

**УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

Факультет радиотехники, радиосвязи и телерадиовещания

**Кафедра Антенно-
фидерных устройств**

**«РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН И АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ
УСТРОЙСТВА». ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ**

для направлений образования:

5522100 – «Телевидение, радиосвязь и радиовещание»,
5522000 – «Радиотехника», 5524408 - «Мобильные системы связи»

Ташкент - 2008

ПРЕДИСЛОВИЕ

Сборник содержит комплект задач по основным темам дисциплин «Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства», «Электромагнитные поля и волны» и «Распространение радиоволн и антенны мобильных систем связи» и предназначен для использования в процессе самостоятельной работы студентов и на аудиторных групповых занятиях. Каждая тема сопровождается целевой установкой занятия, краткими методическими указаниями, контрольными вопросами и текстом самой итоговой задачи.

Методические указания по изучению каждой темы содержат краткие теоретические сведения и рекомендации по самостоятельной проработке соответствующих параграфов доступных учебников.

Контрольные вопросы к заданию помогают ориентироваться в учебной литературе при подготовке к решению задач и их защите.

Содержание задач охватывает базовые вопросы тем, усвоение которых необходимо для дальнейшего успешного обучения по курсам кафедры и родственным дисциплинам. По результатам расчетов каждого занятия студенту необходимо провести их анализ и сформулировать выводы.

В данной работе имеются графические и другие материалы, собранные из различных литературных источников и приведенные к удобному виду для их использования в учебном процессе.

Данные вариантов

Вариант	I/λ_1	I/λ_2	I/λ_3	Вариант	I/λ_1	I/λ_2	I/λ_3
1	0,015	0,25	0,52	14	0,060	0,38	0,78
2	0,020	0,26	0,54	15	0,062	0,39	0,80
3	0,022	0,27	0,56	16	0,065	0,40	0,82
4	0,025	0,28	0,58	17	0,070	0,41	0,84
5	0,030	0,29	0,60	18	0,072	0,42	0,86
6	0,032	0,30	0,62	19	0,075	0,43	0,88
7	0,035	0,31	0,64	20	0,080	0,44	0,90
8	0,040	0,32	0,66	21	0,082	0,45	0,92
9	0,042	0,33	0,68	22	0,085	0,46	0,94
10	0,045	0,34	0,70	23	0,090	0,47	0,96
11	0,050	0,35	0,72	24	0,092	0,48	0,98
12	0,052	0,36	0,74	25	0,095	0,49	1,00
13	0,055	0,37	0,76	26	0,100	0,50	1,20

Таблица 1.2

Результаты расчета характеристики направленности

φ°	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$f(\varphi)$										
$F(\varphi)$										

ЗАДАНИЕ 2

ЛИНЕЙНЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЁТКИ ПОПЕРЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель задания

В результате работы по теме данного задания студент должен:

знать метод формирования остронаправленного излучения путём сложения полей от большого числа слабонаправленных излучателей; теорему перемножения характеристик направленности, зависимость основных параметров характеристик направленности эквивалентной равноамплитудной антенной решётки с линейным фазовым распределением от её конструктивных параметров, способ управления направлением максимального излучения антенной решётки;

уметь определять основные параметры диаграммы направленности, коэффициент направленного действия линейной эквидистантной равноамплитудной антенной решётки с линейным фазовым распределением;

приобрести навыки расчёта характеристики направленности эквидистантной равноамплитудной антенной решётки.

Методические указания

При подготовке к занятию необходимо изучить [1, §7.2 а, б, в] или [2, §7.1 ... 7.3], [3, §4.3, §4.7].

Для формирования остронаправленного излучения обычно применяют антенные решётки, состоящие из нескольких одинаковых и одинаково ориентированных в пространстве излучателей. Концентрация излучения в заданном направлении достигается в том случае, если поле от всех излучателей в этом направлении складывается синфазно, а в других направлениях – несинфазно.

Характеристика направленности системы одинаковых и одинаково ориентированных в пространстве излучателей, расположенных на одинаковом расстоянии (эквидистантных), определяется произведением характеристик направленности одного излучателя и множителя системы (множителя антенной решётки). Такой способ получения диаграммы направленности называется теоремой перемножения характеристик направленности. Обратите внимание на то, что множитель системы является характеристикой направленности системы изотропных (ненаправленных) излучателей, расположение и возбуждение которых такое же, как у данной системы излучателей.

Если в качестве излучающих элементов антенной решётки используются слабо направленные излучатели, то её характеристика направленности определяется, в основном, множителем антенной решётки. Диаграмма направленности антенной решётки является многолепестковой.

Чаще всего в радиосвязи используются эквидистантные антенные решётки, излучающие элементы которых возбуждаются токами одинаковой амплитуды и с изменяющейся одинаковым скачком фазой возбуждения от элемента к элементу. Множитель линейной эквидистантной равноамплитудной антенной решётки зависит от числа излучателей n , относительно расстояния d/λ между излучателями и разности фаз ψ в соседних излучателях.

Обратите внимание, что направление максимального излучения линейной синфазной ($\psi = 0$) антенной решётки перпендикулярно её оси. В этом направлении поля от всех излучателей в дальней зоне складываются синфазно. При достаточно большом расстоянии между излучателями синфазное сложение полей может иметь место и в других направлениях. В этом случае в диаграмме направленности синфазной решётки имеется несколько главных лепестков. В диаграмме направленности синфазной решётки с шагом $d < \lambda$ имеется единственный главный лепесток, и он направлен перпендикулярно к оси решётки. При отклонении главного луча решётки от нормали путём введения линейного набега фазы может появиться второй (или несколько) главный лепесток диаграммы направленности, если шаг решётки $d > \lambda/2$. Изменяя сдвиг фаз ψ в соседних излучателях ψ , можно управлять направлением максимального излучения антенной решётки. Если расстояние между излучателями d меньше половины длины волны λ , то в диаграмме направленности антенной решётки имеется только один главный лепесток при любом значении фазового сдвига ψ .

Контрольные вопросы

1. Как с помощью антенных решёток формируется остронаправленное излучение?
2. Какая антенная решётка называется линейной?
3. Какая антенная решётка называется эквидистантной?
4. Какая антенная решётка называется равноамплитудной?
5. Какая антенная решётка называется синфазной?
6. Сформулируйте теорему перемножения характеристик направленности.
7. От каких параметров зависит множитель линейной эквидистантной равноамплитудной антенной решётки с линейным фазовым распределением?
8. Укажите направление максимального излучения синфазной антенной решётки.
9. При каком условии в диаграмме направленности линейной синфазной эквидистантной антенной решётки имеется только один главный лепесток?
10. Как можно управлять направлением максимального излучения антенной решётки?
11. При каком условии в диаграмме направленности линейной эквидистантной антенной решётки с линейным фазовым распределением имеется только один главный лепесток?

Задача

Линейная эквидистантная равноамплитудная антенная решётка состоит из n симметричных полуволновых вибраторов, оси которых совпадают с осью решётки. Относительное расстояние между излучателями равно d/λ (см. табл. 2.1).

1. Нарисуйте заданную антенную решётку. Укажите на рисунке шаг решётки d и направление отсчёта угла точки наблюдения (от перпендикуляра к оси решётки).

2. Напишите выражение для характеристики направленности антенной решётки в плоскости E .

Для этого:

- сформулируйте условие, при котором справедлива теорема перемножения характеристик направленности и сделайте вывод о возможности применения этой теоремы в данном случае;

- напишите выражение для характеристики направленности одного излучателя в указанной выше плоскости, при этом учтите, что угол θ отсчитывается от перпендикуляра к оси решётки;

- напишите выражение для множителя антенной решётки;

- напишите выражение для характеристики направленности антенной решётки.

3. Подготовьте таблицу для записи результатов последующих расчётов (см. табл. 2.2).

4. Считая, что все излучатели решётки возбуждаются синфазно ($\psi = 0$) и характеристика направленности решётки, в основном, определяется множителем решётки (полуволновой вибратор является слабо направленным излучателем), определите:

- направление максимального излучения θ_{rn} ;

- направления, в которых отсутствуют излучения θ_{01}, θ_{02} ;

- ширину главного лепестка диаграмм направленности по уровню нулевого излучения $2\theta_0$ и половинной мощности $2\theta_{0,5}$;

- направления $\theta_{\max 1}, \theta_{\max 2}$ и относительный уровень первых (ближайших к направлению максимального излучения) боковых лепестков в ξ_1, ξ_2 диаграмм направленности.

- коэффициент направленного действия D антенной решётки в направлении главного излучения по приближённой формуле $D \approx 2L/\lambda$, где $L = (n-1)d$ – длина решётки.

5. Определите направление главного лепестка θ_{rn} антенной решётки при введении заданного фазового сдвига ψ токов в соседних излучателях.

6. Проанализируйте результаты расчётов.

Таблица 2.1

Данные вариантов

Вариант по № в журнале	Число элементов решётки n	Относительное расстояние между элементами d/λ	Сдвиг фаз между токами соседних элементов в ψ°	Вариант по № в журнале	Число элементов решётки n	Относительное расстояние между элементами d/λ	Сдвиг фаз между токами соседних элементов в ψ°
1	11	0,5	45	14	24	0,37	60
2	12	0,49	40	15	25	0,36	55
3	13	0,48	35	16	24	0,35	60
4	14	0,47	30	17	23	0,34	55
5	15	0,46	25	18	22	0,33	50
6	16	0,45	20	19	21	0,32	45
7	17	0,44	25	20	20	0,31	40
8	18	0,43	20	21	19	0,3	35
9	19	0,42	25	22	18	0,29	30
10	20	0,41	30	23	17	0,28	25
11	21	0,4	35	24	16	0,27	20
12	22	0,39	40	25	15	0,26	15
13	23	0,38	45	26	14	0,25	10

Таблица 2.2

Результаты расчёта

Обозначение параметров	Единица измерения	Результаты расчёта
$\theta_{гн}$	град	
θ_{max1}	град	
θ_{min1}	град	
θ_{max2}	град	
θ_{min2}	град	
$2\theta_0$	град	
$2\theta_{0,5}$	град	
ξ_1, ξ_2	дБ	
D	-	

ЛИНЕЙНЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЁТКИ ОСЕВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель задания

В результате работы по теме данного задания студент должен:

знать способ получения осевого излучения решётки путём последовательного возбуждения элементов с помощью бегущей волны, зависимость режима излучения антенной решётки от значения фазовой скорости волны, возбуждающей излучатели;

уметь определить основные параметры диаграммы направленности и коэффициент направленного действия линейной эквидистантной равноамплитудной антенной решётки осевого излучения, рассчитывать оптимальное значение фазовой скорости волны, возбуждающей излучатели;

приобрести навыки расчёта основных параметров характеристики направленности линейной эквидистантной равноамплитудной антенной решётки осевого излучения.

Методические указания

При подготовке к занятию следует изучить [1, §7.3а] или [2, §7.4], или [3, §4.3, §4.7].

При возбуждении излучающих элементов линейной антенной решётки с помощью бегущей волны режим работы решётки определяется фазовой скоростью v волны. Различают три режима работы:

При $c/v = 1$ (c – скорость света в вакууме) антенная решётка работает в режиме осевого излучения. Направление максимального излучения решётки совпадает с направлением оси решётки, т.к. в этом направлении поле от всех излучателей складывается синфазно.

При $c/v > 1$ антенная решётка также может работать в режиме осевого излучения. Обратите внимание, что в направлении максимального излучения (вдоль оси решётки) поля излучателей складываются несинфазно. В этом режиме при заданном значении фазовой скорости существует оптимальная длина антенной решётки, соответствующая максимальному значению коэффициента направленного действия. Иначе при заданной длине антенной решётки можно определить значение оптимальной фазовой скорости, соответствующее максимуму коэффициента направленного действия.

При $c/v < 1$ антенная решётка работает в режиме неосевого излучения, т.к. направление максимального излучения составляет некоторый угол с осью решётки.

Контрольные вопросы

1. Каким способом можно создать линейное фазовое распределение возбуждающих токов в элементах решётки?
2. При каких значениях фазовой скорости линейная антенная решётка работает в режиме осевого излучения?
3. Нарисуйте векторную картину сложения полей излучателей в направлении оси решётки для $c/v = 1$ и $c/v > 1$.
4. Что называется оптимальной фазовой скоростью (при заданной длине антенной решётки)?
5. Что называется оптимальной длиной антенной решётки (при заданной фазовой скорости $v < c$)?

Задача

Линейная эквидистантная антенная решётка состоит из полуволновых симметричных вибраторов, оси которых перпендикулярны оси решётки, относительно расстояние между излучателями равно d/λ (см. табл. 3.1). Излучатели последовательно возбуждаются бегущей электромагнитной волной.

1. Нарисуйте заданную антенную решётку и покажите направление отсчёта углов θ (от оси решетки).
2. Проверьте выполнение условий применимости теоремы перемножения характеристики на направленности.
3. Напишите выражение для характеристик направленности антенной решётки в плоскости, проходящей через оси вибраторов.
4. Подготовьте таблицу для записи результата в расчёта параметров в характеристике направленности (см. табл. 3.2).
5. Считая, что фазовая скорость возбуждающей волны равна скорости света ($c/v = 1$) и характеристика направленности, в основном, определяется множителем антенной решётки (полуволновые вибраторы являются слабонаправленными излучателями), определите:
 - направление максимального излучения θ_{m} ;
 - направления максимумов боковых лепестков в $\theta_{\text{max1}}, \theta_{\text{max2}}$;
 - направления нулевого излучения $\theta_{\text{min1}}, \theta_{\text{min2}}$;
 - ширину главного лепестка диаграммы направленности по нулевому уровню $2\theta_0$;
 - ширину главного лепестка диаграммы направленности по уровню половинной мощности $2\theta_{0,5}$;
 - коэффициент направленного действия по формуле $D = 4L/\lambda$, где $L = (n-1)d$.
6. Определите оптимальную величину отношения $(c/v)_{\text{opt}}$ для заданной длины антенной решётки по формуле $(c/v)_{\text{opt}} = 1 + \lambda/(2L)$.

7. Считая, что возбуждающая электромагнитное поле волна распространяется с оптимальной фазовой скоростью, определите параметры характеристики направленности, указанные в п 5 и коэффициент направленного действия по формуле $D \approx 7,2L/\lambda$.

8. Проанализируйте результаты расчётов, имея в виду, что длины антенных решёток одинаковы.

Таблица 3.1

Данные вариантов

Вариант по номеру в журнале	Число элементов решётки n	Относительное расстояние между элементами d/λ	Вариант по номеру в журнале	Число элементов решётки n	Относительное расстояние между элементами d/λ
1	22	0,25	14	48	0,185
2	24	0,245	15	50	0,18
3	26	0,24	16	52	0,175
4	28	0,235	17	54	0,17
5	30	0,23	18	56	0,165
6	32	0,225	19	58	0,16
7	34	0,22	20	60	0,155
8	36	0,215	21	62	0,15
9	38	0,21	22	64	0,145
10	40	0,205	23	66	0,14
11	42	0,20	24	68	0,135
12	44	0,195	25	70	0,13
13	46	0,19			

Таблица 3.2

Результаты расчёта

Обозначение параметров	Единицы измерений	Антенная решётка осевого излучения	
		$c/v = 1$	$c/v = (c/v)_{opt}$
$\theta_{пл}$	град.		
θ_{max1}	град.		
θ_{min1}	град.		
θ_{max2}	град.		
θ_{min2}	град.		
$2\theta_0$	град.		
$2\theta_{0,5}$	град.		
ξ_1	дБ		
D	-		

РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН В СВОБОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Цель задания

усвоить понятие «потери передачи» при распространении радиоволн в свободном пространстве;

приобрести навыки расчета величины потерь в свободном пространстве.

Методические указания

При подготовке к практическому занятию необходимо изучить [5, §§ 2.1, 2.2] или [4, §§ 1.2...1.6].

Существуют радиолинии первого и второго типа, для которых при одинаковых параметрах передающего и приемного оборудования мощность на входе приемного устройства оказывается разной. На радиолиниях первого типа имеется прямая видимость между передающей и приемной антеннами, а на радиолиниях второго типа между передающей и приемной антеннами имеется пассивный переизлучатель.

Потери в свободном пространстве связаны с уменьшением плотности потока электромагнитного поля, излучаемого антенной, на поверхности сферического фронта волны, площадь которой увеличивается с увеличением расстояния. Величина потерь передачи L определяется расстоянием между передающей и приемной антеннами, их направленными свойствами, длиной волны и не зависит от мощности передатчика.

Контрольные вопросы

1. Потери передачи: понятие, определения, расчетное соотношение.
2. Каковы структурные схемы радиолиний первого и второго типа?
3. Как зависит величина потерь передачи от длины волны, расстояния и направленных свойств антенн?
4. Чем обусловлены потери при передаче электромагнитной энергии в свободном пространстве?

Задача

Передающая и приемная антенны имеют коэффициенты усиления G_1 и G_2 и расположены в свободном пространстве на расстоянии r_1 друг от друга. Данные варианты приведены в таблице 4.1.

Необходимо:

1. Для ненаправленных (изотропных) антенн рассчитать зависимость величины потерь при распространении радиоволн в свободном пространстве от расстояния, задавшись значениями расстояний от $0,5r_1$ до $4r_1$ с шагом $0,5r_1$.
2. Рассчитать зависимость величины потерь от длины волны λ (при фиксированном значении r_1), задавшись значениями длин волн от $0,5\lambda$ до 4λ с шагом $0,5\lambda$.
3. Провести те же расчеты, но при условии замены ненаправленных антенн на направленные.
4. Результаты расчетов свести в таблицу. За образец можно взять таблицу 4.2.
5. По данным пунктов 1, 2 и 3 построить графические зависимости величины потерь в дБ от расстояния и от длины волны.
6. Сравнить полученные результаты. Сформулировать выводы.

Таблица 4.1

Данные вариантов

Параметр	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
λ , м	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
G_1	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5
Параметр	Последняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
r_1 , км	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
G_2	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10

Таблица 4.2

Результаты расчета

r_1/r_0	r_1	Направленные антенны		Ненаправленные антенны		λ_1/λ_0	λ	Направленные антенны		Ненаправленные антенны	
		L		L ₀				L		L ₀	
-	км	раз	дБ	раз	дБ	-	м	раз	дБ	раз	дБ
0,5						0,5					
1,0						1,0					
1,5						1,5					
2,0						2,0					
2,5						2,5					
3,0						3,0					
3,5						3,5					
4,0						4,0					

РАСЧЕТ РАДИОТРАССЫ МЕТРОВЫХ И ДЕЦИМЕТРОВЫХ РАДИОВОЛН

Цель задания

В результате работы по теме данного задания студент должен:
знать основные закономерности распространения радиоволн данного диапазона в зоне освещенности, полутени, тени;
приобрести навыки инженерного метода расчета УКВ радиотрасс.

Методические указания

При подготовке к практическому занятию необходимо предварительно изучить [4, §§2.2, 2.7, 3.5] или [5, §§3.3, 3.4, 3.5.2...3.5.4]. Выполнение данного занятия предусматривает работу в течение четырех аудиторных часов.

Земные ультракороткие волны (метровые, дециметровые, сантиметровые) широко используются в радиорелейной связи и в радиотелевизионном вещании. Механизм распространения земных радиоволн достаточно сложен с точки зрения физики явления, и поэтому его математический анализ достаточно сложен. Однако при решении ряда важных практических задач нет необходимости рассматривать проблему в целом и поэтому вполне допустимы упрощения:

- атмосфера считается непоглощающей средой;
- поверхность земли считается гладкой и однородной;
- антенны считаются поднятыми (высота подвеса h антенн много больше

длины волны λ и питание осуществляется неизлучающим фидером).

В соответствии с физическими процессами распространения земных радиоволн на радиотрассе выделяют три зоны: зоны освещенности, полутени и тени. Границы зон связаны с расстоянием прямой видимости r_0 между передающей и приемной антеннами и определяются в следующих пределах:

- зона освещенности $r \leq 0,8r_0$;
- зона полутени $0,8r_0 < r < 1,2r_0$;
- зона тени $r \geq 1,2r_0$.

Состояние тропосферы учитывается через заданный вертикальный градиент индекса коэффициента преломления тропосферы dN/dh , величина которого нужна для расчета эквивалентного радиуса Земли.

На небольших расстояниях от передающей антенны ($r \leq 0,2r_0$) по поверхность Земли можно считать плоской и сферичность Земли не учитывать. Сферичность Земли в зоне освещенности учитывается использованием в расчетных формулах значений приведенных высот подвеса передающей h_1' и приемной h_2' антенн. В зоне тени поле быстро уменьшается по экспоненциальному зако-

ну. Во многих практических случаях в диапазоне УКВ можно использовать в этой зоне приближенный расчет напряженности поля.

С учетом потерь в питающем фидере и неравномерности диаграммы направленности антенны эффективно излучаемую мощность передатчика можно определить по формуле

$$P_{\Sigma, \text{кВт}} = 10^{P_{\Sigma}(\text{дБ кВт})/10},$$

где

$$P_{\Sigma}(\text{дБ кВт}) = 10 \lg(P_1) + G_1 - \alpha - \xi;$$

P_1 - выходная мощность передатчика, кВт;

G_1 - коэффициент усиления передающей антенны, дБ;

$\alpha = \alpha_1 h_1$ - ослабление в питающем фидере, дБ;

α_1 - погонное ослабление в питающем фидере, дБ/м;

$\xi = 0,2$ дБ - запас на неравномерность диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости, дБ.

Контрольные вопросы

1. В каком диапазоне радиоволн антенны можно считать поднятыми?
2. Назовите условие применимости интерференционных формул при расчете поля с поднятыми антеннами?
3. От каких параметров трассы зависит расстояние прямой видимости между передающей и приемной антеннами?
4. От каких параметров трассы зависят расстояния, на которых напряженность поля принимает максимальные и минимальные значения?
5. Какие значения может принимать множитель ослабления в области применимости интерференционных расчетных формул?
6. Каковы границы зоны освещенности, полутени, тени?
7. Как учитывается явление атмосферной рефракции радиоволн при расчете поля с поднятыми антеннами в зоне освещенности?
8. Как учитывается сферичность Земли при расчете поля с поднятыми антеннами в области применимости формулы Введенского?
9. При каких условиях можно вести расчет напряженности поля по формуле Введенского?

Задача

Телевизионный передатчик с выходной мощностью P_1 выдает несущую изображения на частоте f и подсоединен к передающей антенне с помощью антенного фидера типа «Вах» (НР-75-120Д) с погонным ослаблением $\alpha_1 = 0,0043$ дБ/м. Передающая антенна излучает горизонтально поляризованную волну. Заданы: коэффициенты усиления передающей антенны G_1 , вертикальный градиент индекса коэффициента преломления тропосферы dN/dh , тип усредненной подстилающей поверхности и высоты подвеса передающей h_1 и приемной h_2 антенн.

Таблица 5.1

Данные вариантов

Предпоследняя цифра номера студенческого билета										
Параметр	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ ТВ кан.	1	3	5	7	9	11	25	30	35	40
G_1 , дБ	7,8	7,8	7,8	9,0	9,0	9,0	14,8	14,8	14,8	14,8
P_1 , кВт	10	20	20	20	20	20	10	10	10	10
h_1 , м	200	235	290	310	315	325	335	330	320	345
f , МГц	49,75	77,25	93,25	183,25	199,25	215,25	503,25	543,25	582,25	623,25
dN/dh , 1/м	0	-0,02	-0,04	0	-0,02	-0,04	0	-0,02	-0,04	0

Таблица 5.2

Данные варианты в задания

Параметр	Последняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
h_2 , м	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Тип поверхности	Песок	Сухая почва	Влажная почва	Море	Сухая почва	Влажная почва	Песок	Море	Сухая почва	Влажная почва

Требуется, и используя данные варианты в таблицы 5.1 и 5.2, рассчитать:

1. Эффективную излучаемую мощность в кВт.
2. Расстояние прямой видимости r_0 и границы зон освещенности, полутени и тени.
3. Расстояния, соответствующие первым трем максимумам и минимумам напряженности поля, значения множителя ослабления и напряженности поля в этих точках. Расчет произвести для случая плоской поверхности Земли. В расчете можно принять угол потери фазы при отражении от поверхности Земли θ равным 180° .
4. Значения напряженности поля в четырех - пяти точках между точкой первого максимума напряженности поля и точкой $0,8r_0$ включительно.
5. Значение напряженности в точке r_0 .
6. Значение напряженности в точках $r = 1,2r_0$ и $1,4r_0$

7. Результаты расчетов свести в таблицы. За образец можно взять таблицы 53 и 54.

8. Построить графическую зависимость $E(\text{дБ}) = f(r)$.

9. Сформулировать выводы.

Таблица 53

Результаты расчета

r , км	γ°	$\sin \gamma$	R	h_1'	h_2'	F	E_0 , мВ/м	E_d , мВ/м	E_d , мкВ/м	E_d , дБ	Примечания
				-	-						1 макс
				-	-						1 мин
				-	-						2 макс
				-	-						2 мин
				-	-						3 макс
				-	-						3 мин

Таблица 54

Результаты расчёта

при $R \approx 1$ и $\theta \approx 180^\circ$

r км	h_1' м	h_2' м	E_0 мВ/м	$F(y_1, y_2)$ дБ	$F(y_1, y_2)$	$\Gamma_0 F(y_1, y_2)$ L	F дБ	F	E_d мВ/м	E_d мкВ/м	E_d дБ	Примеч.
			-	-	-	-	-	-				
			-	-	-	-	-	-				
			-	-	-	-	-	-				$r = 0,8r_0$
	-	-					-	-				$r = r_0$
	-	-										$r = 1,2r_0$
	-	-										$r = 1,4r_0$

ЗАДАНИЕ 6

РАСЧЕТ ДЕКАМЕТРОВОЙ РАДИОТРАССЫ

Цель задания

В результате выполнения данного задания студент должен:

знать основные закономерности процесса распространения радиоволн КВ диапазона и методику составления волнового расписания для радиосвязи в данном диапазоне;

уметь составлять волновое расписание для заданной радиотрассы КВ диапазона;

приобрести навыки расчета мощности передатчика с учетом запаса мощности на быстрые и медленные замирания.

Методические указания

При подготовке к практическому заданию необходимо предварительно изучить [4, §§5.8, 5.14] или [5, §§10.1 - 10.4, 10.7]. Выполнение этого задания предусматривает работу в течение четырех аудиторных часов. В этом диапазоне радиоволн связь между пунктами передачи и приема может осуществляться за счет так называемых земной и пространственной (ионосферной) волн. С помощью земной волны в диапазоне КВ может быть обеспечена радиосвязь на небольшие расстояния (несколько десятков километров). С помощью пространственной волны может быть обеспечена радиосвязь на сколь угодно большие расстояния. При этом имеет место многократное последовательное отражение радиоволн от ионосферы и Земли.

Следует отметить, что для осуществления радиосвязи с помощью пространственной волны достаточно небольшая мощность передатчика. Это уникальное свойство диапазона КВ и используется для построения систем дальней радиосвязи, для радиовещания, дальней (загоризонтальной) радиолокации, исследования ионосферы и т.д. Однако ряд особенностей распространения радиоволн этого диапазона снижает эффективность их использования. К таким особенностям прежде всего относится чрезвычайно сильная зависимость характеристики радиотрассы от параметров ионосферы. В соответствии с условием отражения радиоволн от ионосферы волны КВ диапазона могут отражаться только от верхнего слоя ионосферы. Электронная концентрация слоя F_2 и число соударений в единицу времени ν_{Σ} в ионосфере меняется в широких пределах в зависимости от солнечной активности, времени года, времени суток. Поэтому для осуществления достаточно надежной радиосвязи необходимо соответствующим образом менять частоту радиосвязи. Частота радиосвязи выбирается, исходя из обеспечения:

- минимального поглощения радио волны в ионосфере (ограничение снизу);
- выполнение условия отражения (ограничения сверху).

Практически для каждой радиотрассы составляется волновое расписание, которое устанавливает, на каких частотах следует работать в различные часы суток. Составить волновое расписание – это значит определить наиболее выгодные частоты радиосвязи, исходя из заданных реальных условий радиотрассы. При расчете мощности передатчика по методу Казанцева А.Н. положено предположение, что поле в месте приема создается в результате взаимодействия лучей, претерпевших разное число отражений. Можно применять упрощенный метод расчета в предположении, что волна отражается от слоя F_2 .

Контрольные вопросы

1. Что называется критической частотой ионосферного слоя?
2. Какими параметрами радиотрассы определяется условие отражения радиоволн от ионосферы?
3. Исходя из какого условия выбирается максимально применимая частота?
4. От каких факторов зависит коэффициент поглощения в ионосфере?
5. Что называется оптимальной рабочей частотой?
6. В какое время суток можно работать на более высоких частотах в пределах КВ диапазона?
7. Какова частотная зависимость интегрального коэффициента поглощения в слоях ионосферы?

Задача

Известны пункты передачи и приема, в которых расположены антенны с коэффициентами направленного действия D_1 и D_2 . Электронная концентрация слоя E в точке отражения равна $N^E = A \cdot 10^4$, эл/см³. Мощность сигнала на входе приемного устройства равна P_2 . Количество разнесенных приемных антенн равно n . Связь должна осуществляться с заданной надежностью p при значении стандартного отклонения логарифмически-нормального закона $\sigma = 9$ дБ. Высота отражающего слоя $h_d = 250$ км.

Данные варианты приведены в таблице 6.1. Необходимо, используя данные таблицы вариантов, с помощью методических указаний составить волновое расписание. Для частоты, соответствующей 12 часам местного времени, рассчитать значение мощности передатчика с учетом запаса на быстрые и медленные замирания.

Данные вариантов

Параметр	Предпоследняя цифра номера студенческого билета										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
№ пункта передачи	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	
D ₁	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	
Параметр	Последняя цифра номера студенческого билета										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
№ пункта приема	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
D ₂	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	
n	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
P ₂ , пВт	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	
p, %	90	95	99	90	95	99	90	95	99	90	

В таблицах 6.2, 6.3 приведены названия пунктов в передаче и приема и их географические координаты.

Таблица 6.2

Название и координаты пункта передачи

№	Названия пункта передачи	Широта в градусах северной широты	Долгота в градусах восточной долготы.
1	Ташкент	41,3	69,2
2	Алматы	43,0	77,0
3	Душанбе	38,8	68,8
4	Бишкек	42,8	74,6
5	Шимкент	42,1	69,6
6	Наманган	41,0	71,7
7	Нукус	42,5	59,6
8	Самарканд	39,5	66,8
9	Мары	37,7	61,8
10	Ашгабат	38,0	58,2

Названия и координаты пунктов приёма

№	Названия пункта приёма	Широта в градусах северной широты	Долгота в градусах восточной долготы.
1	Москва	55,6	37,5
2	Санкт-Петербург	59,8	30,2
3	Киев	50,5	30,8
4	Минск	54,0	27,6
5	Рига	57,0	24,2
6	Таллинн	58,5	24,6
7	Вильнюс	54,7	25,3
8	Кишинев	47,0	28,6
9	Тбилиси	41,8	44,8
10	Ереван	40,1	44,7

Задание рекомендуется выполнять в следующем порядке:

1. С помощью контурной карты мира и карты больших кругов, приведенных ниже в приложении, определить расстояние между пунктами приема и передачи и координаты точек отражения от ионосферы.

2. С помощью ионосферных карт и номограммы определить значения максимально применимых и оптимальных рабочих частот. Значения частот записать в таблицу. За образец взять таблицу 6.4.

3. По аналогии с рис. 6.1 построить график суточного хода ОРЧ на трассе и составить таблицу волнового расписания. За образец взять таблицу 6.5.

Таблица 6.4

Суточный график МПЧ и ОРЧ для трасс короче 4000 км

Время суток	МПЧ - 0	МПЧ - 4000	МПЧ	ОРЧ
час	МГц	МГц	МГц	МГц
0				
4				
8				
12				
16				
20				

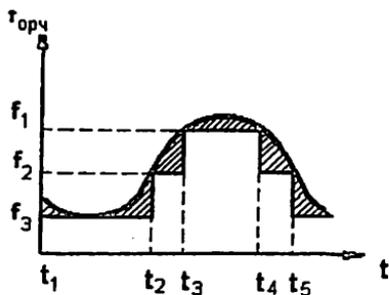


Рис. 6.1. График суточного хода ОРЧ

Волновое расписание

Таблица 6.5

Примечание	МГц	Время использования частот
$f_{орч1}$		
$f_{орч1}$		
$f_{орч1}$		

4. Рассчитать значение необходимой мощности передатчика с учетом запаса на быстрые и медленные замирания.

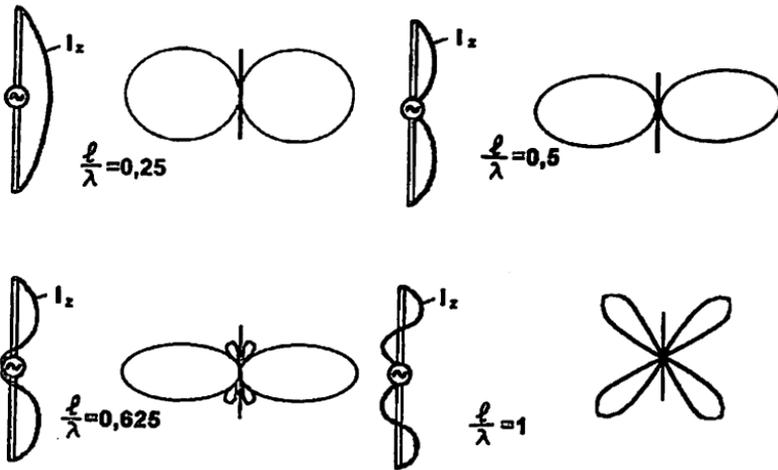


Рис.П.1.1. Виды распределения тока вдоль симметричного вибратора и соответствующие им диаграммы направленности в плоскости Е при различных значениях l/λ .

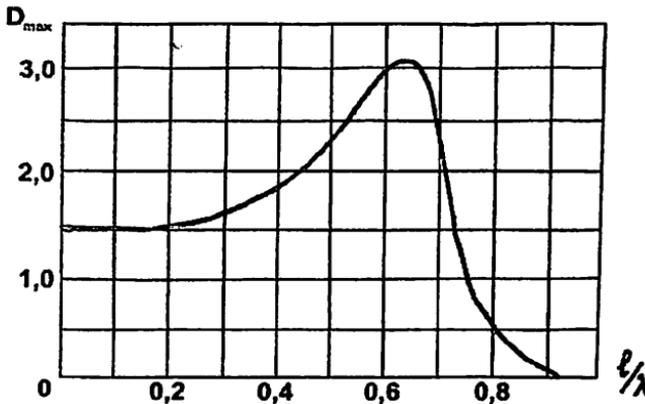
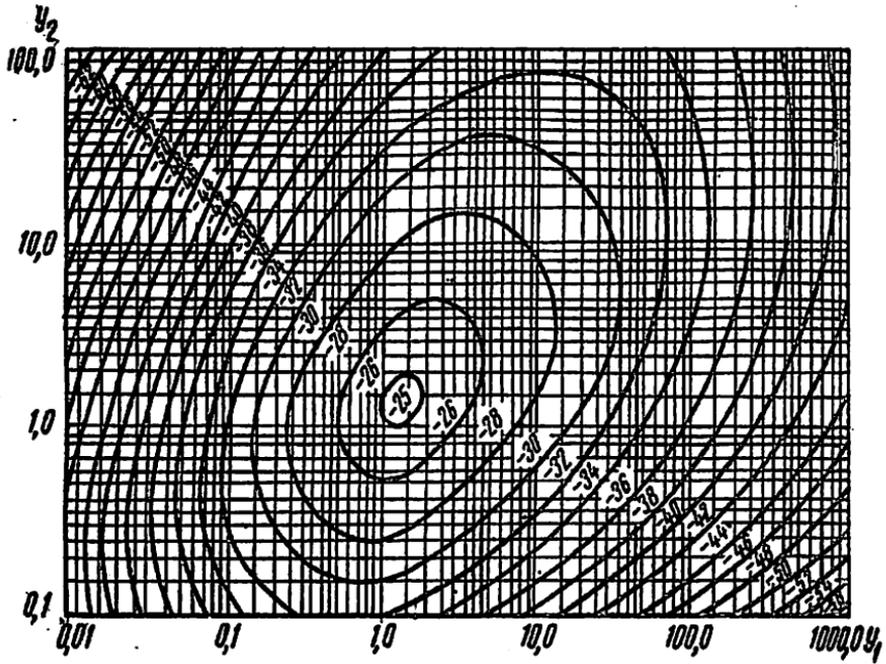
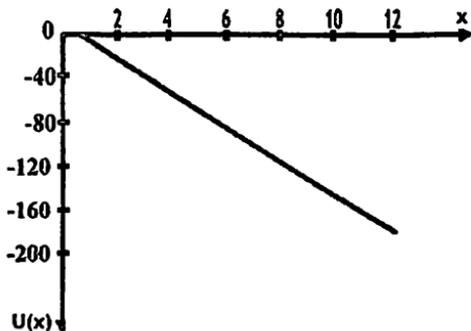
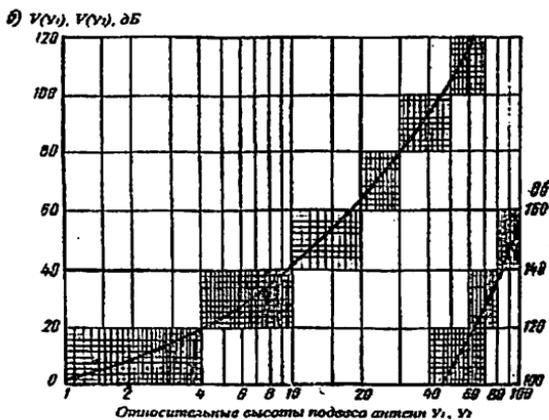
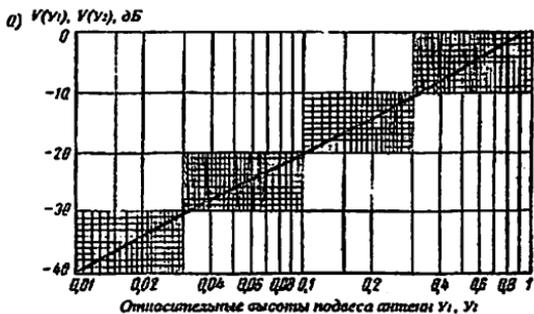


Рис. П.1.2. Зависимость коэффициента направленного действия D_{\max} симметричного вибратора от относительной длины его плеча.





Определение максимально применимых частот и оптимальных рабочих частот для каждой конкретной радиолинии обычно производится с помощью карт радиопрогнозов распространения ионосферных радиоволн. Необходимость составления ионосферных карт, которые характеризуют состояние ионизации слоя F_2 в виде прогноза, т.е. ожидаемого состояния (как при составлении прогнозов погоды), вызвана тем, что этот слой является самым неустойчивым образованием ионосферы. Эти карты составляются на основании данных о критических частотах слоя F_2 , полученных ионосферными станциями вертикального зондирования ионосферы, расположенными по всему земному шару. В инженерной практике принято разделение радиопрогнозов на кратко-срочные и долгосрочные. Долгосрочные прогнозы являются прогнозами распространения радиоволн для среднего, спокойного состояния ионосферы. В зависимости от назначения и от периода времени, которые они охватывают, долгосрочные прогнозы делаются на месячные, годовые и прогнозы на одиннадцатилетний цикл. Кратко-срочные прогнозы являются прогнозами возмущённой ионосферы, вероятных отклонений параметров в ионосфере по сравнению спокойными условиями и в зависимости от назначения могут характеризовать периоды от нескольких часов до одного месяца. Месячный прогноз является основным документом, служащим для составления текущего расписания частот для радиоцентров и узлов связи. Этот прогноз содержит карты максимально применимых частот (МПЧ). На этих картах нанесены изоплеты, т.е. линии одинаковых значений максимально применимых частот на заданное время суток по московскому декретному времени. Надписи у этих линий обозначают эти частоты в МГц. Обычно карты составляют через двухчасовые интервалы и суточный комплект состоит из 12 карт. Таким образом, ионосферная карта позволяет определить ожидаемое значение МПЧ в любой точке земного шара в заданный момент по московскому декретному времени.

Для определения МПЧ необходимо знать:

1. Длину трассы, т.е. расстояние между передающей и приёмной станциями;

2. Координаты точки отражения радиоволны от ионосферы.

Длина радиотрассы определяется для того, чтобы выяснить, сколько отражений от ионосферы имеет место на трассе. Предельным расстоянием, на котором осуществляется радиосвязь с одним отражением от ионосферы, считается для слоя F_2 - 4000 км, для слоя F_1 - 3000 км, для слоя E - 2000 км.

Для определения длины радиотрассы, координат точек отражения или контрольных точек пользуются картой мира (рис. П 3.1) и картой больших кругов (рис. П 3.2). Для этого необходимо проделать следующее:

На карту мира наложить лист кальки, нанести на кальке экватор, один из меридианов (проходящий через 45° восточной долготы – это меридиан московского декретного времени) и конечные пункты трассы (рис. П 3 3).

Перенести кальку на карту больших кругов так, чтобы линии экватора на карте и кальке совпадали. Перемещая кальку вдоль линии экватора, нужно подобрать такое положение, при котором точки, соответствующие передающей и приёмной станциям попали на дугу большого круга или заняли промежуточное положение между соседними дугами. Прочертить на кальке часть дуги, большого круга, соединяющей концы радиотрассы.

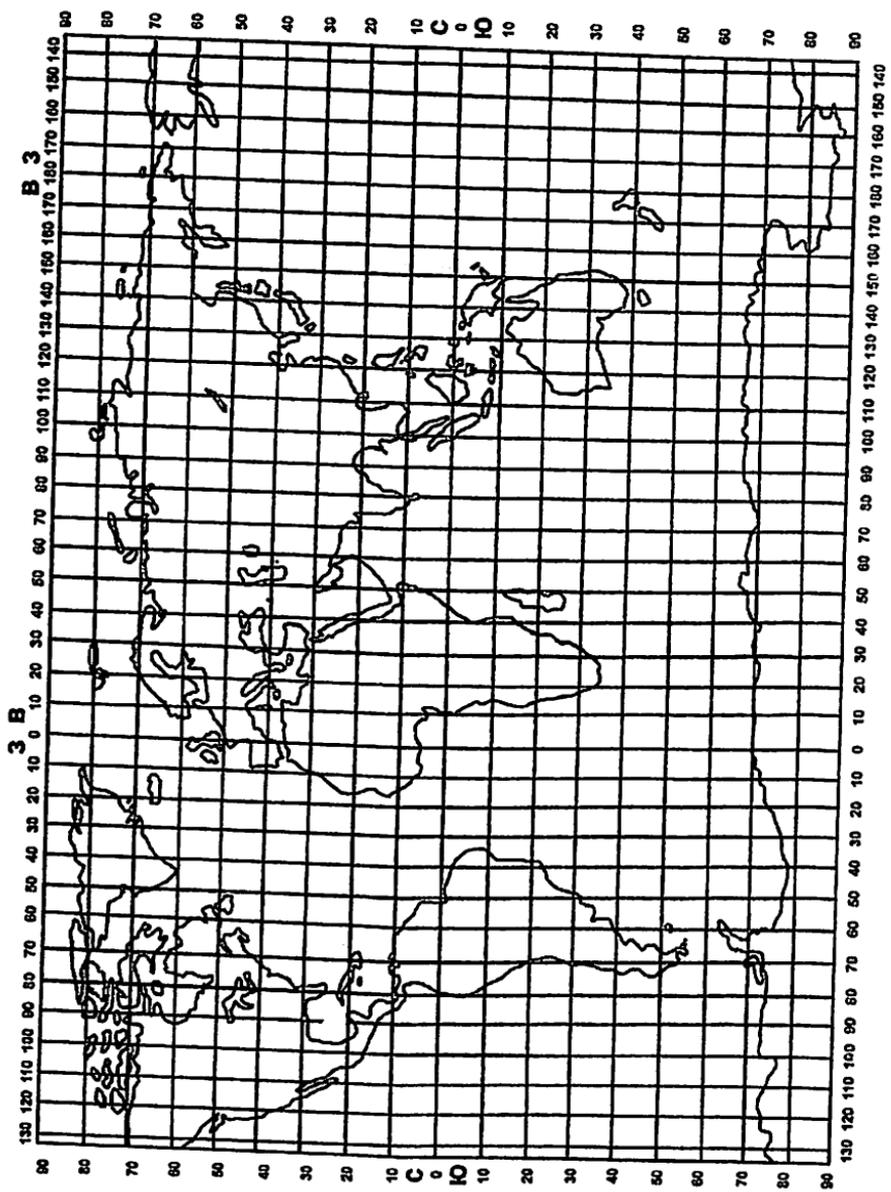


Рис. П 3.1. Карта мира

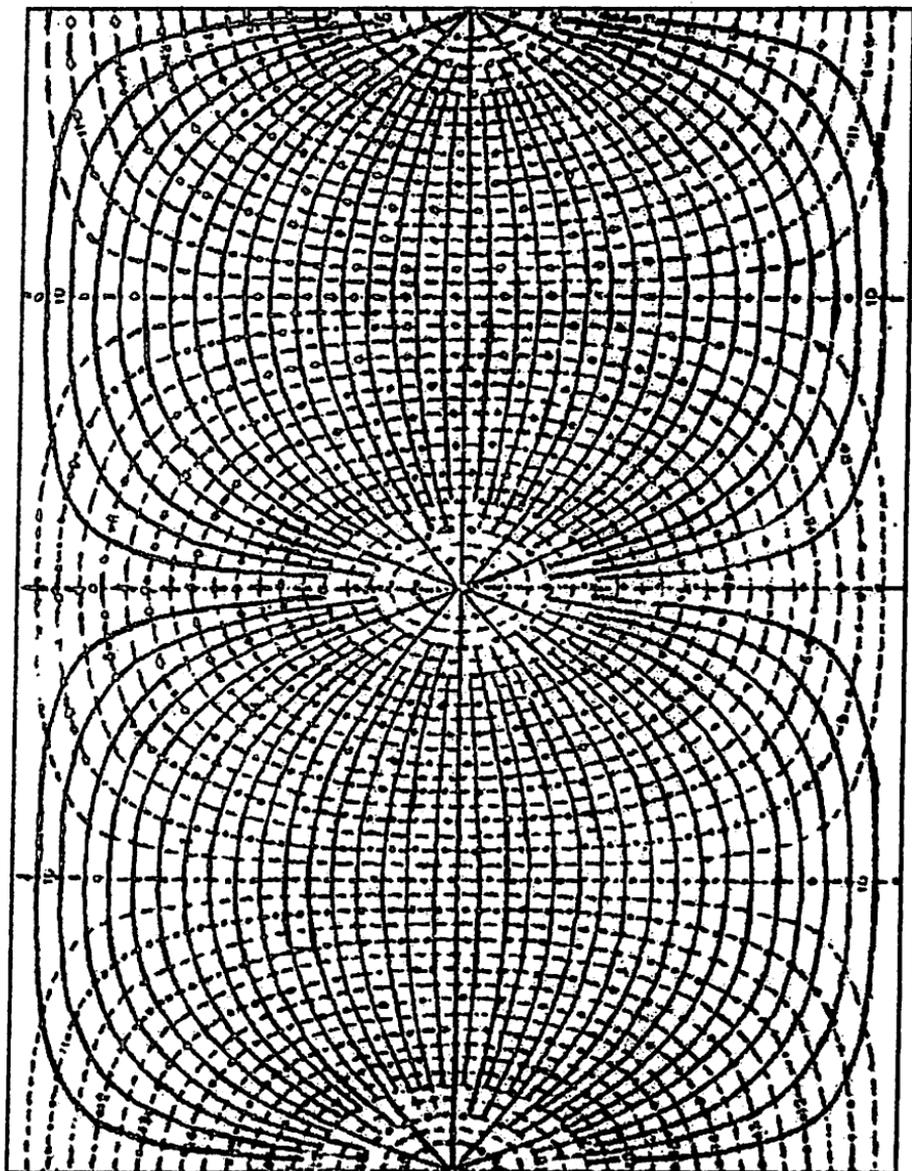


Рис.П 3 2. Карта больших кругов

Пунктирные линии карты делят дуги больших кругов на отрезки в 500 км, а пунктирные с точкой – 1000 км. Путём сложения полученных отрезков определяется длина трассы. Точки отражения или контрольные точки наносятся крестиком. Для трассы с одним отражением точка отражения определяется на середине дуги большого круга, заключённой между концами радиотрассы. На трассах длиннее 4000 км радиосвязь осуществляется через слой F_2 , с несколькими отражениями от ионосферы. В этом случае предполагается, что отражение имеет место в двух контрольных точках, стоящих на расстоянии 2000 км от пункта передачи.

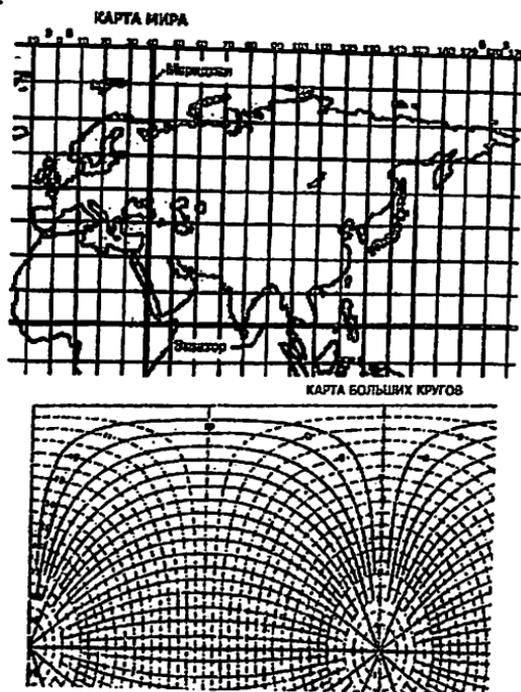


Рис 133. К определению длины радиотрассы и координат точки отражения

Для определения координат точки отражения перенести кальку на карту мира, совмещая линии экватора и меридиана. По градусной сетке карты определить координаты точки отражения или контрольных точек.

При определении МПЧ по ионосферным картам для нулевого расстояния $F_2 - 0$ - МПЧ и для расстояния 4000 км $F_2 - 4000$ - МПЧ для всех часов суток кальку следует накладывать так, чтобы экватор и меридиан кальки совпадали с соответствующими линиями на карте.

Отсчёт МПЧ – 0 и МПЧ – 4000 производится по значению частоты, находящейся на линии одинаковых частот (изоплете), совпадающей с точкой отра-

жения. Если длина трассы имеет любое промежуточное значение между 0 и 4000 км, то $F_2 - \text{МПЧ}$ для соответствующего расстояния определяется по номограмме (рис.П 3.4.).

Например: длина трассы 3000 км. Максимально применяемая частота такой трассы будет меньше $\text{МПЧ} - 4000$, но больше $\text{МПЧ} - 0$. Чтобы определить $\text{МПЧ} - 3000$, сначала по ионосферной карте определяют $F_2 - 0 - \text{МПЧ}$ и $F_2 - 4000 - \text{МПЧ}$. Для этого на ионосферную карту накладывают кальку, чтобы экватор и меридиан совпадали с соответствующими линиями на карте. Против точки отражения на середине трассы отсчитывают соответствующее значение $F_2 - 0 - \text{МПЧ}$ и $F_2 - 4000 - \text{МПЧ}$.

Пусть $F_2 - 0 - \text{МПЧ} = 6 \text{ МГц}$, $F_2 - 4000 - \text{МПЧ} = 12 \text{ МГц}$. Для определения $F_2 - 3000 - \text{МПЧ}$ откладываем на оси $F_2 - 0 - \text{МПЧ}$ 6 МГц, а на оси $F_2 - 4000 - \text{МПЧ} - 12 \text{ МГц}$.

Положим на номограмму прозрачную линейку так, чтобы она соединила полученные цифры. Точка пересечения этой линии с горизонтальной прямой, соответствующей длине радиотрассы в 3000 км, сносится на линию частот 4000 - МПЧ параллельно наклонным линиям (рис.П 3.4.). Полученный результат составляет $F_2 - 3000 - \text{МПЧ} = 11,3 \text{ МГц}$.

Чтобы неучтённые изменения электронной концентрации в ионосфере не привели бы к нарушению связи, рассчитывают *оптимальную рабочую частоту* (ОРЧ). Она обеспечивает связь по условиям отражения в течение 90 % времени за месяц и является верхним пределом рабочего диапазона частот при составлении волнового расписания. Статическая обработка наблюдений показала, что при спокойном состоянии ионосферы ОРЧ должна быть ниже месячной МПЧ слоя F_2 на 10 ... 20 %.

Для каждой коротковолновой радиолинии согласно международным правилам выделяется ряд фиксированных частот для работы в течение суток. Для протяжённых линий число таких частот достигает четырёх - пяти, а для более коротких - двух - трёх.

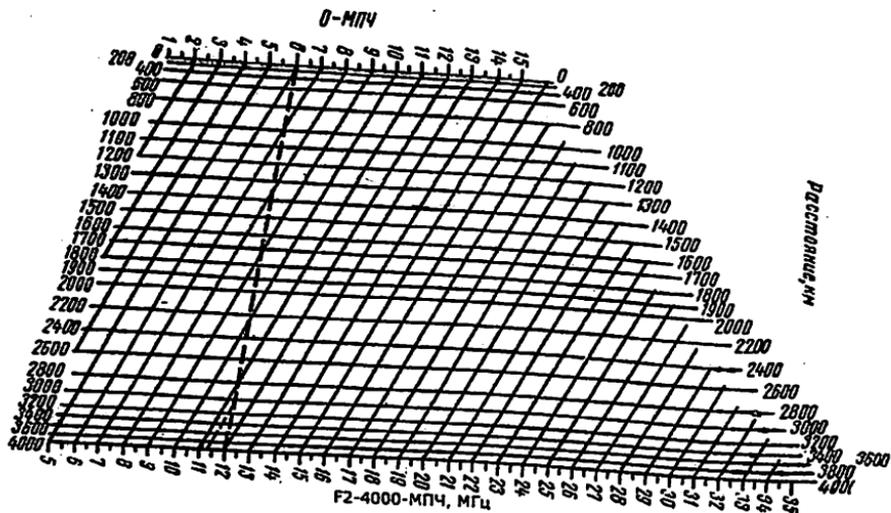
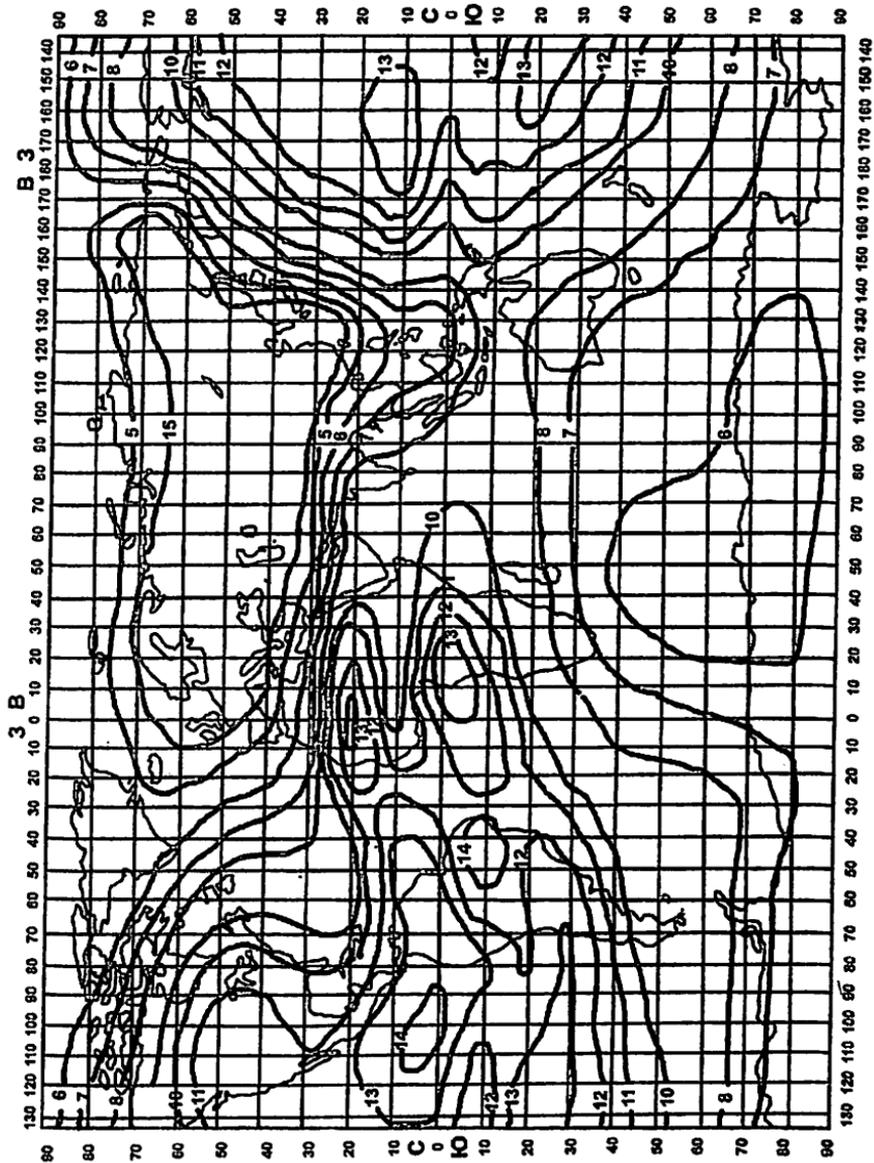
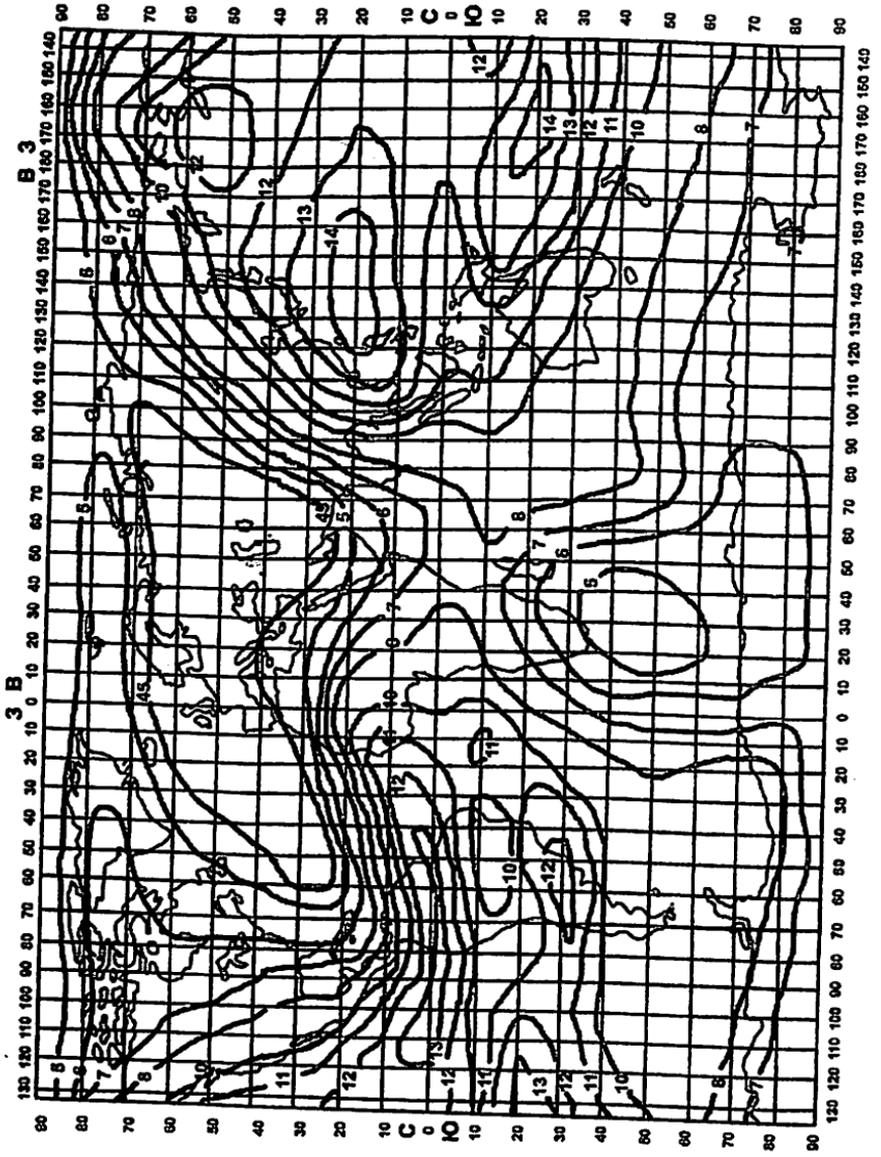


Рис.П 3.4. Номограмма для определения F_2 - МПЧ радиотрасс длиной от 0 до 4000 км.



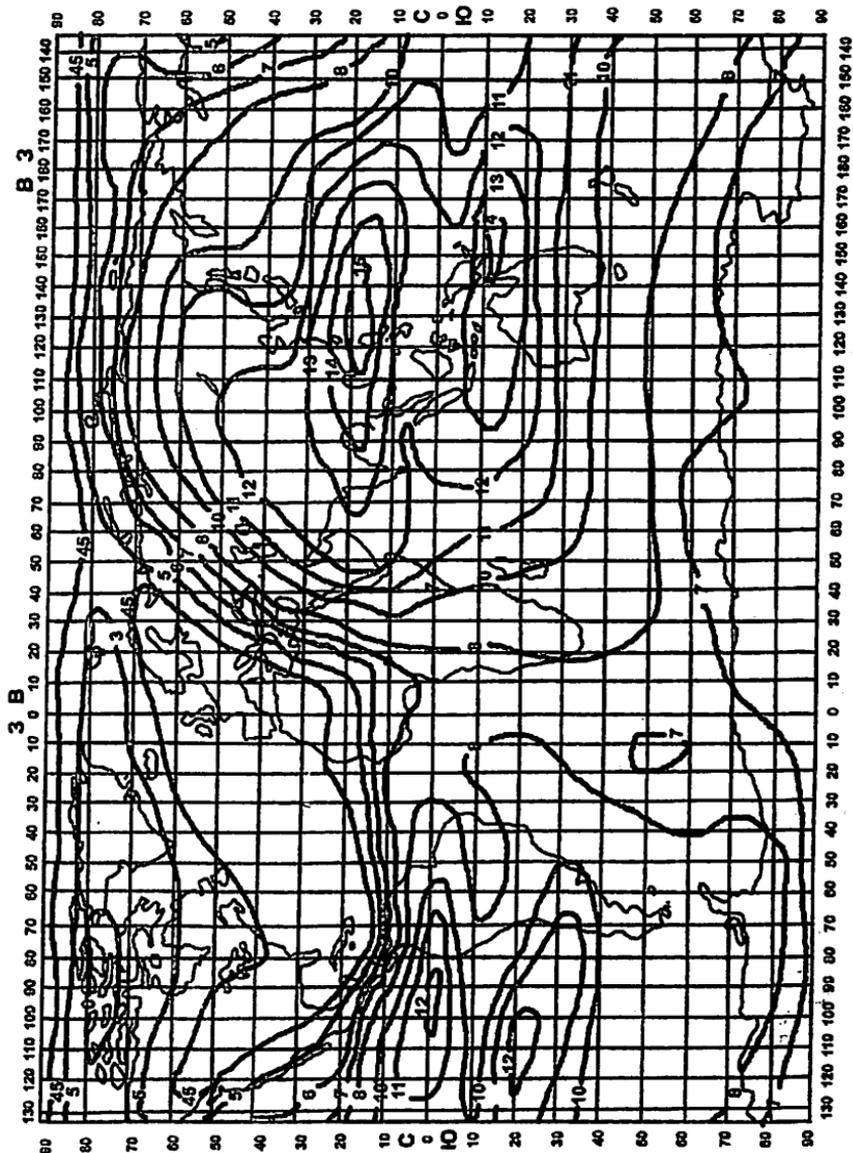
Прогноз F2-0-МПЧ на декабрь 0 час в Московского дискретного времени



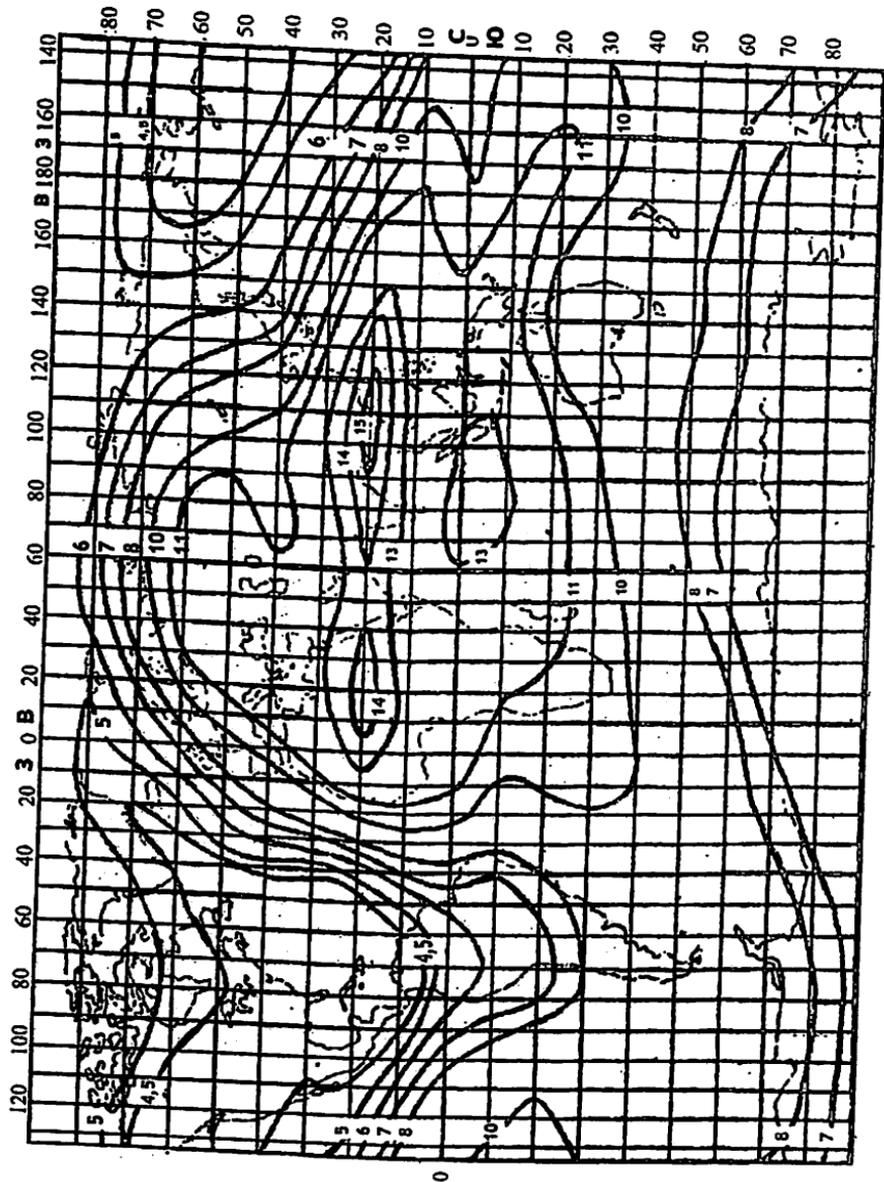
Прогноз F2-0-МПЧ на декабрь 4 часа Московского дискретного времени

В 3

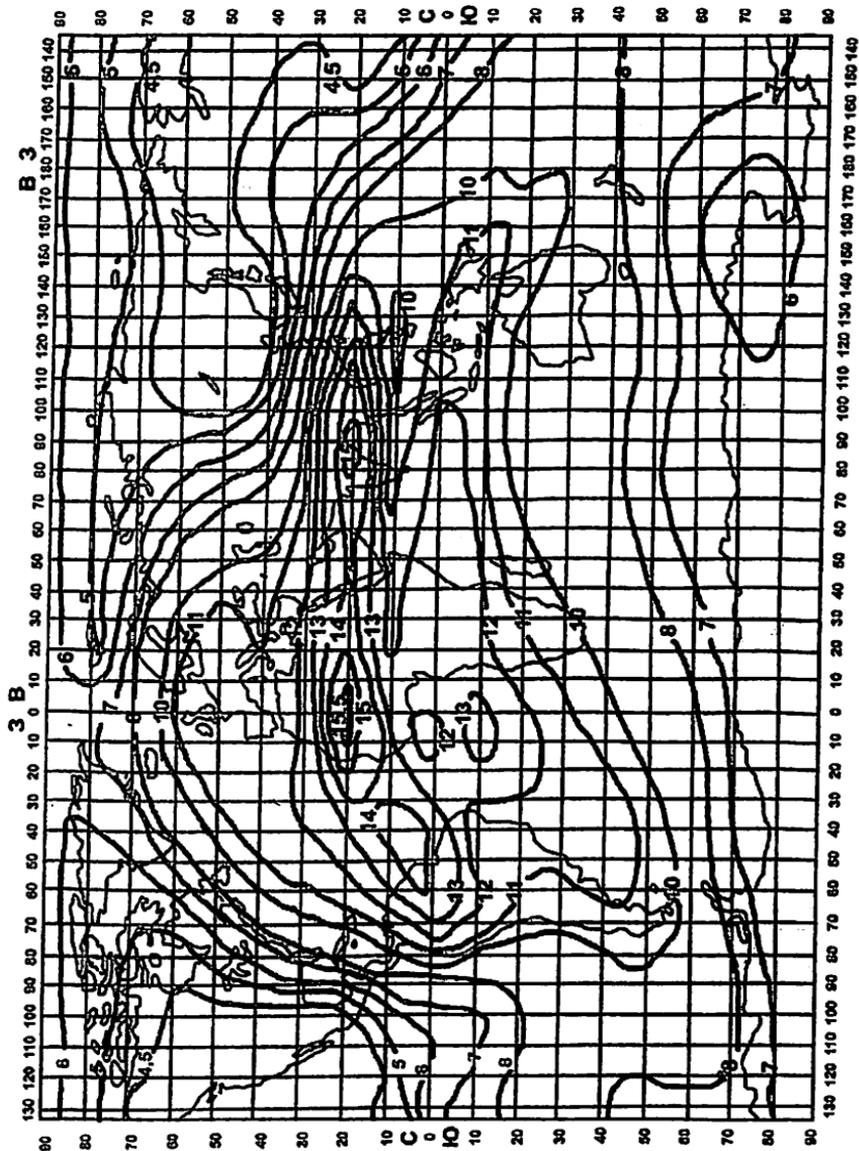
3 В



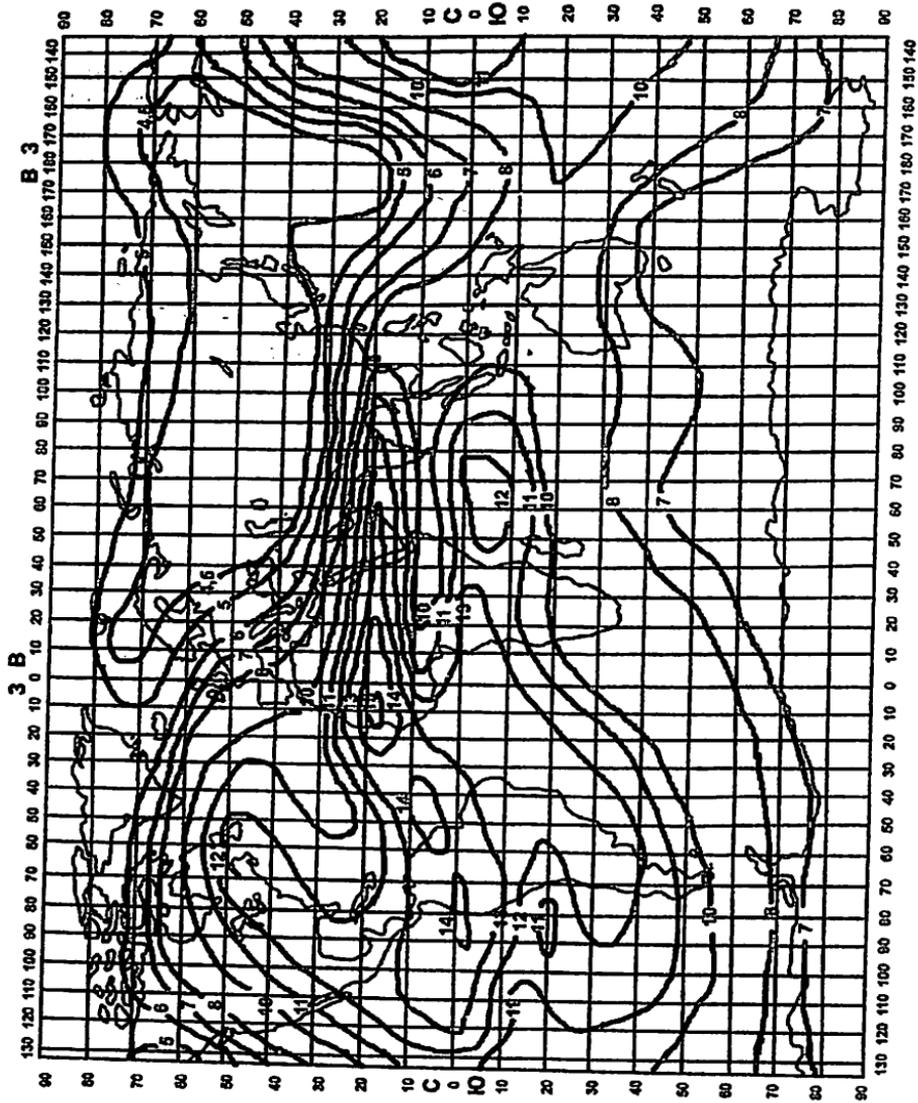
Прогноз F2-0-МПЧ на декабрь 8 часо в Московского дискретного времени



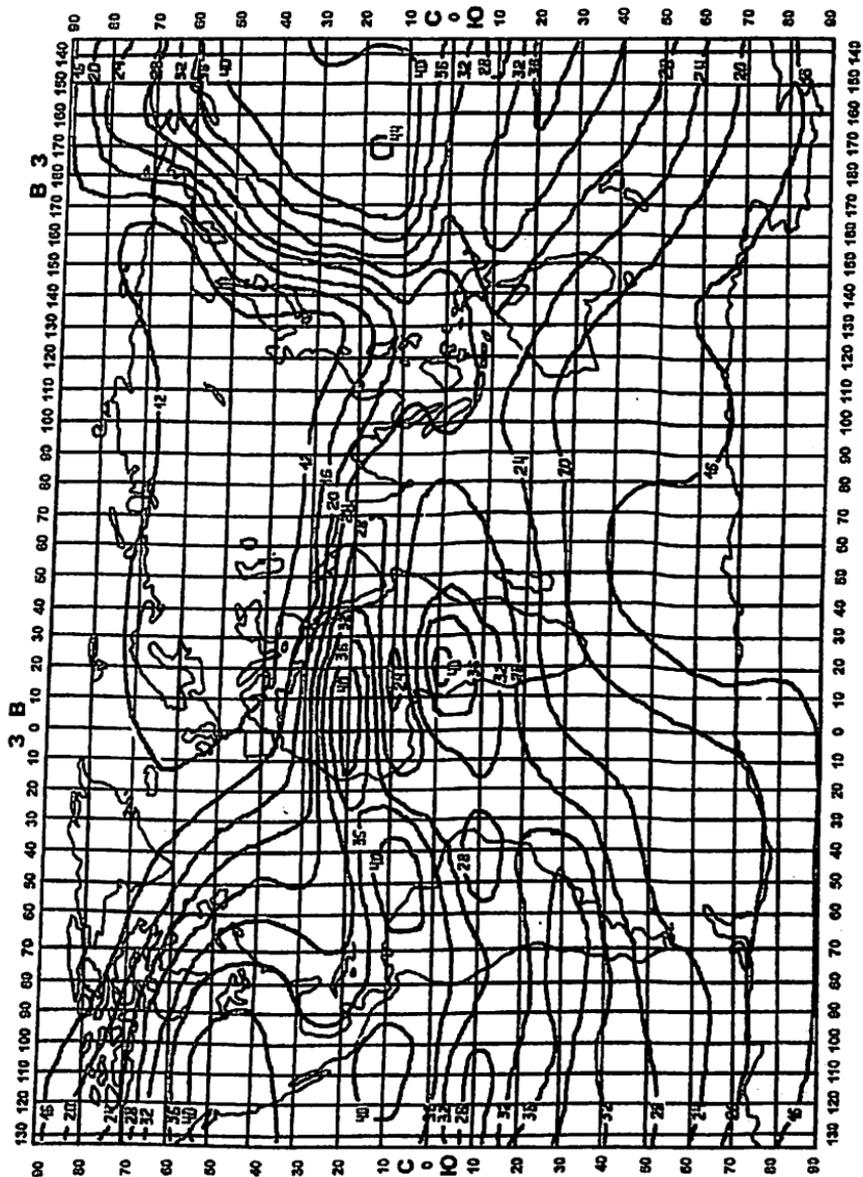
Прогноз F2-0-МПЧ на декабрь 12 час в Московского дискретного времени



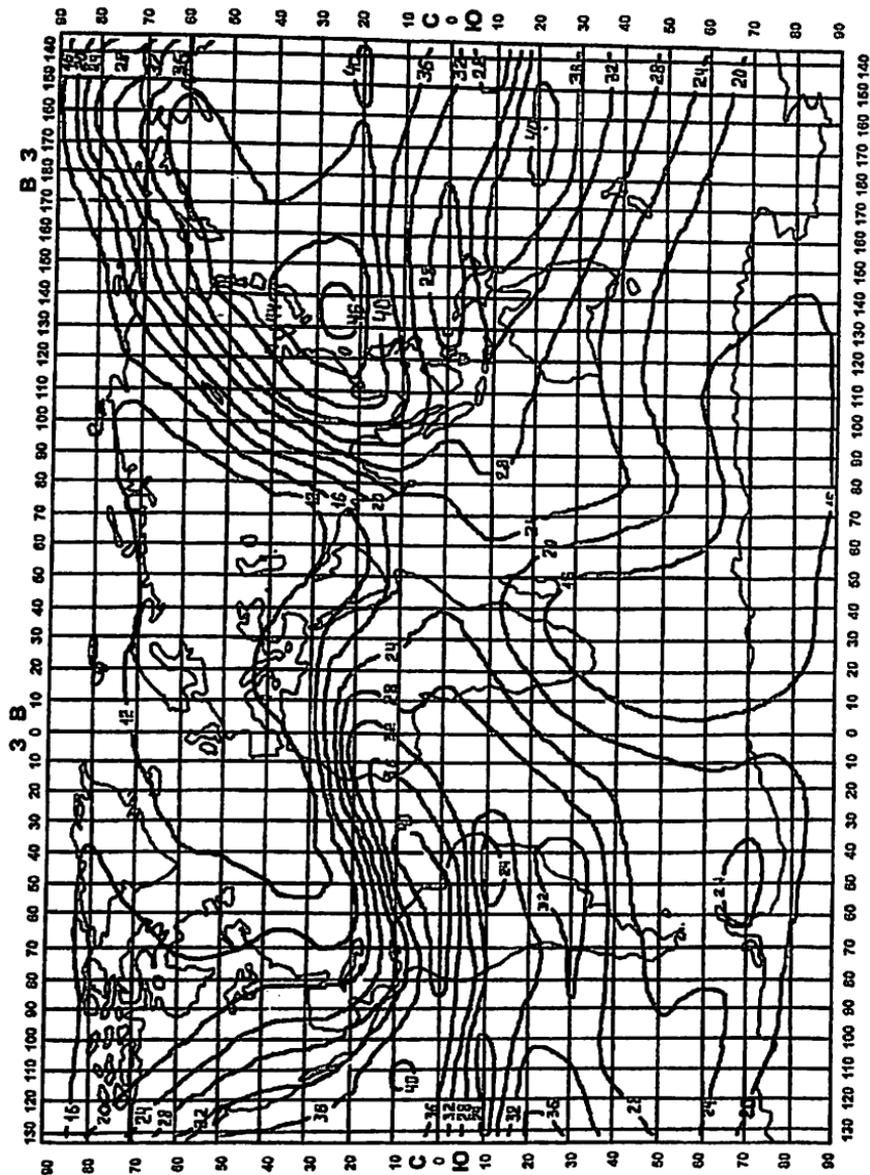
Прогноз F2-0-МПЧ на декабрь 16 часо в Моско вского дискретно го времени



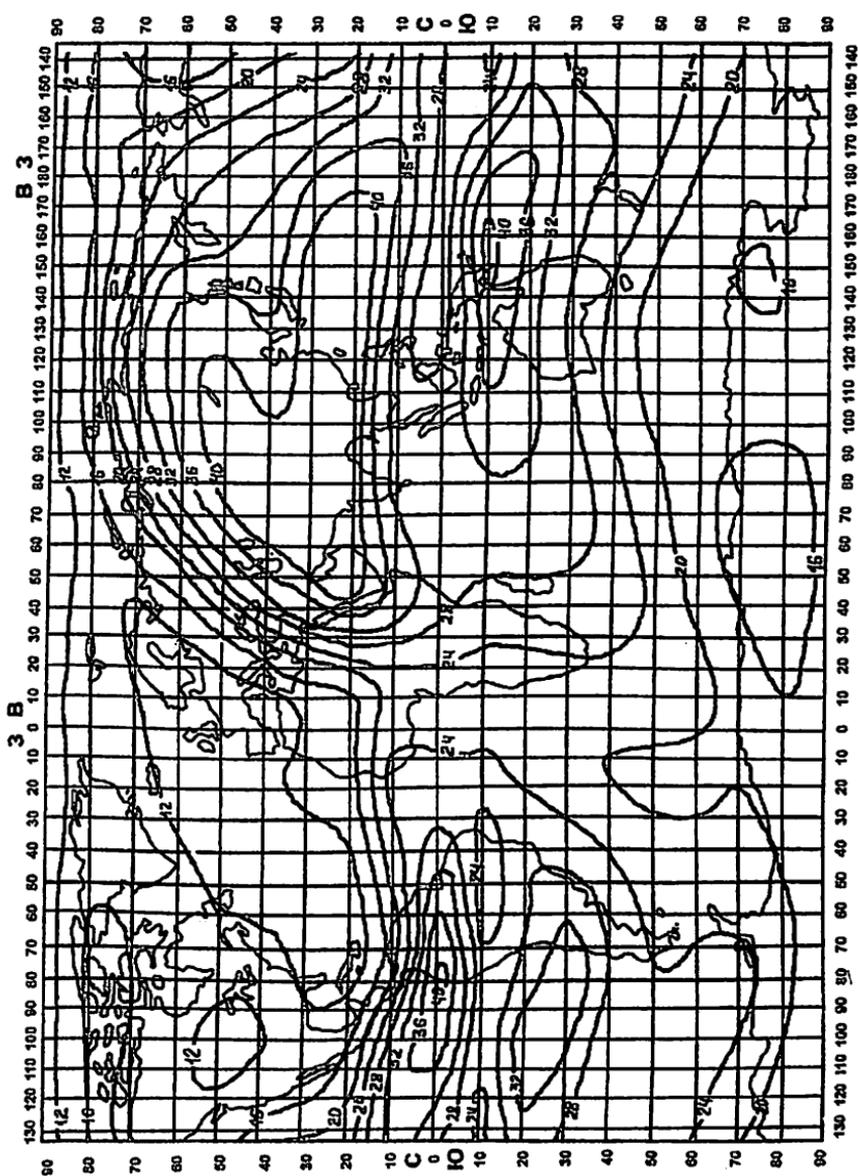
Прогноз F2-0-МПЧ на декабрь 20 час в Московского дискретного времени



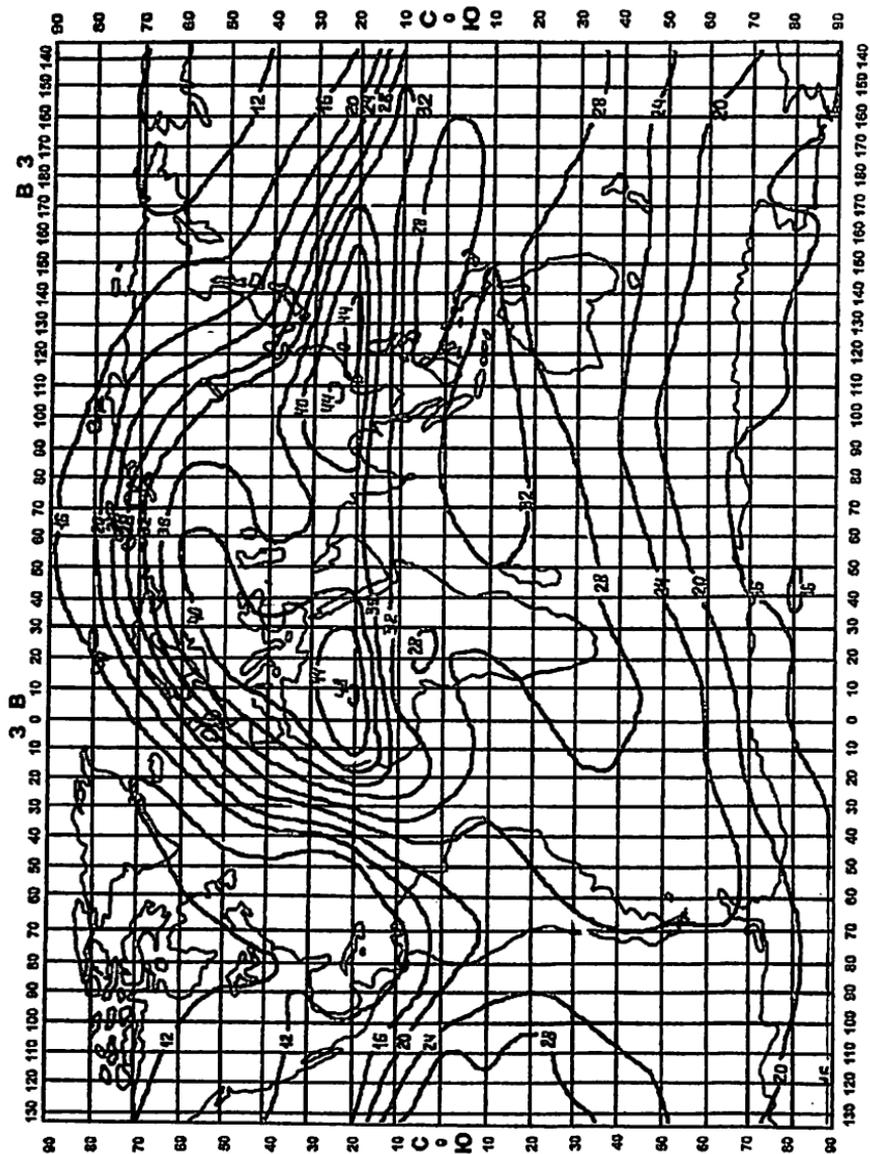
Прогноз F2-4000-МПЧ на декабрь 0 часом в Моско вско го дискретного времени



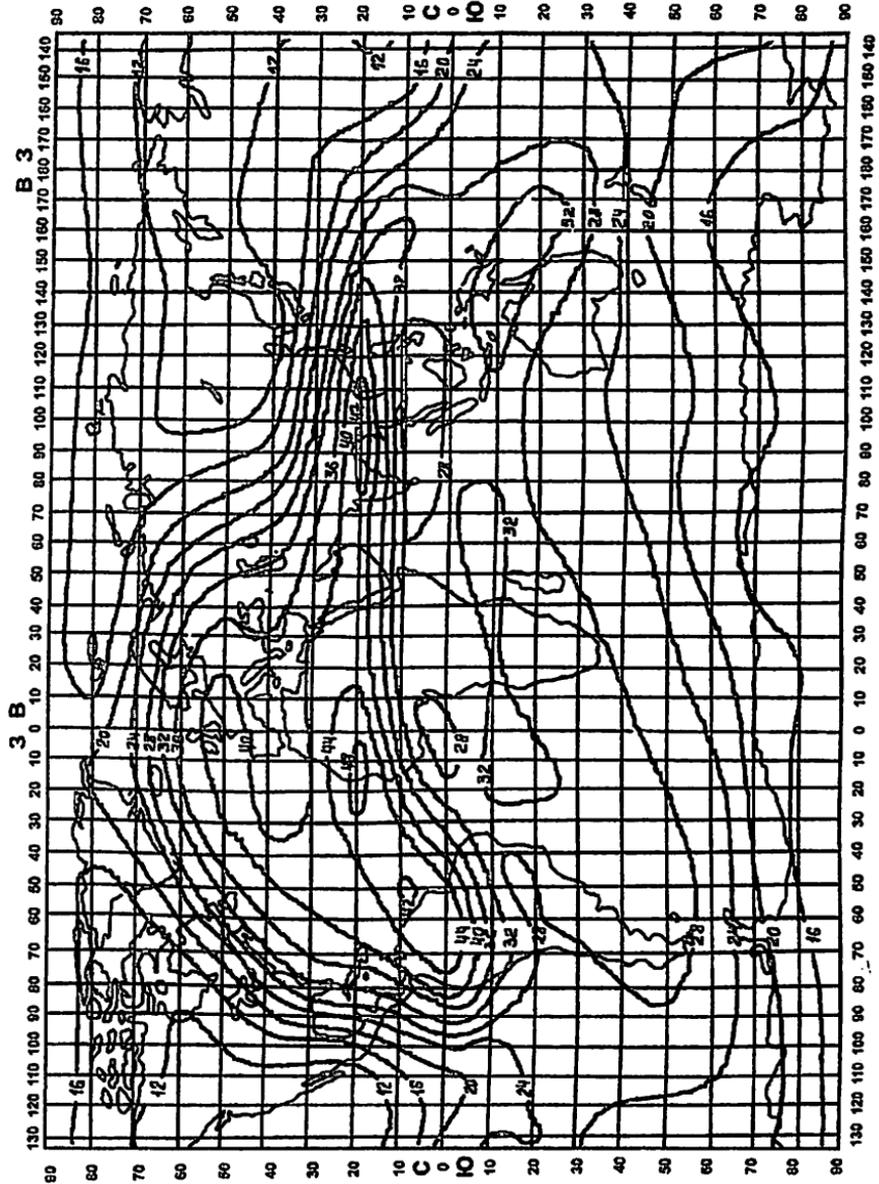
Прогноз F2-4000-МПЧ на декабрь 4 часа Московского дискретного времени



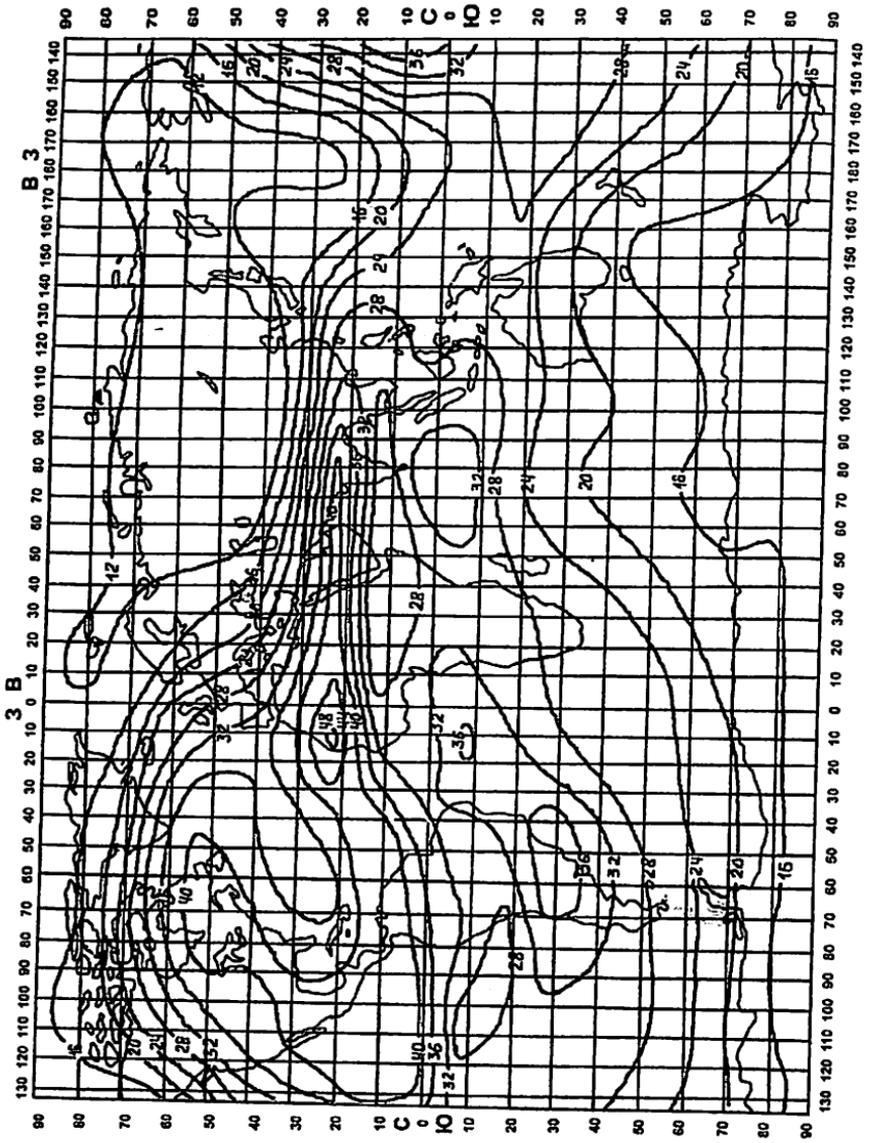
Прогноз F2-4000-МПЧ на декабрь 8 часо в Моско вского дискретного времени



Прогноз F2-4000-МПЧ на декабрь 12 часов в Московского дискретного времени



Прогноз F2-4000-MПЧ на декабрь 16 часо в Московско го дискретногo времени



Прогноз F2-0-МПЧ на декабрь 20 часов Московского дискретного времени

3

Список литературы

1. Кочержевский Г.Н. Антенно-фидерные устройства. – М.: Связь, 1972.
2. Кочержевский Г.Н., Ерохин Г.А., Козырев Н.Д. Антенно-фидерные устройства – М.: Радио и связь, 1989
3. Кочержевский Г.Н. Антенно-фидерные устройства. – М.: Радио и связь, 1981.
4. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. – М.: Связь, 1972.
5. Черенкова Е.Л., Чернышев О.В. Распространение радиоволн – М.: Радио и связь, 1984
6. Ерохин Г.А., Чернышев О.В. и др. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн. – М.: Радио и связь, 1996
7. Ликонцев Д.Н. Антенно-фидерные устройства. Конспект лекций. – Т.: ТУИТ, 2002

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН И
АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА.
ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИХ
ВЫПОЛНЕНИЮ** рассмотрены на
заседании кафедры АФУ 28.01.2008 г.
(протокол № 18) и рекомендованы к печати.

Рассмотрено на Научно-методическом
Совете ТУИТ (протокол 9 от 22.05.2008г.) и
рекомендовано к печати.

Составитель доц. Ликонцев Д.Н.
Отв. редактор доц. Ликонцев Д.Н.
Редакционно-корректорная
комиссия:

Редактор доц. Абдуазизов А.А.
Корректор ст. преп. Павлова С.И.

1 O'QUV ZALI

Формат 60x84 1/16

Заказ № - 570 . Тираж - 50

Отпечатано в Издательско полиграфическом
центре «ALQASHI» при ТУИТ
Ташкент ул. Амир Темура, 108