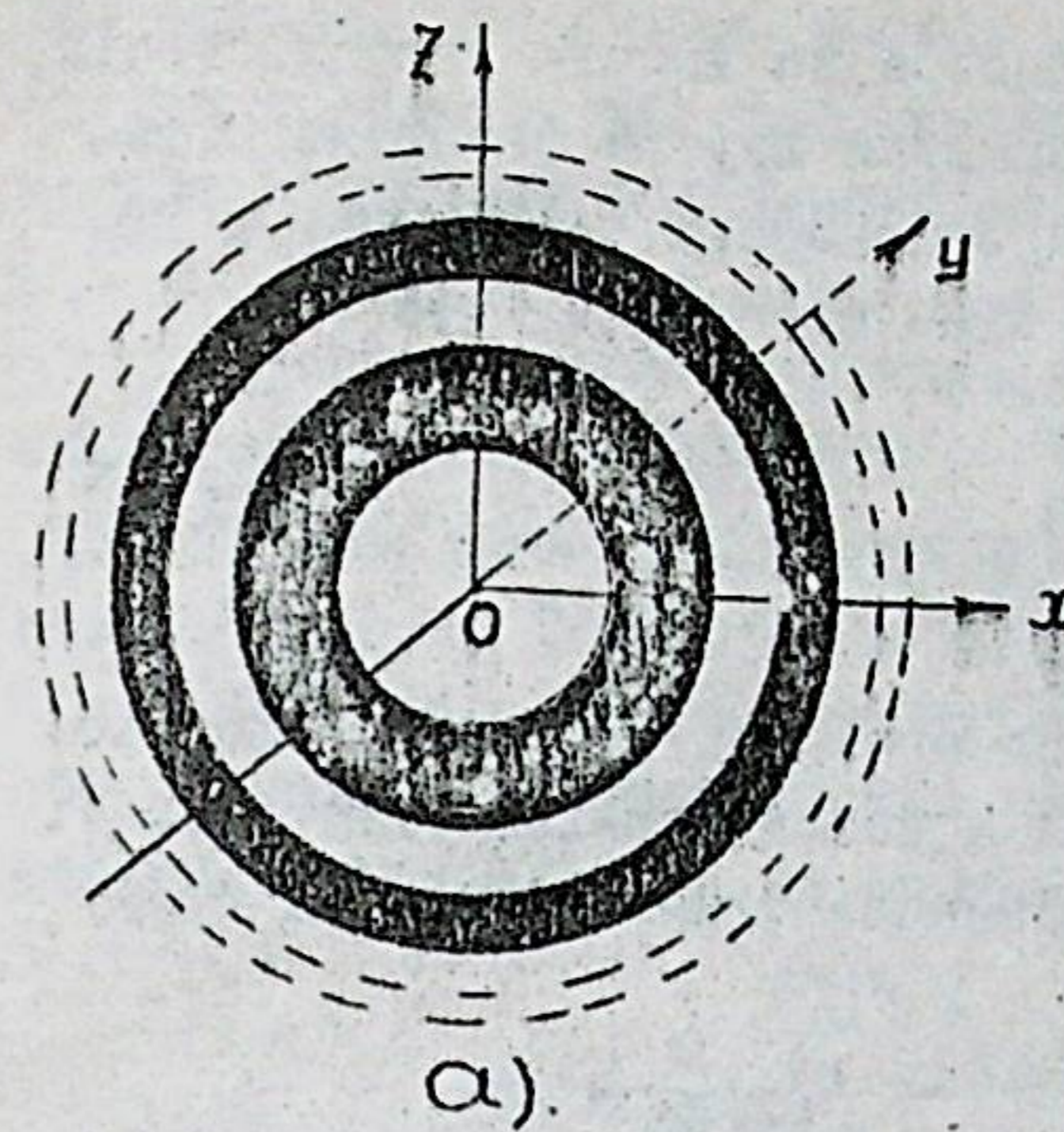
В девятом параграфе определена величина множителя ослабления поля для бесконечной полуплоскости, имеющей на вершине зональный выступ (см. рис. 2г). Такое рассмотрение очень важно: а) для раскрытия механизма влияния зонального выступа; б) для аппроксимации реальной горной вершины поперек трассы полуплоскостью, имеющей на вершине зональный выступ.

Данная задача решалась сначала по методу Френеля-Кирхгофа, где полученный результат оказался достаточно громоздким, непригодным инженерных расчетов. Поэтому задача решалась снова с помощью сочетания методов существенного сегмента и круглого экрана. Согласно этих двух методов, величина множителя ослабления поля бесконечной полуплоскости, имеющей на вершине зональный выступ, в общем случае, определяется из соотношения:

$$F = \frac{A}{\pi} \arctg \sqrt{\frac{4\tau + 1}{4n}} f(\theta_\tau) f(\beta_\tau) e^{i\pi\varphi} \quad (44)$$

где

$$\varphi = \pi \left[ n + \tau + \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{1}{16n^2 + 1} \right) \right] \quad (45)$$



$n$  - число зон Френеля, укладываемых на высоте полуплоскости, а  $\tau$  - число зон Френеля, укладываемых внутри зонального выступа;  $f(\theta_\tau)$  и  $f(\beta_\tau)$  - диаграмма направленности передающей и приемной антенны, соответственно. При этом считается, что

$$\begin{aligned} \theta_\tau &= \arctg \frac{R_\tau}{d_1} \\ \beta_\tau &= \arctg \frac{R_\tau}{d_2} \end{aligned} \quad (46)$$

- углы, под которыми просматриваются правый (или левый) край зонального выступа из точки излучения и наблюдения, соответственно.  $A$  - коэффициент, характеризующий взаимное влияние вершины полуплоскости и зонального выступа.

Таблица №1

$\tau$	0	0,25	0,50	0,75	1	2	3	4	5	6
$A$	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,8	0,8	0,85	0,95	1

Экспериментально установлено, что величина  $A$  зависит от размера зонального выступа. Такая зависимость  $A$  от  $\tau$  показана в таблице №1.

Из этой таблицы видно, что с ростом  $\tau$  от 0 до 1, величина  $A$  уменьшается от 1 до 0,8, затем коэффициент  $A$  остается постоянным, равным 0,8. При возрастании  $\tau$  от 1 до 3. Далее, наоборот, коэффициент  $A$  растет от 0,8 до 1, когда  $\tau$  возрастает от 3 до 6. При  $\tau > 6$  коэффициент  $A = \text{const} = 1$ .

Если  $f(\theta_\tau) \approx f(\beta_\tau) \approx 1$ , то из (44) получаем соотношение верное для случая равномерного облучения поверхности ЗПР

$$F = \frac{A}{\pi} \arctg \sqrt{\frac{4\tau+1}{4n}} e^{i\varphi} \quad (47)$$

Из соотношения (47) видно, что: а) с увеличением размера зонального выступа, т.е. с ростом  $\tau$  растет и величина множителя ослабления поля полуплоскости, имеющей на вершине зональный выступ; б) зональный выступ заметно усиливает величину поля в точке приема, если высота препятствия не равна нулю. Такое усиление

тем больше, чем больше высота полуплоскости; г) если зональный выступ находится на границе геометрической тени ( $n=0$ ), то модуль множителя ослабления поля при этом получается равным 0,5 А.

В десятом параграфе вычислена величина множителя ослабления поля зонального пассивного ретранслятора (ЗПР) в случае, когда затенены одинаковофазные зоны Френеля, выступающие над полуплоскостью (см. рис. 2 д, е),

Показано, что для случая, когда затенено  $N$  - четное число зон Френеля, выступающих над полуплоскостью, множитель ослабления поля определяется из соотношения

$$F = \left[ \frac{A}{\pi} \sum_{\tau=0}^{2N-1} \arctg \sqrt{\frac{4\tau+1}{4n}} f(\theta_\tau) f(\beta_\tau) \right] e^{i\varphi} \quad (48)$$

Здесь  $n$  - число зон Френеля, укладываемых на высоте затеняющего препятствия  $n$ ;  $\tau$  - число зон Френеля, укладываемых вдоль длины соответствующего кольца, выступающей над препятствием.

Для случая, когда затенено  $N$  - нечетное число зон Френеля, выступающих над полуплоскостью, величина множителя ослабления поля вычисляется из соотношения

$$F = \left[ \frac{A}{\pi} \sum_{\tau=1}^{2N-1} \arctg \sqrt{\frac{4\tau+1}{4n}} f(\theta_\tau) f(\beta_\tau) \right] e^{i\varphi} \quad (49)$$

Из соотношений (48) и (49) видно, что множитель ослабления поля растет с увеличением  $N$  - числа затененных зон Френеля, выступающих над препятствием. Причем, если затенено одинаковое число зон Френеля, выступающих над препятствием, то множитель ослабления поля больше ЗПР, затеняющего четное число зон Френеля, чем ЗПР, затеняющего нечетное число зон Френеля.

Следует отметить, что ЗПР практически состоит из затененных одной или двух одинаковофазных зон Френеля, выступающих над препятствием. Он сооружается на вершинах высоких гор, которые расположены достаточно далеко как от первой, так и от второй активных антенн. Поэтому очевидно, что поверхность ЗПР облучается

равномерно обеими активными антеннами, т.е. можно считать, что диаграммы направленности обеих антенн в точке установки ЭПР равны единице ( $f(\theta_t) \approx f(\rho_t) \approx 1$ ). Тогда модуль (49) примет вид

$$|F| = \frac{A}{\pi} \sum_{\tau=0}^3 \arctg \sqrt{\frac{4\tau+1}{4n}} \quad (50)$$

- для случая, когда затенена вторая зона Френеля, выступающая над препятствием и

$$|F| = \frac{A}{\pi} \sum_{\tau=0}^5 \arctg \sqrt{\frac{4\tau+1}{4n}} \quad (51)$$

- для случая, когда затенены вторая и четвертая зоны Френеля, выступающие над препятствием.

## Глава V

### Вопросы распространения УКВ в горных условиях

Особое внимание уделяется влиянию формы препятствия как поперек, так и вдоль трассы, а также влиянию отраженных сигналов на участке излучатель-препятствие, препятствие-наблюдатель на величину поля в приемной точке.

Эта глава состоит из пяти параграфов. В первом параграфе рассмотрено влияние формы неровности вершины горы поперек трассы на распространение УКВ, в частности условие аппроксимации не-

ровности вершины горы поперек трассы ровной горизонтальной границей. Установлено, что неровности препятствия поперек трассы влияют на формирование поля в точке приема: а) незначительно, если размеры неровности вершины намного меньше разности радиусов выступающих смежных зон Френеля; б) существенно, если размеры неровности намного больше разности радиусов выступающих смежных зон Френеля. В первом случае вершину препятствия можно аппроксимировать равной верхней границей с усредненной высотой  $H_0$ , во втором - каким-либо другим геометрическим телом.

Во втором параграфе рассмотрено влияние формы препятствия вдоль трассы на распространение УКВ. При этом основное внимание уделяется возможности аппроксимации горного препятствия вдоль трассы одной, двумя или тремя полуплоскостями. В связи с этим экспериментальным путем определяется критерий аппроксимации реальной одnogребневой вершины препятствия одной бесконечной полуплоскостью. В результате приходим к заключению, что величина множителя ослабления поля в точке наблюдения не зависит от формы препятствия, если вершина препятствия облучается как со стороны приемной, так и со стороны передающей антенн. Такое препятствие аппроксимируется бесконечной полуплоскостью.

В третьем и четвертом параграфах изучается соответственно влияние двух- и трехвершинных препятствий на формирование поля в приемной точке. Если вершины аппроксимируются полуплоскостями, то указывается, как следует применять результаты решения задачи от двух и трех полуплоскостей, приведенные в главе IV.

И, наконец, в пятом параграфе исследовано влияние отражающих областей на величину поля в точке наблюдения. Механизм отражения сигналов от поверхности земли в высокогорных условиях оказался сложным. Здесь фактически происходит не зеркальное отражение, а диффузное рассеяние. В данном параграфе показано, что влиянием отраженных от земли сигналов в первом приближении можно пренебречь. Для оценки величины поля в приемной точке достаточно вычисления дифракционной составляющей.

Экспериментальное исследование работы пассивных ретрансляторов и сопоставление полученных результатов с расчетными

В этой главе приводятся экспериментальные результаты исследования возможностей использования естественных и искусственных пассивных ретрансляторов в высокогорных условиях. К естественным ретрансляторам относятся препятствия, на которых происходит дифракция электромагнитных волн, и склоны соседних гор, рассеивающих падающую энергию, к искусственным — пассивные ретрансляторы, состоящие из металлических конструкций.

Действительно, естественным ретранслятором может служить сама гора. Такая ретрансляция имеет место в том случае, если на пути распространения радиоволн имеется одиночное клиновидное по форме горное препятствие, вершина которого облучается как приемной, так и передающей антеннами. Такой естественный ретранслятор дает больший выигрыш по сравнению с гладкой сферической поверхностью земли, если он расположен достаточно далеко как от приемной, так и от передающей станции.

Естественным ретранслятором могут служить также склоны высоких гор, рассеивающие падающие на него электромагнитные волны. В связи с этим изучались и выяснялись возможности практического применения рассеянной энергии от склонов гор при организации радиосвязи и телепередач для горных районов. При этом установлено, что: а) пространственное распределение рассеянных сигналов случайно

изменяется с изменением положения точки приема; б) сигналы, рассеянные от склонов гор вполне применимы для целей радиосвязи, так как качество звукового сопровождения вполне удовлетворительно; в) сигналы, рассеянные от склонов гор на экране телевизора создают многоконтурное изображение. Однако при тщательном поиске в отдельных местах удается получить устойчивое одноконтурное изображение.

В этой главе даются экспериментальные результаты исследования искусственного пассивного ретранслятора типа зонального пассивного ретранслятора (ЗПР), зональной антенной приставки (ЗАП) и пассивного телеретранслятора (ПТР), расчет величины множителя ослабления поля которых произведен в главе IV.

В Киргизии широко развита сеть радиорелейных линий связи, осуществляемая с помощью активных ретрансляторов, устанавливаемых на вершинах высоких гор и обеспечивающих большую дальность действия /100-150 км/.

Недостатком таких высокогорных активных станций является сложность их обслуживания. Вместо них можно использовать ЗПР, не требующий обслуживающего персонала и энергетических ресурсов. Такое сооружение позволяет, во-первых, значительно усилить величину дифракционного поля в приемной точке; во-вторых, повысить устойчивость принимаемого сигнала.

Испытание ЗПР на больших трассах производилось весной 1965г. сотрудниками лаборатории распространения радиоволн в горных условиях Института физики и математики АН Киргизской ССР. Был сооружен ЗПР на трассе "село Ленинское — село Интергельпо" протяженностью 39,8 км. Село Ленинское находится северо-восточнее, а село Интергельпо — юго-западнее г. Фрунзе. Передающая точка находилась в с. Ленинское на высоте 645,6 м над ур. м., приемная точка — в с. Интергельпо на высоте 1474,7 м над ур. м. Расположенная между ними гора на расстоянии 27,2 км от передающего и 12,6 км от приемного пункта, высотой 1393,2 м над ур. м., давала превышение над линией визирования 192 м. Передатчиком служила радиолокационная станция ( $\lambda = 3,2 \text{ см}$ ); приемником — измеритель 28-ИМ с детекторной головкой радиолокационной станции. При этом использовался трехэтажный ЗПР с нечетным числом затененных зон Френеля. Измерения поля проводились в с. Интергельпо в двух точках: одна на трассе ретранслятора, а другая — несколько в стороне от линии ретранслятора. При этом выяснено, что поле от пассивного ретранслятора, по сравнению с полем прямой дифракции, совершенно устойчиво и почти не зависит от изменения метеоусловий.

Следующим типом пассивного ретранслятора, предложенным в первые, является зональная антенная приставка /ЗАП/, пред-

ставляющая собой зонные пластинки, устанавливаемые перед активной антенной РРЛ на расстоянии  $\alpha, \gg \frac{2D^2}{\lambda}$ , которая позволяет усилить напряженность поля на трассе. Здесь  $D$  - апертура активной антенны;  $\lambda$  - длина волны.

Предложенная ЗАП установлена и испытана на РРЛ Чолпон-Ата - Оргочор, на северном побережье оз. Иссык-Куль. Станция Оргочор находится на вершине горы Оргочор, расположенной на южном берегу Иссык-Куля. Расстояние между этими станциями составляет 80 км. Эта трасса открытая /морская/, проходит над оз. Иссык-Куль/, станция Чолпон-Ата, Оргочор и оз. Иссык-Куль имеют соответственно высоты 1620, 2030 и 1600 м над ур. м. Антенны обеих станций подняты на мачтах, высоты которых равны 6 м. ЗАП, состоящая из одной затененной зоны Френеля /второй/, была сооружена и испытана для антенны  $D = 3$  м.

Учитывая профиль трассы, было решено установить ЗАП на расстоянии 100 м от активной станции.

Разработанная ЗАП представляет собой затененную область между двумя окружностями, соответствующую  $n=1$  и  $n=2$ . Диаметр внутренней окружности составляет 8100 мм, а внешней - 11460 мм. Ширина затеняющей сетки соответственно равна 1680 мм. ЗАП разделена на 6 равных частей, края которых изготовлялись из уголкового железа. Пространство между уголками покрывалось металлической сеткой. Сборка секций осуществлялась болтами.

ЗАП была сооружена на радиорелейной станции Чолпон-Ата 30 марта 1970 года. Испытания показали, что ЗАП увеличивает напряженность поля в приемной точке в два раза, т.е. на 6 дБ. Семидневная круглосуточная запись сигнала станции Оргочор свидетельствует о том, что в среднем за сутки за этот период связь отсутствовала на стойке без ЗАП 1 час 55 минут, а на стойке с ЗАП - 33 минуты. Как видно, ЗАП не только усиливает величину поля в приемной точке, но и значительно увеличивает надежность связи.

Работа ПТР сначала изучалась в полигонных условиях, а затем летом 1969 г. проводились испытания на реальной трассе "Восточный - Тура-Су". Активный телеретранслятор "Восточный", работающий по пятому телевизионному каналу /  $\lambda = 3,22$  м /, расположен

в 20 км севернее г. Рыбачье, на вершине горы Кунгей Ала-Тоо, высота которой составляет 3600 м над ур. м. Село Тура Су находится у подножья горы Тегерек, вдоль р. Кашка-Су, Оно затенено от Восточного несколькими горными вершинами. В связи с этим прямая дифрагированная волна получается намного ниже порога чувствительности современных телеприемников. Данное село было выбрано потому, что оно имеет небольшие размеры: 1,5 км в длину и 300 м в ширину, так что с помощью одного ПТР можно было обеспечить телевидением все село. В данном случае ПТР находится на склоне горы Донуз-Таш. Эта гора расположена южнее с. Тура-Су на расстоянии 2,5 км и имеет высоту 2500 м над ур. м. Крутизна склона горы равна  $45^\circ$ . Просвет на линии трассы "Восточный - ПТР" составляет около 200 м.

Для нормальной работы телеприемников в с. Тура-Су необходима напряженность поля порядка 200 мкВ/м, для обеспечения такой величины сигнала, согласно выражению (46), оптимальный размер отражающей поверхности  $S_{opt}$  оказался равным  $S_{opt} = 500 \text{ м}^2$ .

ПТР установлен под углом  $19^\circ 37'$  относительно активного телеретранслятора "Восточный" и наклонен под углом  $5^\circ 57'$  относительно с. Тура-Су. Высота и длина ПТР соответственно  $h = 11,5$  м и  $l = 50$  м. Диаграмма направленности в вертикальной плоскости равна  $\varphi_0 = 16^\circ$ , а в горизонтальной -  $\varphi_1 = 4^\circ$ . Конструктивно он состоит из двух деревянных столбов сечением  $20 \times 25 \text{ см}^2$ , с рабочей высотой 11,5 м. Расстояние между столбами - 50 м. Они закопаны в землю на глубину 1 м и закреплены в середине и вверху тремя оттяжками соответственно. Равномерно по всей высоте натянуто 32 параллельных провода воздушной электросети. Расстояние между проводами  $\Delta h = 35$  см, что удовлетворяет условию  $\Delta h \approx \frac{\lambda}{8+16}$  /  $\lambda = 3,22$  м / . Данный ПТР весьма прост по конструкции, вибрация и искривления его поверхности под влиянием ветрового давления или других причин не сказывается на эффективности его работы, не требуется сложной жесткой установки ПТР на склонах гор и при этом повышается устойчивость принимаемого сигнала. Важной отличительной чертой этого ПТР является возможность ретрансляции нескольких телевизионных каналов, для которых длина падающей волны согласуется с условием  $\lambda > (N+10)\Delta h$ .



## Общие выводы и заключение

1. Для решения дифракционных задач предложено два метода: метод существенного сегмента и метод круглого экрана, по которой края препятствий аппроксимируются либо существенным сегментом, либо круглым экраном.

2. Первым методом решаются такие задачи дифракции, в которых края препятствий аппроксимируются существенным сегментом (или сегментами). Так, например, существенным сегментом можно аппроксимировать бесконечную полуплоскость, а существенными сегментами — бесконечную ленту, щель и прямоугольное отверстие. С помощью такого метода решена также задача дифракции на двух, трех и ряде последовательно расположенных полуплоскостей, которая не решается методом Френеля-Кирхгофа. Результаты таких решений необходимы для расчета величины напряженности поля в пересеченной местности.

3. Вторым методом решаются такие задачи дифракции, на препятствиях, края которых аппроксимируются круглым экраном. Этот метод основан на закономерности: при равномерном облучении поверхности такого экрана множитель ослабления поля всегда постоянен и равен единице; при не равномерном облучении он равен значению диаграммы направленности антенны, соответствующему углу, под которым виден край экрана из точки наблюдения.

4. Согласно результатам, полученным с помощью метода круглого экрана, произведен расчет величины множителя ослабления поля для ряда пассивных ретрансляторов, а именно:

а) для зонального пассивного ретранслятора (ЗПР), представляющего собой металлическое сооружение, устанавливаемого на вершине горы и затеняющего однофазные зоны Френеля, выступающие над ней. ЗПР можно представить как зонную пластинку, большая часть которой затенена препятствием. Края выступающей части зонной пластинки рассеивают падающие на нее волны и тем самым в значительной степени повышает уровень сигнала в точке наблюдения;

б) для зональной антенной приставки (ЗАП), которая представляет собой зонную пластинку, сооруженную вблизи от активной антенны одного из корреспондирующих пунктов. Применение такой ЗАП на РРЛ

очень выгодно, во-первых, потому что она значительно усиливает величину поля на трассе, во-вторых, может уменьшить размеры активной антенны, не уменьшая при этом величины напряженности поля на трассе, в-третьих, позволяет значительно увеличить протяженность РРЛ.

в) для пассивного телеретранслятора (ПТР) определена оптимальная отражающая площадь, необходимая для нормальной работы приемной станции. Данный ПТР вполне удовлетворительно работает в метровом диапазоне УКВ и свободен от недостатков, свойственных зеркальным отражателям сантиметрового диапазона. В данной работе впервые предложен ПТР, состоящий из ряда параллельно натянутых проводов. Это сильно уменьшает вибрации его поверхности, вызываемые изменениям ветрового давления, с одной стороны, а с другой стороны — не требует создания зеркальной поверхности. В связи с этим принимаемый телесигнал от ПТР достаточно устойчив как по изображению, так и по звуковому сопровождению. ПТР обеспечивает прием нескольких телеканалов, которые удовлетворяют условию  $\lambda > (8-10)4h$  где  $4h$  — расстояние между проводами  $\lambda$  — длина волны, тогда как существующие ныне маломощные автоматические телеретрансляторы (АТР), устанавливаемые на вершинах или склонах высоких гор, обеспечивают только один телевизионный канал.

5. Испытание ЗПР проводилось на опытной трассе "с. Ленинское — с. Интергельпо", ЗАП — на радиорелейной линии связи "Чолпон-Ата — Оргокор", а ПТР — на телевизионных трассах "Восточная — Тура-Су" и "Фрунзе — Татыр". Такие испытания показали, что в принципе, в отдельных случаях можно не строить высокогорные активные ретрансляторы, а проще и экономически выгоднее организовать радиорелейные линии связи и телевидения в высокогорных районах с помощью пассивных ретрансляторов. Точно также можно не строить во многих случаях АТР на вершинах или склонах гор, заменяя их пассивными телеретрансляторами.

6. Рассмотренные выше ЗПР, ЗАП, ОПР и ПТР не требуют специальных помещений, обслуживающего персонала, подведения электроэнергии по труднодоступным местам, что необходимо для АТР и для высокогорной активной станции. Внедрение этих пассивных

ретрансляторов на РРЛ-телевизионных трассах, как показывают расчеты, дает следующий экономический эффект: замена одного активно-горного ретранслятора на ОПР или ЭПР экономит средства в сумме 120 тыс. рублей по капиталовложению и 14 тыс. рублей по эксплуатационным расходам на год. Замена одного АТР на ПТР дает 40 тыс. рублей экономии по капиталовложению и 1200 рублей по эксплуатационным расходам на год. Применение одного ЗАП на РРЛ приносит экономии в сумме 13 тыс. рублей по капиталовложению. Таким образом общая сумма экономии в результате внедрения одного ЭПР, ЗАП, ОПР и ПТР составляет порядка 300 тыс. рублей по капиталовложению и 15 тыс. рублей по эксплуатационным расходам на год.

Отсюда видно, что внедрение пассивных ретрансляторов в горных районах Средней Азии, Казахстана, а также в республиках Закавказья принесет народному хозяйству колоссальную экономическую выгоду.

Основное содержание диссертации опубликовано в статьях:

1. Турусбеков М.Т., Ижимов Д.А. Некоторые результаты измерения напряженности поля УКВ на закрытых трассах, Изв. АН Киргизской ССР, серия естеств. и техн. наук, т.Ш, вып. I, 1961.
2. Турусбеков М.Т., Ижимов Д.А. Влияние вертикальной диаграммы направленности антенны на величину напряженности поля радиоволн на закрытых трассах, Изв. АН Киргизской ССР, серия техн. и естеств. наук, т.Ш, вып. I, 1961.
3. Турусбеков М.Т., Орозобаков Т., Мамаев О. К вопросу расчета напряженности поля за препятствием, Изв. АН Киргизской ССР, серия естественных и техн. наук, т. VI, вып. 4, 1964.
4. Турусбеков М.Т., Орозобаков Т. Исследование распротранения УКВ за рядом препятствий. "Радиотехника и электроника", т. X, № I, 1965.
5. Турусбеков М.Т., Орозобаков Т., Морозов С.С. Сравнительные оценки различных методов расчета напряженности УКВ за горными препятствиями, "Радиотехника и электроника", т. XII, № 6, 1968.
6. Турусбеков М.Т. Дифракция при аппроксимации вершины горны поперек трассы экраном правильной геометрической формы. Сб.: Распространение УКВ в горной местности, Фрунзе, изд-во "Илим", 1971.
7. Турусбеков М.Т. Исследование возможностей усиления поля УКВ за горными препятствиями. Сб.: Распространение УКВ в горной местности. Фрунзе, изд-во "Илим", 1971.
8. Морозов С.С., Мамаев О., Турусбеков М.Т., Байбосунов М., Орозобаков Т. Изучение кольцевых пассивных ретрансляторов, Сб.: Распространение УКВ в горной местности. Фрунзе, изд-во "Илим", 1971.
9. Байбосунов М., Мамаев О., Орозобаков Т., Турусбеков М.Т. Усиление напряженности поля при наличии на пути распространения УКВ двух горных препятствий. Сб.: Распространение УКВ в горной местности. Фрунзе, изд-во "Илим", 1971.

10. Мамаев О., Орозобаков Т., Турусбеков М.Т. Некоторые особенности распространения УКВ в высокогорных условиях. Сб.: Распространение УКВ в горной местности. Фрунзе, изд-во "Илим", 1971.
11. Турусбеков М.Т., Байбосунов М., Мамаев О., Орозобаков Т. Сооружение и испытание зональной антенной приставки на РРЛ Чолпон-Ата - Оргокор "Электросвязь", № 5, 1972.
12. Орозобаков Т., Мамаев О., Байбосунов М., Турусбеков М.Т. О ретрансляции телевизионных сигналов в горных условиях. "Электросвязь", № 7, 1972.
13. Орозобаков Т., Мамаев О., Байбосунов М., Турусбеков М.Т. Некоторые возможности усиления напряженности поля в приемной точке. Сб.: X Всесоюзная конференция по распространению радиоволн, М., "Наука", 1972.
14. Турусбеков М.Т. Метод существенного сегмента для задач дифракции, решаемых методом Френеля-Кирхгофа. № 6923-73, деп. от 4 сентября 1973.
15. Турусбеков М.Т. Решение задач дифракции на последовательно расположенных полуплоскостях методом существенного сегмента. № 6924-73, деп. от 4 сентября 1973.
16. Турусбеков М.Т. Решение методом существенного сегмента задач дифракции, не решаемых методом Френеля-Кирхгофа. № 6922-73, деп. от 4 сентября 1973.

I

Результаты работы доложены:

1. На первой Всесоюзной конференции по распространению УКВ в горных условиях, г. Фрунзе, 1962.
2. На V Всесоюзной конференции по распространению радиоволн в г. Москве, 1963.
3. На второй Всесоюзной конференции по распространению УКВ в горных условиях в г. Улан-Уде, 1964.

ПОДПИСАНО В ПЕЧАТЬ 25/XII 1973 Г. ФОРМАТ БУМАГИ  
60×90<sup>1/16</sup>. ОБЪЕМ 2,25 п. л. ЗАКАЗ 1/4 ТИРАЖ 170 экз.  
Д-02083.

Г. ФРУНЗЕ, ТИП АН КИРГИЗ. ССР  
УЛ. ПУШКИНА, 144