

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІІ РЕ ФРЕТ

(повне найменування інституту, назва факультету)

Радіотехніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

Магістр

(рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему Побудова антени для цифрового
тепловачення

Виконав: студент 6 курсу, групи РТ213М
спеціальності (напряму підготовки)

172 Телекомунікацій та радіотехн
(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Кривко В. А

(прізвище та ініціали)

Керівник Док. К. М. Т. Дмитренко В. П

(прізвище та ініціали)

Рецензент Карпук І. М

(прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя
2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет ІІ РЕ, ФРЕТ
 Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) Магістр
 Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
 (код і назва)
 Напрямок підготовки ОПП Радіотехніка
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Моршавка С.В. К.Т.Н. доз.
 "10" "12" 2018 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Гришко Владислав Анатолійович
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Побудова антени для цифрового телебачення

керівник проекту (роботи) Дмитренко Віктор Іванович КНТ доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "31" 10 2018 року № 305

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10.12.2018

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Тип поляризації - лінійна горизонтальна; тип антени - брусковидна антена; КНД та ширина ДН в обох площинах - брусковидна антена для мережі зони виведення прийому; тип генеризації - високотемпературний аналіз можливих ситуацій

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Розподіл спектру частот цифрового ТБ; 2. Визначення втраченої частоти поширення сигналу; 3. Обґрунтування вибору типу та параметрів антени, можливі зменшення загартів; 4. Визначення поляризаційних явищ та висновки антени; 5. математична модель для дослідження антени; 6. векторні розрахунки, варіанти антени; 7. вимоги розділу

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презентація

5. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Виконав. розрах.	Остапенко В.В. доцент	Ост	Ост
О.П	Жоробко О.В. ст викладач	Жоробко 03.10.18	Жоробко 28.11.18
І-ІV	Димітренко В.П.	Димітренко	Димітренко
Норми Конкр	Мороз Т.В.	Мороз	Мороз

Дата видачі завдання 19 січня 2018

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Ознайомлення з завданням. Підбір літератури	1 тиждень	
2	Будівельне напруження дослідження	1 тиждень	
3	Вибір траси пошуків	1 тиждень	
4	Вибір деполаризації	1 тиждень	
5	Вибір математичної моделі	3 тижні	
6	Електричні розрахунки	3 тижні	
7	Формування ПЗ	2 тижні	
8	Виконання презентації	1 тиждень	
9	Техніко-економічне обґрунтування	1 тиждень	
10	Розділ охорони праці безпеки водозабезпечення	1 тиждень	
11	Залежність ПЗ на графічному чині на першу	1 тиждень	

Студент

Жоробко
(підпис)

Жоробко В.А
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

Димітренко
(підпис)

Димітренко В.П.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 107 сторінок, 43 рисунки, 8 таблиць, 9 джерел

Об'єкт дослідження – побутова антена для цифрового телебачення.

Ціль роботи – виявлення переваг та обґрунтування переходу до найпростіших антен спірального типу, придатних для побутового прийому програм цифрового телебачення.

Метод дослідження – електродинамічний аналіз, вибір варіанту, розрахунок параметрів.

Перший розділ присвячено огляду різновидів дротових антен, які за своїми властивостями та параметрами придатні для організації цифрового телебачення на побутовому рівні.

В другому розділі розглянуто питання аналізу дротових антен на електродинамічному рівні.

Третій розділ – використання можливостей універсального обчислювального комплексу WinWire для дослідження дротових антен спірального типу.

Четвертий розділ – чисельне дослідження дротових антен за їх спрямованими та поляризаційними властивостями.

В п'ятому та шостому розділах розглянуто економічні аспекти, питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

ЦИФРОВЕ ТЕЛЕБАЧЕННЯ, СПРЯМОВАНІСТЬ, ДЕПОЛЯРИЗАЦІЯ,
ПАРАМЕТРИ ТРАСИ, ПОБУТОВА АНТЕНА СПІРАЛЬНОГО ТИПУ

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ.....	8
ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 КРИТЕРИИ ВЫБОРА АНТЕННЫ И ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ ЕЁ ПАРАМЕТРОВ.....	11
1.1 Распределение спектра радиочастот.....	11
1.2 Частотный план каналов дециметрового диапазона ТВ.....	12
1.3 Зоны приема волн дециметрового диапазона.....	14
1.4 Учет сферичности Земли.....	16
1.5 Приближенный расчет параметров антенны.....	17
1.6 Бытовая антенна типа «волновой канал».....	22
1.7 Особенности спектров сигналов цифрового телевидения.....	23
1.7.1 Сигналы с модуляцией типа QAM.....	23
1.7.2 Сигналы САР-64.....	24
1.8 Дальняя зона поля излучения для излучателя.....	25
1.9 Учет поляризационных эффектов.....	26
1.9.1 Явление деполяризации.....	26
1.9.2 Поляризационные характеристики приёмных антенн.....	27
1.9.3 Характерные случаи поляризационных соотношений.....	28
2 ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТИПА АНТЕННЫ.....	30
2.1 Принцип работы двойной спиральной антенны.....	31
2.2 Оценочный расчет граничных параметров антенны.....	33
2.3 Перспективы дальнейших исследований.....	35
2.3.1 Плоские спиральные структуры.....	35
2.3.2 Зигзагообразные антенные структуры.....	37
3 ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПРОВОЛОЧНЫХ АНТЕНН.....	39
3.1 Общая информация.....	39
3.2 Расчет полей.....	41

	6
3.3 Решение интегральных уравнений.....	43
3.4 Расчет матрицы взаимных сопротивлений элементов сеточной модели.....	45
3.5 Расчет токов в пассивных излучателях.....	48
3.6 Короткое описание программы численного расчета.....	49
3.6.1 Ввод исходных данных для расчета.....	50
3.6.2 Вывод рассчитанных данных.....	51
4 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ.....	54
4.1 Трехдиректорная антенна типа «волновой канал».....	54
4.2 Расчет антенны типа «волновой канал» в среде WinWire.....	56
4.3 Антенна на основе одиночной объёмной спиральной структуры.....	59
4.4 Расчет вариантов спиральных антенн в среде WinWire.....	62
4.4.1 Двойная СА типа цилиндр-конус.....	62
4.4.2 Тройная СА типа цилиндр – цилиндр-конус.....	63
4.4.3 Двойная СА типа цилиндр-цилиндр.....	65
4.5 Исследование согласования двойной СА.....	69
4.6 Исследования возможностей уменьшения габаритов ДСА.....	71
4.6.1 Отражатели с малой парусностью.....	74
5 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ.....	76
5.1 Планирование научно-исследовательской работы	76
5.2 Определение расходов на проведение эксперимента	78
5.2.1 Расчет основной заработной платы.....	78
5.2.2 Расчет дополнительной заработной платы.....	79
5.2.3 Отчисления на ЕСВ.....	79
5.2.4 Определение затрат на материалы.....	79
5.2.5 Расходы на специальное оборудование.....	80
5.2.6 Расчет накладных расходов.....	83
5.3 Расчет экономической эффективности НИР	84
6 ОХРАНА ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.....	87
6.1 Анализ потенциальных опасностей.....	87

	7
6.2 Мероприятия по обеспечению техники безопасности.....	88
6.3 Мероприятия по обеспечению производственной санитарии и гигиене труда.....	91
6.4 Мероприятия по пожарной безопасности.....	97
6.5 Мероприятия по обеспечению безопасности в ЧС.....	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	106
ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК.....	107

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

ДН	–	диаграмма направленности
ДПСА	–	двойная плоская спиральная антенна
ДСА	–	двойная спиральная антенна
ДСК	–	декартова система координат
ИУ	–	интегральное уравнение
ИУП	–	интегральное уравнение Поклинктона
КНД	–	коэффициент направленного действия
КУ	–	коэффициент усиления
МО	–	множитель ослабления
ПОВ	–	плоская однородная волна
ПСА	–	плоская спиральная антенна
СА	–	спиральная антенна
ЦСК	–	цилиндрическая система координат
ЭМВ	–	электромагнитная волна
ЭМИ	–	элементарный магнитный излучатель
ЭЭВ	–	элементарный электрический излучатель
ЭМВ	–	электромагнитная волна
ЭМП	–	электромагнитное поле

ВВЕДЕНИЕ

В Украине произведен переход на телевидение в цифровом формате, поэтому аналоговое телевидение в большинстве случаев отключено. Эпоха аналогового телевидения была характерна тем, что можно было выделить два основных типа абонентов, которые, использовали радиоканал (эфирный канал):

- индивидуальные;
- коллективные.

И у тех и у других источником телевизионного сигнала служит антенна, свойства которой во многом определяют качественные параметры и надежность телевидения.

Индивидуальные пользователи проживают в очень разных условиях по отношению к передающему телевизионному центру. В наиболее плохих условиях находятся абоненты, которые проживают на границе зоны уверенного приёма или даже за её пределами. Это в основном относится к жителям удалённых сёл или малых городов и посёлков (в том числе и дачных), которые получали телевизионный сигнал, как правило, от телецентра своей области, а иногда – недалеко расположенного .

В крупных городах, а это чаще всего областные центры, распространенным способом приёма были или системы коллективного пользования (коллективные антенны), или системы кабельного телевидения.

При переходе на цифровое телевидение в наихудшем положении оказались индивидуальные пользователи, т.к. для приёма цифровых программ с использованием аналогового телеприёмника обязательным атрибутом является тюнер. Задача тюнера – преобразование цифрового сигнала, которым производит вещание телецентр, в аналоговый сигнал, который «понятен» подавляющему большинству бытовых телевизионных приёмников, которые находятся в эксплуатации у «рядового» абонента.

Практически не ощутили перехода к цифровому телевидению, кроме явного улучшения цветного изображения на экране своего телевизора, жители

крупных городов. Дело в том, что в крупных городах телевидение в подавляющем большинстве осуществляется операторами кабельного телевидения. Операторы кабельного телевидения, с помощью своей аппаратуры, принимают сигнал в цифровом формате и либо преобразующего, при необходимости, в аналоговый формат и передают по кабельной сети, либо передают по кабельной сети в цифровом формате.

Дальнейшее развитие телевизионного вещания поставило перед абонентами непростые задачи по качеству приёма новых телевизионных программ. Жители “спальных” районов городов чаще всего охвачены системами кабельного телевидения, что в значительной мере решает эту проблему, а вот жители пригородных поселков и тем более сел остались с проблемой дециметрового диапазона “Сам на сам”. Таким образом, желание иметь “ВСЕ ПРИНИМАЮЩУЮ АНТЕННУ” для многих телезрителей остается актуальной задачей. Ширина полосы частот одного ТВ канала (по стандарту МОРТ) 8 МГц, разнос между несущими частотами сигналов изображения и звукового сопровождения составляет 6,5 МГц. Для грамотного выбора антенны необходимо учесть достаточно большое количество самых различных факторов.

Для организации вещания в цифровом формате используется дециметровый диапазон.

1 КРИТЕРИИ ВЫБОРА АНТЕННЫ И ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ ЕЁ ПАРАМЕТРОВ

1.1 Распределение спектра радиочастот

В соответствии с регламентом радиосвязи [1], принятым Международным консультативным комитетом по радио (МККР), весь спектр частотных диапазонов разбит на 12 частотных полос. Для радио спектра рекомендовано 8 частотных полос (с 4 по 12), параметры которых приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1 – Радиоспектр частотных диапазонов

№ по- лосы	Диапазон частот	Условное обо- значение полос	Метрическое название	Название полосы в литературе
4	3...30 КГц	ОНЧ (VLF)	Мириаметровые	Сверхдлинные (СДВ)
5	30...300 КГц	НЧ (LF)	Километровые	Длинные (ДВ)
6	0,3...3 МГц	СЧ (MF)	Гектометровые	Средние (СВ)
7	3...30 МГц	ВЧ (HF)	Декаметровые	Короткие (КВ)
8	30...300 МГц	ОВЧ (VHF)	Метровые	Ультракор (УКВ)
9	0,3...3 ГГц	УВЧ (SHF)	Дециметровые	Ультракор (УКВ)
10	3...30 ГГц	СВЧ (SHF)	Сантиметровые	Ультракор (УКВ)
11	30...300 ГГц	КВЧ (EHF)	Миллиметровые	Ультракор (УКВ)
12	300...3000 ГГц	ГВЧ	Децимиллиметровые	Ультракор (УКВ)

Для организации ТВ в «классическом аналоговом» варианте выделена часть 8-й (метровой) полосы. Количество ТВ каналов – 12. Ширина полосы одного ТВ канала (по стандарту МОРТ) 8 МГц, разнос между несущими частотами сигналов изображения и звукового сопровождения составляет 6,5 МГц. Принятые этим стандартом частотные параметры ТВ каналов метрового диапазона приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2 – Частотный план ТВ каналов в метровой полосе

№ ТВ канала	$\lambda_{\text{ср}} \text{ канала, м}$	$f_{\text{ср}} \text{ канала, МГц}$	Полоса частот канала, МГц
1	5,72	52,5	48,5-56,5
2	4,84	62	58-66
3	3,75	80	76-84
4	3,41	88	84-92
5	3,13	96	92-100
6	1,69	178	174-182
7	1,61	186	182-190
8	1,55	194	190-198
9	1,49	202	198-206
10	1,43	210	206-214
11	1,38	218	214-222
12	1,33	226	222-230

1.2 Частотный план каналов дециметрового диапазона ТВ

Частотный план каналов дециметрового диапазона приведен в табл. 1.3.

Таблица 1.3 – Частотный план каналов с 21 по 80

№ ТВ канала	$\lambda_{\text{ср}}$ канала, м	$f_{\text{ср}}$ канала, МГц	Полоса частот канала, МГц	Частота несущей, МГц	
				Изображения	Звук
1	2	3	4	5	6
21	0,632	474,6	470 – 478	471,25	477,75
22	0,622	482,5	478 – 486	479,25	485,75
23	0,612	490,5	486 – 494	487,25	493,75
24	0,602	498,5	494 – 502	495,25	501,75
25	0,592	506,5	502 – 510	503,25	509,75
26	0,583	514,5	510 – 518	511,25	517,75
27	0,574	522,5	518 – 526	519,25	525,75
28	0,566	530,5	526 – 534	527,25	533,75
29	0,557	538,5	534 – 542	535,25	541,75
30	0,549	546,5	542 – 550	543,25	549,75
31	0,541	554,5	550 – 558	551,25	557,75
32	0,533	562,5	558 – 566	559,25	565,75
33	0,526	570,5	566 – 574	567,25	573,75
34	0,519	578,5	574 – 582	575,25	581,75

Продолжение таблицы 1.3

1	2	3	4	5	6
35	0,512	586,5	582 – 590	583,25	589,75
36	0,505	594,5	590 – 598	591,25	597,75
37	0,498	602,5	598 – 606	599,25	605,75
38	0,491	610,5	606 – 614	607,25	613,75
39	0,485	618,5	614 – 622	615,25	621,75
40	0,479	626,5	622 – 630	623,25	629,75
41	0,473	634,5	630 – 638	631,25	637,75
42	0,467	642,5	638 – 646	639,25	645,75
43	0,461	650,5	646 – 654	647,25	653,75
44	0,456	658,5	654 – 662	655,25	661,75
45	0,450	667,5	662 – 670	663,25	669,75
46	0,445	674,5	670 – 678	671,25	677,75
47	0,440	682,5	678 – 686	679,25	685,75
48	0,435	690,5	686 – 694	687,25	693,75
49	0,430	698,5	694 – 702	695,25	701,75
50	0,425	706,5	702 – 710	703,25	709,75
51	0,420	714,5	710 – 718	711,25	717,75
52	0,415	722,5	718 – 726	719,25	725,75
53	0,411	730,5	726 – 734	727,25	733,75
54	0,406	738,5	734 – 742	735,25	741,75
55	0,402	746,5	742 – 750	743,25	749,75
56	0,398	754,5	750 – 758	751,25	757,75
57	0,393	762,5	758 – 766	759,25	765,75
58	0,389	770,5	766 – 774	767,25	773,75
59	0,385	778,5	774 – 782	775,25	781,75
60	0,381	786,5	782 – 790	783,25	789,75
61	0,378	794,5	790 – 798	791,25	797,75
62	0,374	802,5	798 – 806	799,25	806,75
63	0,370	810,5	806 – 814	807,25	813,75
64	0,367	818,5	814 – 822	815,25	821,75
65	0,363	826,5	822 – 830	823,25	829,75
66	0,359	834,5	830 – 838	831,25	837,75
67	0,356	842,5	838 – 846	839,25	845,75
68	0,353	850,5	846 – 854	847,25	853,75
69	0,349	858,5	854 – 862	855,25	861,75
70	0,346	866,5	862 – 870	863,25	869,75
71	0,343	874,5	870 – 878	871,25	877,75
72	0,340	882,5	878 – 886	879,25	885,75
73	0,337	890,5	886 – 894	887,25	893,75
74	0,334	898,5	894 – 902	895,25	901,75
75	0,331	906,5	902 – 910	903,25	909,75
76	0,328	914,5	910 – 918	911,25	917,75
77	0,325	922,5	918 – 926	919,25	925,75
78	0,322	930,5	926 – 934	927,25	933,75
79	0,319	938,5	934 – 942	935,25	941,75
80	0,317	946,5	942 – 950	943,25	949,75

При внедрении системы цифрового телевидения в настоящее время выделено 4 дециметровых каналов – 31, 43, 49, 57 (полоса частот каждого канала 8 МГц) в каждом из которых транслируется 8 цифровых каналов (всего 32 цифровых канала) с системой кодирования КАМ – 64, которая позволяет передавать в одном символе 8 бит цифровой информации.

Таким образом, нижнюю частоту f_H диапазона выберем 550 МГц (нижнее значение частоты канала 31), а верхнюю частоту диапазона f_B выберем 766 МГц, т.е. полоса частот 216 МГц (верхнее значение частоты канала 57). Как видно из этих данных, требования к ширине рабочей полосы частот приемной антенны будут существенно меньше, чем в классическом “аналоговом” ТВ. Полученные данные будут исходными для дальнейших расчетов, которые посвящены обоснованию параметров бытовой антенны для цифрового телевидения.

1.3 Зоны приема волн дециметрового диапазона

Земля имеет форму сфероида, а дециметровые волны распространяются, в основном, в пределах прямой видимости. Поскольку относительная диэлектрическая проницаемость тропосферы убывает с высотой, наблюдается явление рефракции – траектория искривляется с преимущественным её отклонением в сторону Земли. С учётом рефракции дальность радиовидимости r увеличивается примерно на 15% по сравнению с оптической дальностью приёма (прямой видимости) и определяется по формуле:

$$r \approx 4.1 \cdot (\sqrt{H} + \sqrt{h}), \text{ Км}, \quad (1.1)$$

где H – высота установки передающей антенны, м;

h – высота установки приёмной антенны, м.

В Запорожье высота установки передающей антенны $H \approx 165$ м.

Если ориентироваться на абонента, живущего в индивидуальном (чаще всего в наших реалиях одноэтажном) доме, то следует принять высоту установки приемной антенны $h \approx 6.5$ м. Тогда дальность радиовидимости по формуле (1.1) при установке приёмной антенны выше конька дома составит:

$$r = 4.1 \cdot (\sqrt{165} + \sqrt{6.5}) \approx 63.1 \text{ Км}$$

Следует учесть, что в условиях “дачного” приёма ТВ, антенну стараются спрятать под крышу, т. е. располагать ее на чердаке. Эта мера может хоть в какой-то степени уберечь владельцев дома от воровства, т.к. наличие антенны «демаскирует» и наличие самого телевизора в доме. При этих условиях в методику дальнейших расчетов следует вносить поправку за счет влияния материала кровли (шифер, черепица, один или несколько слоев рубероида) и его влажности на уровень сигнала в точке приёма. В таких условиях могут проявляться и эффекты деполяризации на границе раздела воздух – покрытие крыши дома.

В ближней зоне (несколько километров от передающей антенны), напряженность поля характеризуется большой неравномерностью в виде периодических максимумов, обусловленных интерференцией в точке приема между прямой и отраженной от поверхности Земли радиоволнами. При установке антенны необходимо учитывать, что напряженность поля в точке приёма изменяется так, как показано на графиках, изображенных на рис. 1.2.

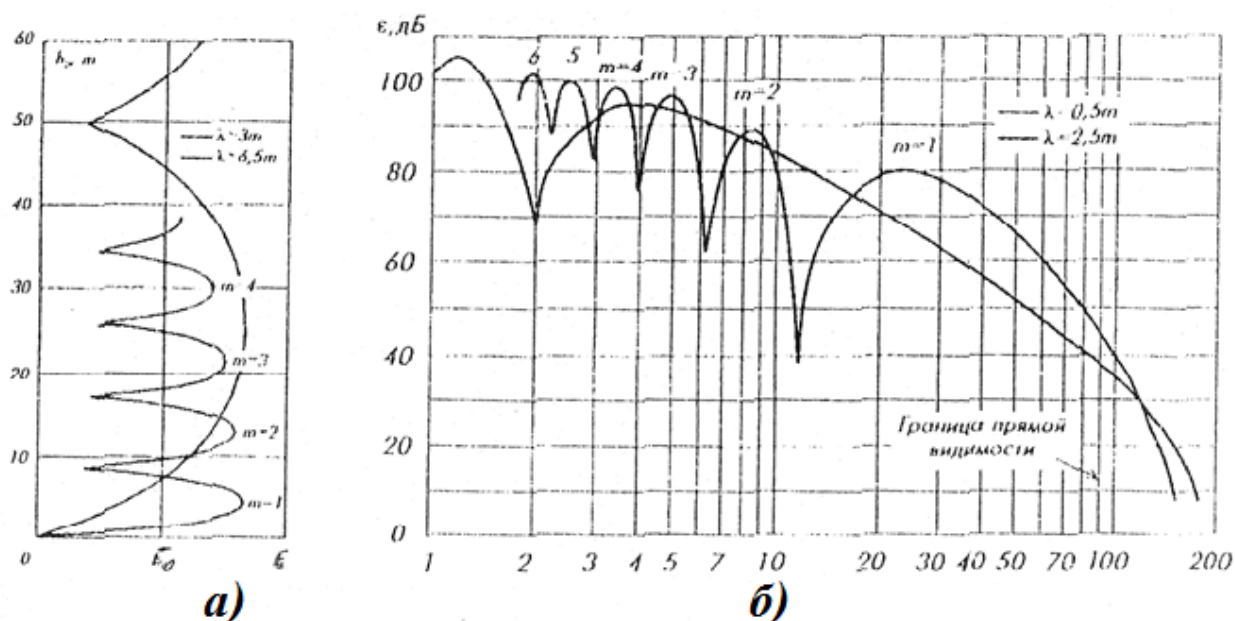
Высоту первого ($m = 1$ на рис. 1.1 а) ближайшего к земле интерференционного максимума h_{m1} , м можно определить на расстояниях до 25 Км по формуле:

$$h_{m1} = \lambda \cdot R/4 \cdot H \quad , \quad (1.2)$$

где λ – длина волны, м;

R – расстояние между передающей и приемной антеннами, м;

H – высота передающей антенны, м.



а) зависимость от высоты; б) зависимость от расстояния

Рисунок 1.1 – Расположение интерференционных максимумов

Естественным будет желание установить приемную антенну в интерференционный максимум (по высоте), но это далеко не всегда удаётся, т.к. с увеличением расстояния R , значение h_{m1} резко увеличивается. Например, при $H = 165$ м и $R = 10$ Км на $\lambda = 0,5$ м величина h_{m1} составит $h_{m1} \approx 7,5$ м, а уже при $R = 20$ Км величина h_{m1} составит уже 15 м, что в условиях индивидуального дома уже не всегда удаётся реализовать. Распределение интерференционных максимумов в зависимости от расстояния рассмотрим позже.

1.4 Учет сферичности Земли

Для расстояния R не более 25 Км, т.е. $R < 25$ Км земную поверхность можно считать плоской и для расчета напряженности поля E , мВ/м в точке приёма пользоваться квадратичной формулой Введенского:

$$E = 2,18 \cdot H \cdot h \cdot \sqrt{P \cdot G \cdot \eta} / (\lambda \cdot R^2), \quad (1.3)$$

где R – расстояния между телецентром и абонентом, Км;

P – мощность, излучаемая антенной передающего центра, кВт;

G – коэффициент усиления передающей антенны;

η – КПД передающей антенны;

H – высота передающей антенны, м;

h – высота приемной антенны над окружающей местностью, м;

λ – длина волны, м.

При расстоянии $R > 25$ км в (1.3) необходимо вводить поправочный коэффициент m , который определяется из графика, приведенного на рис. 1.2. Для пользования этим графиком необходимо предварительно найти величины отношений R/r и $\sqrt{h/H}$, где величина r определяется по (1.1).

Формулу (1.3) можно применять при $R \leq 0,8r$ и соблюдении неравенства.

$$\frac{H \cdot h \cdot m}{R \cdot \lambda} \leq 0,1. \quad (1.4)$$

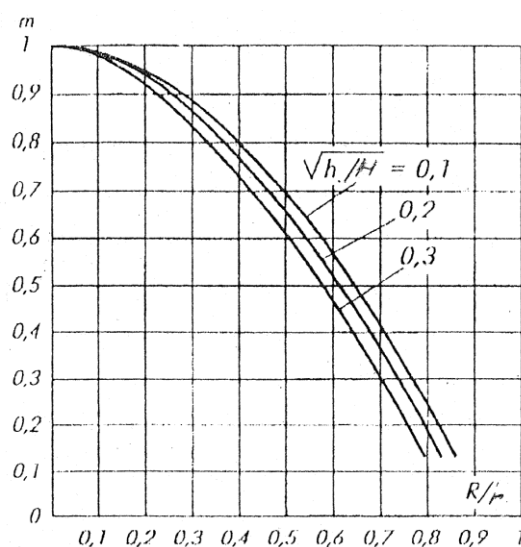


Рисунок 1.2 – График для определения коэффициента m

1.5 Приближенный расчет параметров антенны

Проводя расчеты, сопутствующие выбору антенны, надо учитывать чувствительность телевизионного приёмника $U_{\min}$, которая для дециметрового диапазона при условии приёма ТВ программ с цветным изображением равна

$U_{\min}=430\text{мкВ}$ [11]. В тоже время, при расчетах трассы, например по формуле (1.3) используется величина напряженности E электрического поля в точке приёма. Для перехода от U_k E применяют понятие действующей высоты l_g приёмной антенны, которая вводится соотношением:

$$l_g = \frac{U}{E}. \quad (1.5)$$

Тогда, определив каким-либо образом величину l_g , по значению $U_{\min}$ легко определяется и $E_{\min}$, которое уже сравнивается с ранее рассчитанным значением E на данной трассе для некоторой, уже выбранной приёмной антенной. Приём ТВ программы считается возможным, если $E > E_{\min}$.

В расчетах по формулам типа (1.3) и аналогичным используется параметр G – коэффициент усиления антенны. По определению, величина G есть:

$$G = D \cdot \eta, \quad (1.6)$$

где D – коэффициент направленного действия (КНД) антенны;

η – КПД антенны.

Для проволочных антенн дециметрового диапазона $\eta \approx 1$ (обычно $\eta \approx 0,95$).

КНД характеризует направленные свойства антенны и представляет число, показывающее, во сколько раз мощность сигнала, принятого направленной антенной, больше мощности, которую примет эталонная антенна. КНД зависит от значений величин ширины диаграммы направленности в меридиональной Φ_θ и экваториальной Φ_φ плоскостях и приближенно определяется по формуле:

$$\text{КНД} = \frac{41200 \cdot K}{\Phi_\theta \cdot \Phi_\varphi}. \quad (1.7)$$

Часто величину КНД определяют в дБ.

$$\text{КНД}_{\text{дБ}} = 10 \lg \text{КНД}.$$

Значение величины коэффициента K в (1.7) зависит от типа эталонной антенны. Если она изотропна (абсолютно ненаправленная), то $K = 1$, если же это полуволновой вибратор, то $K = 1/1,6$, если КНД в дБ, то необходимо вычесть 2,14 дБ. Это вызвано тем, что собственный КНД полуволнового вибратора (как эталонной антенны) уже будет $\text{КНД}_{\lambda/2} = 1,64$ или 2,14 дБ.

Значение действующей длины антенны l_g , м связано с коэффициентом усиления G и входным сопротивлением $R_{\text{вх}}$, Ом антенны соотношением [5]:

$$l_g = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{G \cdot \frac{R_{\text{вх}}}{73,1}} , \quad (1.8)$$

где λ – длина волны, м.

Входное сопротивление $\dot{Z}_{\text{вх}}$ антенны – это параметр, который характеризует ее импедансные свойства в точке питания (место подсоединения фидера снижения).

$$\dot{Z}_{\text{вх}} = R_{\text{вх}} + jX_{\text{вх}} \quad (1.9)$$

Это комплексная величина и чем меньше $X_{\text{вх}}$, а $R_{\text{вх}}$ ближе к волновому сопротивлению $Z_{\text{в}}$ фидера, тем лучше антенна согласована. Невыполнение условия согласования приводит к двум главным эффектам:

- повторы цветного изображения на экране телевизора по горизонтали;
- снижение эффективности передачи мощности от антенны к фидеру.

Степень согласования оценивается коэффициентом стоячей волны КСВ или обратным ему коэффициентом бегущей волны КБВ.

$$\text{КСВ} = 1/\text{КБВ} = \frac{1+|\Gamma_{\text{н}}|}{1-|\Gamma_{\text{н}}|} \quad (1.10)$$

где $\Gamma_{\text{н}}$ – коэффициент отражения.

Величина $\Gamma_{\text{н}}$ рассчитывается по формуле:

$$\Gamma_{\text{н}} = \frac{\dot{Z}_{\text{вх}} - Z_{\text{в}}}{\dot{Z}_{\text{вх}} + Z_{\text{в}}} \quad (1.11)$$

где $Z_{\text{вх}}$ и $Z_{\text{в}}$ уже определены выше.

Решая (1.10) относительно $|\dot{\Gamma}_{\text{н}}|$, получим:

$$|\dot{\Gamma}_{\text{н}}| = \frac{\text{КСВ}-1}{\text{КСВ}+1} = \frac{1-\text{КБВ}}{1+\text{КБВ}}, \quad (1.12)$$

а, решая (1.11) относительно $Z_{\text{вх}}$, аналогично получим:

$$\dot{Z}_{\text{вх}} = Z_{\text{в}} \cdot \frac{1+\dot{\Gamma}_{\text{н}}}{1-\dot{\Gamma}_{\text{н}}} \quad \text{или} \quad \frac{\dot{Z}_{\text{вх}}}{Z_{\text{в}}} = \frac{1+\dot{\Gamma}_{\text{н}}}{1-\dot{\Gamma}_{\text{н}}} \quad (1.13)$$

По нормам [11] допускается значение КБВ в кабеле $\text{КБВ} \geq 0,5$, тогда $\text{КСВ} \leq 2$. Для оценки допустимого отклонения $\dot{Z}_{\text{вх}}$ от $Z_{\text{в}}$ (при согласовании $\dot{Z}_{\text{вх}}=Z_{\text{в}}$), найдем по формуле (1.12) допустимое значение $|\dot{\Gamma}_{\text{н}}|$.

$$|\dot{\Gamma}_{\text{н}}| \leq \frac{2-1}{2+1} = \frac{1}{3}.$$

Допустим, что в (1.9) реактивная составляющая входного сопротивления $X_{\text{вх}} = 0$, тогда $\dot{Z}_{\text{вх}} = R_{\text{вх}}$, т.е. входное сопротивление чисто активное. При это из (1.12) получим:

$$\frac{R_{\text{вх}}}{Z_{\text{в}}} \leq \frac{1+1/3}{1-1/3} \leq 2$$

Таким образом, для получения $\text{КСВ} < 2$ в кабеле, входное сопротивление антенны может отклоняться от волнового сопротивления кабеля не более, чем в 2 раза. Для снижения обычно используется коаксиальный телевизионный кабель марки РК – 75 с волновым сопротивлением $Z_{\text{в}} = 75$ Ом. При этом входное сопротивление антенны $R_{\text{вх}}$ антенны должно быть ограничено сверху величиной $R_{\text{вх}} < 150$ Ом. Аналогично можно определить и ограничение снизу $R_{\text{вх}} > 37,5$ Ом.

Если $\dot{Z}_{\text{вх}}$ – величина комплексная, то анализ существенно усложняется. Обозначим $A = \text{Re}(\dot{\Gamma}_{\text{н}})$, $B = \text{Im}(\dot{\Gamma}_{\text{н}})$, тогда $\dot{\Gamma}_{\text{н}} = A + jB$ и из (1.13) получим:

$$\frac{Z_{BX}}{Z_B} = \frac{1+A+jB}{1-A-jB} = \frac{R1+jB}{R2-jB}.$$

Здесь $R1 = 1+A$; $R2 = 1 - A$. После несложных преобразований получим:

$$\frac{Z_{BX}}{Z_B} = \frac{1-A^2-B^2}{(1-A)^2+B^2} + j \frac{2B}{(1-A)^2+B^2} = R + jX \quad (1.14)$$

Для нахождения $|\dot{\Gamma}_H|$ по (1.12) надо найти модуль и фазу (1.14):

$$\frac{|Z_{BX}|}{Z_B} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

и фазу

$$\Phi = \arctg \frac{X}{R},$$

а далее действовать аналогично.

Исследования входного сопротивления произвольных проволочных антенн посредством решения интегральных уравнений является сложной задачей. Необходимо отметить, что использование интегральных уравнений может дать хорошие результаты только в случае применения реальной математической модели, описывающей не только излучатель, но и цепи его возбуждения. Во всех остальных случаях основным источником ошибок определения входного сопротивления антенны, а особенно его реактивной составляющей, является “тонкопроволочное” приближение. Вместе с тем, необходимо подчеркнуть, что для оценки изменения входного сопротивления антенны в зависимости от геометрии излучающей структуры, либо от условий возбуждения антенны, первостепенное значение имеет даже не абсолютное значение входного сопротивления, а характер его изменения. Поэтому можно ограничиться некоторым полученным решением, отказавшись от “точного” значения входного сопротивления антенны. В данном случае под “точным” значением надо понимать входное сопротивление, полученное с удовлетворительной точностью, так как действительно точного, со строго

математической точки зрения, ни одно из известных в вычислительной электродинамике (в настоящее время) типов интегральных уравнений дать не может.

1.6 Бытовая антенна типа «волновой канал»

В быту для приёма в подавляющем большинстве находила применение антенна типа «волновой канал» (Уда-Яги). Её эскиз приведен на рис.1.3 а.

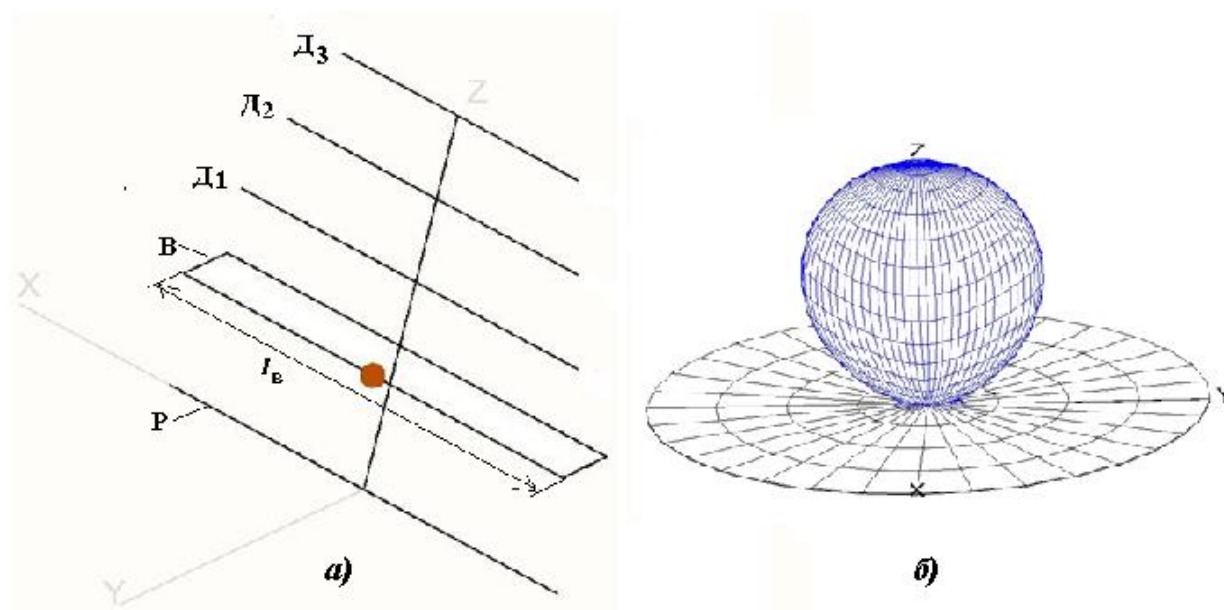


Рисунок 1.3 – Бытовая антенна типа «волновой канал»

Здесь Р – рефлектор;

В – активный вибратор (шлейф-вибратор Пистолькорса);

Д1...Д3 – директоры. Длина активного вибратора.

Поперечный размер антенны в целом выбирается порядка $l_B \approx \lambda/2$. Это типичная «резонансная антенна» с достаточно узкой полосой рабочих частот; её ДН изображена на рис.1.1 б (для центральной частоты). Для расширения полосы рабочих частот поперечное сечение элементов антенны необходимо увеличивать до размера порядка десятков мм, т.е. выполнять из медных трубок диаметром 15...25 мм. Но даже при таких размерах не удавалось обеспечить требуемый для метрового диапазона ТВ коэффициент перекрытия по частоте

$K_D = f_{\text{макс}}/f_{\text{мин}} = 230/48,5 = 4,74$. Исходя из этого, для перекрытия всего диапазона метрового ТВ от $f_{\text{мин}} = 48,5$ МГц до $f_{\text{макс}} = 230$ МГц приходилось использовать две антенны такого типа: одну для каналов с 1 по 5 с $K_{D1} = f_{\text{макс}}/f_{\text{мин}} = 100/48,5 = 2,06$, а другую – для каналов с 6 по 12 с $K_{D2} = f_{\text{макс}}/f_{\text{мин}} = 230/174 = 1,32$. Естественно, применялось и два симметрирующе – согласующих устройства в виде полуволновых петель (U-колена) из коаксиального кабеля и, соответственно, два коаксиальных кабеля снижения; антенны располагались по высоте в виде «двухэтажной» конструкции. Необходимо отметить, что $\lambda/2$ петля (симметрирующе – согласующее устройство) – это также принципиально резонансный элемент для каждой из этих антенн и его наличие также способствует проявлению «резонансных» свойств антенны этого типа.

1.7 Особенности спектров сигналов цифрового телевидения

Рассмотрим на примере формирования сигналов с модуляцией типа QAM-64.

1.7.1 Сигналы с модуляцией типа QAM

Модуляция QAM соединила в себе последние достижения модуляционной технологии. Здесь используется многопозиционная квадратурная амплитудно-фазовая модуляция с 4 дискретами по амплитуде, которые находятся в дискретной фазовой квадратуре (дискретное изменение фазы на $\pi/2$ при каждом переходе). В результате создаётся сигнал QAM-64, который несёт в себе 6 бит информации (64 кодовых состояния) в каждом такте. Модуляционная диаграмма этого сигнала приведена на рис. 1.4.

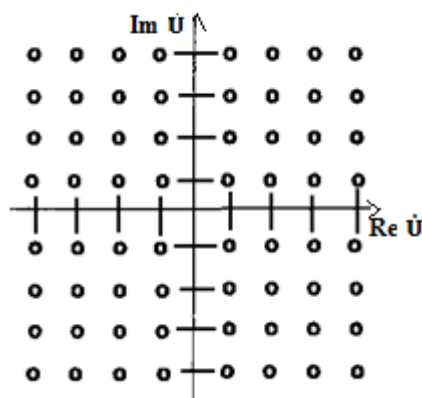


Рисунок 1.4 – Модуляционная диаграмма сигнала QAM-64

С целью уменьшения требований к частотной полосе для передачи, при модуляции применяют систему передачи одной боковой полосы (ОБП) и получают сигнал САР-64.

1.7.2 Сигналы САР-64

При формировании сигнала типа САР-64 нижняя боковая полоса и несущая «вырезаются» и передаётся только верхняя боковая полоса (рис. 1.5). В приёмнике с помощью микропроцессора производится восстановление несущей.

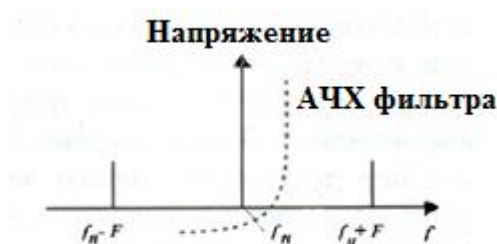


Рисунок 1.5 – Создание сигнала ОБП (частотный план)

Для организации цифрового телевидения используются сигналы типа САР-256, где за один такт передаётся 8 бит цифровой информации. Следствием повышения информативности многопозиционных сигналов явилось

существенное уменьшение ширины спектра сигнала, что само по себе уже является большим преимуществом при организации сети цифрового телевидения.

1.8 Дальняя зона поля излучения для излучателя

Модели большей части применяемых на практике антенн можно представить либо в виде отрезка провода с некоторым меняющимся во времени током $\dot{I}(t)$ – проволочная антенна (рис. 1.6 а), либо в виде элемента волнового фронта с некоторым распределением $\dot{E}(t)$ или (и) $\dot{H}(t)$ – апертурная антенна (рис. 1.6 б). Для примера рассмотрим модель некоторого излучателя в виде отверстия S в бесконечном экране (рис. 1.6 б). Пусть на это отверстие слева падает плоская волна. Эта волна на отверстии диффрагирует и создаёт поле переизлучения, но это поле приобретает характер плоской волны (а только при этом условии можно говорить о диаграмме направленности антенны) только на некотором расстоянии r_D от источника

$$r_D \geq 2L^2/\lambda \quad (1.15)$$

Здесь L – максимальный размер антенны.

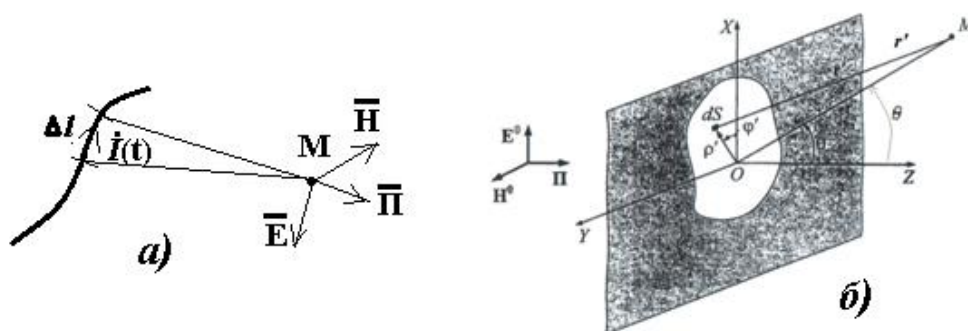


Рисунок 1.6 – К определению дальней зоны излучателя

В зоне, где выполняется условие $r > r_d$, как раз и формируются направленные и поляризационные свойства антенны; эта зона ещё называется дальней зоной или зоной дифракции Фраунгофера.

1.9 Учет поляризационных эффектов

1.9.1 Явление деполяризации

Электромагнитная волна, переносящая энергию цифрового телевизионного сигнала, по рекомендациям МККР должна иметь линейную горизонтальную поляризацию. Но исследования показывают, что на трассе распространения сигнала возможна деполяризация ЭМВ (изменение её поляризационных характеристик и параметров), что может привести даже к поляризационной развязке (рис. 1.7).

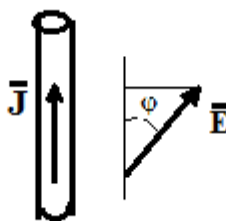


Рисунок 1.7 – К рассмотрению явления деполяризации

Здесь $\vec{J}$ – вектор плотности тока в антенне.

Когда угол $\varphi = \pi/2$, тогда ток, наводимый в антенне $J = 0$; этот эффект эквивалентен дополнительной потере мощности принимаемого сигнала и, естественно, его желательно избежать. Для решения этой задачи приемная антенна должна быть «нечувствительной» к значению угла наклона плоскости поляризации «набегающей» на нее ЭМВ (напомним, что по рекомендации МККР она должна иметь линейную поляризацию).

Для решения этой задачи в дальнейшем будем использовать антенны не только с линейной, но и с круговой (в общем случае эллиптической)

поляризацией, поэтому рассмотрим явления поляризационной развязки более внимательно.

1.9.2 Поляризационные характеристики приёмных антенн

Поляризацию приёмной антенны обычно характеризуют [7] поляризацией поля, создаваемого этой антенной в режиме передачи. При этом, естественно, поляризационные характеристики данной антенны в режиме передачи и приёма одинаковы (принцип взаимности для антенн).

Поляризационная согласованность приёмной антенны по отношению к набегающей волне характеризуется коэффициентом поляризационной согласованности

$$\gamma_{\text{пол}} = \frac{P_{\text{пр } o}}{P_{\text{пр } o}}, \quad (1.15)$$

где $P_{\text{пр } o}$ – оптимальная мощность в приёмной антенне при полном поляризационном согласовании;

$P_{\text{пр } o}$ – оптимальная мощность в приёмной антенне при поляризационном рассогласовании.

Антенны, имеющие $\gamma_{\text{пол}} = 1$, называются поляризационно полностью согласованными, а при $\gamma_{\text{пол}} = 0$ – поляризационно полностью развязанными. Общий случай поляризационных соотношений иллюстрируется рис. 1.8 а. На рис. 1.8 б показан вид на эллипсы поляризаций со стороны антенны 1.

Коэффициент $\gamma_{\text{пол}}$ зависит от коэффициентов эллиптичности $K_{\text{Э1}}$ и $K_{\text{Э2}}$ антенн 1 и 2 и от угла $\Delta\gamma$ между осями их поляризационных эллипсов (рис. 1.8 б). Полное поляризационное согласование ($\gamma_{\text{пол}} = 1$) достигается только в трех случаях:

- чисто круговой поляризации падающего поля и приёмной антенны при одинаковых направлениях вращения;
- линейной поляризации при параллельных плоскостях поляризации;

– эллиптической поляризации при $K_{Э1} = K_{Э2}$ и параллельных больших осях эллипсов ($\Delta\gamma=0$).

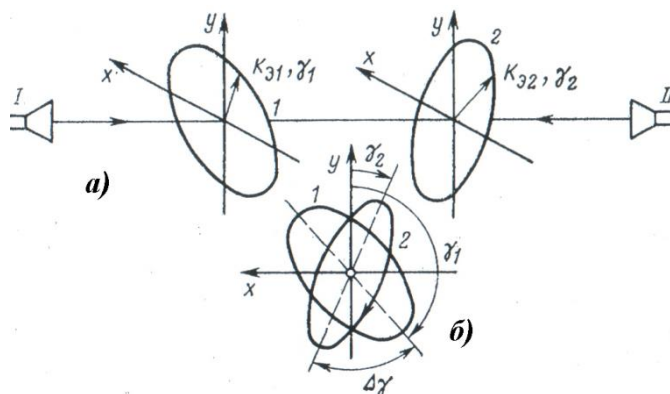


Рисунок 1.8 – К рассмотрению поляризационных характеристик

При любых соотношениях между $K_{Э1}$ и $K_{Э2}$ наилучшее поляризационное согласование получается при $\Delta\gamma=0$, а наихудшее – при $\Delta\gamma=\pi/2$. Здесь $K_{Э}$ – коэффициент эллиптичности (отношение длины малой полуоси эллипса к длине большой).

1.9.3 Характерные случаи поляризационных соотношений

На рис. 1.9 показаны эллипсы поляризации для характерных поляризационных ситуаций в радиолиниях. Приведем их параметры:

а) $K_{Э1} = K_{Э2} = 0$, $\Delta\gamma = 0$, $\gamma_{пол} = 1$;

б) $K_{Э1} = K_{Э2} = 0$, $\Delta\gamma = \pi/2$, $\gamma_{пол} = 0$;

в) $K_{Э1} = 0$, $|K_{Э2}| = 1$, $\gamma_{пол} = 0,5$;

г) $K_{Э1} = K_{Э2} = 1$, $\gamma_{пол} = 1$;

д) $K_{Э1} = K_{Э2} = 1$, $\gamma_{пол} = 0$;

е) $K_{Э1} = K_{Э2}$, $\Delta\gamma = 0$, $\gamma_{пол} = 1$;

ж) $K_{Э1} = -K_{Э2}$, $\Delta\gamma = 0$. $\gamma_{пол} = \frac{(1+K_{Э2}^2)^2}{(1-K_{Э2}^2)^2}$;

з) $K_{Э1} = -K_{Э2}$, $\Delta\gamma = \pi/2$, $\gamma_{пол} = 0$.

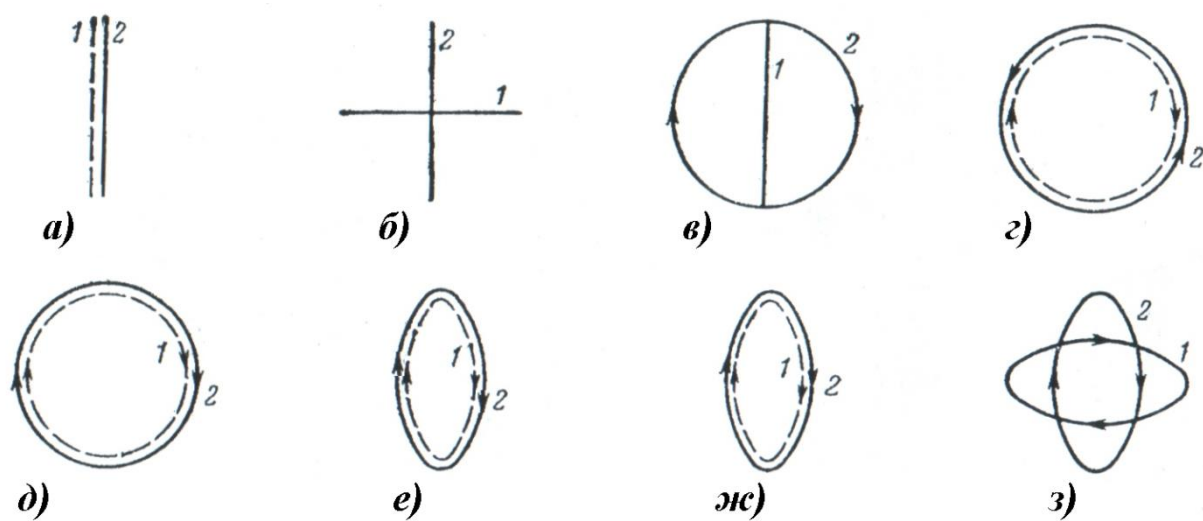


Рисунок 1.9 – Характерные поляризационные ситуации в радиопереносах

Эти параметры будем в дальнейшем учитывать при рассмотрении конкретных случаев явлений деполяризации.

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 1

Резюмируя выше изложенное, при выборе типа антенны необходимо рассматривать три главных аспекта:

- направленные свойства (отсюда геометрические параметры);
- входное сопротивление (решение задачи согласования);
- поляризационные свойства (учет деполяризации ЭВМ на трассе распространения и возможность поляризационного рассогласования).

Особо следует отметить необходимость учета влияния деполяризации сигнала на качественные параметры телевидения, когда приём ведется на границе зоны прямой видимости или в зоне полутени. Здесь запаса по мощности сигнала уже нет и любые случайные колебания параметров трассы (например тропосферные воздействия типа дождя, снега или тумана) могут привести к сбою телевидения. Особенно следует учитывать влияние сильного дождя или града.

Деполяризация может проявиться и при установке антенны под крышей, особенно при применении гидроизолирующих элементов с достаточно большой толщиной, например, слой асфальта.

2 ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТИПА АНТЕННЫ

Электромагнитная волна, переносящая энергию цифрового телевизионного сигнала, по рекомендации МККР должна иметь линейную горизонтальную поляризацию. Но исследования, проведенные в разделе 1 настоящей работы, показывают, что на трассе распространения сигнала возможна деполяризация ЭМВ, что может привести к поляризационной развязке; этот эффект эквивалентен дополнительной потере мощности принимаемого сигнала и, естественно, его желательно избежать. Для решения этой задачи приемная антенна должна быть «нечувствительной» к значению угла наклона плоскости поляризации «набегающей» на нее ЭМВ.

2.1 Принцип работы двойной спиральной антенны

Как известно, спиральная антенна (СА) излучает ЭМВ с круговой поляризацией, причем направление вращения плоскости поляризации определяется направлением намотки спирали. Рассмотрим эффекты, возникающие при комбинировании двух СА с противоположными направлениями навивки спиралей.

Комплексный вектор ЭМВ с левой круговой поляризацией описан следующим соотношением:

$$\dot{\vec{E}} = (\overline{e_x} + j\overline{e_y}) \cdot E_x \cdot e^{j\varphi_x} \quad (2.1)$$

Комплексный вектор ЭМВ с правой круговой поляризацией описан следующим соотношением:

$$\dot{\vec{E}} = (\overline{e_x} - j\overline{e_y}) \cdot E_x \cdot e^{j\varphi_x} \quad (2.2)$$

Сложим (2.1) и (2.2) (это ЭМВ с круговыми поляризациями противоположных направлений вращения) и получим:

$$2\dot{\vec{E}} = 2\overline{e_x} \cdot E_x e^{j\varphi_x} \quad (2.3)$$

Соотношение (2.3) соответствует выражению для комплексной амплитуды линейно поляризованной волны, в данном случае с вертикальной поляризацией. Это иллюстрирует рис. 2.1.

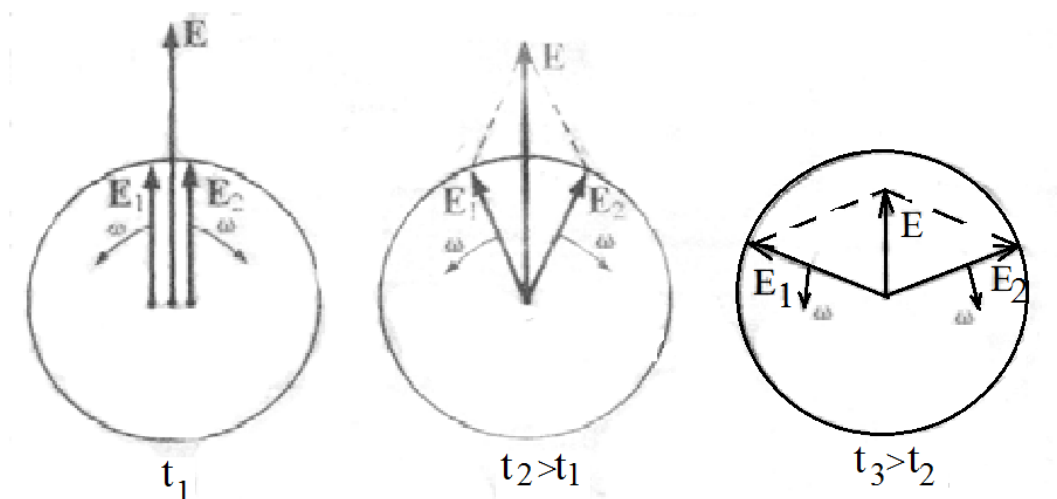


Рисунок 2.1 – Получение волны с линейной поляризацией суперпозицией двух волн с круговой поляризацией

Здесь ω – угловая частота вращения вектора ЭМВ с круговой поляризацией соответствующего направления. Сложение рассмотрено в различные моменты времени t_1 , t_2 , t_3 , причем $t_2 > t_1$ а $t_3 > t_2$. Суммарный вектор E соответствует линейно поляризованной волне с вертикальной поляризацией.

Этот эффект можно использовать для создания антенны с линейной поляризацией путем совмещения (композиции) двух антенн с противоположными круговыми поляризациями. Одним из вариантов антенны, обеспечивающей линейную поляризацию электромагнитной волны (на передаче и на приеме), может служить сдвоенная спиральная антенна (рис. 2.2 а) которая представляет собой совокупность двух спиральных антенн с правым и левым направлениями навивки спиралей. В такой антенне при сдвиге точек питания (точки П и Л на рис. 2.2 а) вправо или влево произойдет сдвиг угла наклона вектора $\vec{E}$ излучаемой ЭМВ. Такая ситуация продемонстрирована на рис. 2.2 б.

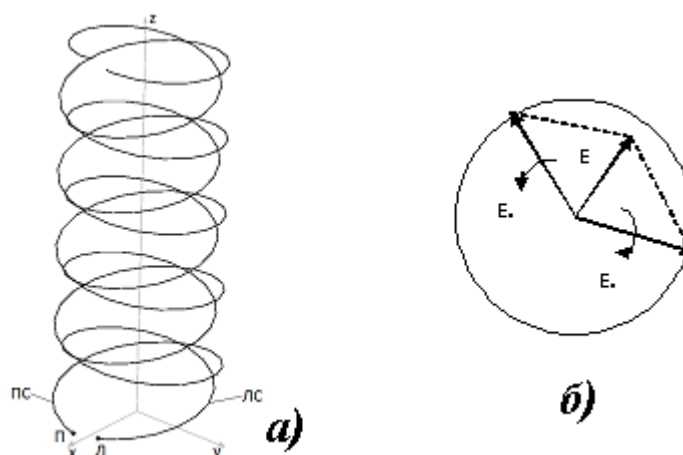


Рисунок 2.2 – Двойная спиральная антенна

В патенте Российской Федерации № 97104206 «Двойная спиральная антенная система» показано, что парциальные спирали с различными направлениями намотки спиралей излучают независимо друг от друга, т.е. такая совокупность обладает свойством ортогональности.

Однако остается открытым вопрос о том, как такое комбинирование повлияет на ДН получающейся двойной СА. Это одна из задач дальнейшего исследования.

2.2 Оценочный расчет граничных параметров антенны

Будем проводить оценку на средней частоте f_{CP} диапазона: $f_{CP}=658\text{МГц}$.

Определим длину волны на средней частоте:

$$\lambda_{CP} = c/f_{CP} = 0.456 \text{ м}$$

Задавая предполагаемые значения коэффициента усиления $G=9$ и входное сопротивление $R_{ВХ}=75 \text{ Ом}$, определим значение действующей высоты:

$$l_g = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{G \cdot \frac{R_{ВХ}}{73,1}} = 0.49 \text{ м}$$

Задавая чувствительность TV приемника $U_{\min} = 430$ мкВ, определим напряженность поля в точке приема:

$$E_{\min} = U_{\min} / l_g = 862 \text{ мкВ/м}$$

Определим величины:

$$\sqrt{\frac{h}{H}} = \sqrt{6.5/165} \approx 0,2 \text{ и } \frac{R}{r} = \frac{50}{63.1} \approx 0,8$$

По графику на рис.1.2 определяем значение коэффициента $m=0,2$.

Из соотношения (1.6) легко получим соотношение для определения коэффициента усиления антенны при известном значении напряженности $E_{\min}$ в точке приема:

$$G = \left(\frac{E_{\min} \cdot \lambda}{R^2 \cdot 2.18 \cdot m \cdot H \cdot h} \right)^2 \cdot \frac{1}{P \cdot \eta} \approx 9.8$$

Учитывая, что для спиральной антенны ширина диаграммы направленности $\Phi_{\theta} \approx \Phi_{\varphi} = \Phi$, для определения величины Φ из (1.10) получим:

$$\Phi = \sqrt{41200/G} \approx 64^\circ$$

На полученные оценочные значения параметров и будем ориентироваться при выборе антенны и расчете ее характеристик.

Как видно из проведенного анализа, требования к диапазонности приемной антенны (ширина рабочей полосы частот) будут существенно меньше, чем в классическом “аналоговом” ТВ при организации приёма 32 каналов дециметрового диапазона длин волн.

Для грамотного выбора антенны необходимо учесть достаточно большое количество факторов. Главные из них:

- полоса частот;
- дальность приема;

- профиль трассы;
- направленные свойства;
- согласование со входом приемника;
- поляризационные свойства;
- возможность установки под крышей индивидуального дома.

2.3 Перспективы дальнейших исследований

Выбранная для исследования и дальнейшего исследования (возможно и использования) двойная спиральная антенна в виде комбинации двух объёмных цилиндрических спиралей с противоположными направлениями навивки парциальных спиралей имеет достаточно большие габариты (хотя и меньшие по сравнению с другими типами антенн). Рассмотрим те разновидности спиральных структур, применение которых позволит уменьшить габариты комбинированной спиральной антенны с линейной поляризацией поля.

2.3.1 Плоские спиральные структуры

Для уменьшения габаритов представляется целесообразным рассмотреть возможность использовать в качестве парциальных спиральных антенн плоские спирали. Для получения двойной спиральной антенны их достаточно разнести по плоскости в пространстве (возможно, и в объёме). Они к тому же более технологичны в изготовлении. Парциальная плоская спиральная антенна может быть образована путем вырезания спиральной ленты из металлического листа. Различают однозаходовые (рис. 2.3 а) и двухзаходовые (рис. 2.3 б) спирали. В зависимости от формы кромок спирали различают архимедову (рис. 2.3 а) и логарифмическую (равноугольную) (рис. 2.3 б) спиральные структуры.

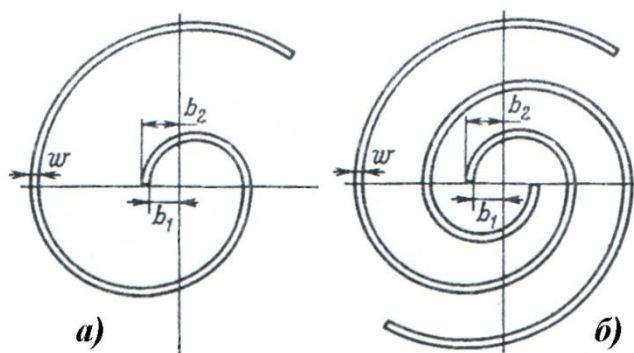


Рисунок 2.3 – Плоские архимедовы спирали

Исследования [9] показали, что параметры двухзаходовых спиральных антенн по ряду критериев (ширина полосы рабочих частот, входное сопротивление и ряд других) отличаются в лучшую сторону по сравнению с однозаходовыми. С другой стороны, применение плоских спиральных структур имеет большее количество «степеней свободы» в плане подбора некоей оптимальной конструкции.

Однако необходимо отметить, что применение двухзаходовых плоских спиральных структур в качестве парциальных элементов для создания двойной спиральной антенны может повлечь за собой дополнительные проблемы, связанные с организацией системы питания как парциальных элементов, так и системы в целом (рис.2.4).

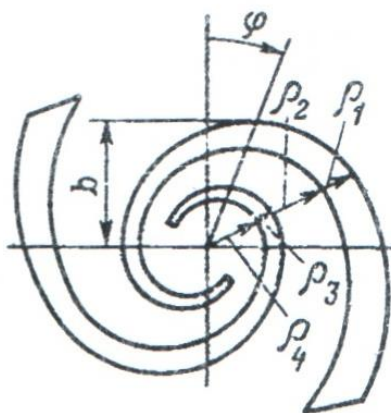


Рисунок 2.4 – Плоская двухзаходовая логарифмическая спираль

2.3.2 Зигзагообразные антенные структуры

На основании оценки потенциальных направленных свойств проволочных излучателей, как показано в работе [10], одними из перспективных являются зигзагообразные излучатели, которые позволяют повысить КНД антенны линейной поляризации при сохранении малых габаритных размеров, например, в $1,5 \dots 3,0$ раза по сравнению с разнообразными видами директорных и логопериодических антенн. На рис. 2.5 изображены эскиз и ДН зигзагообразной антенны. Для того, чтобы оценить возможность применения этой антенны в качестве приёмной для организации цифрового телевидения необходимо провести её исследование в части приёма деполаризованной ЭМВ.

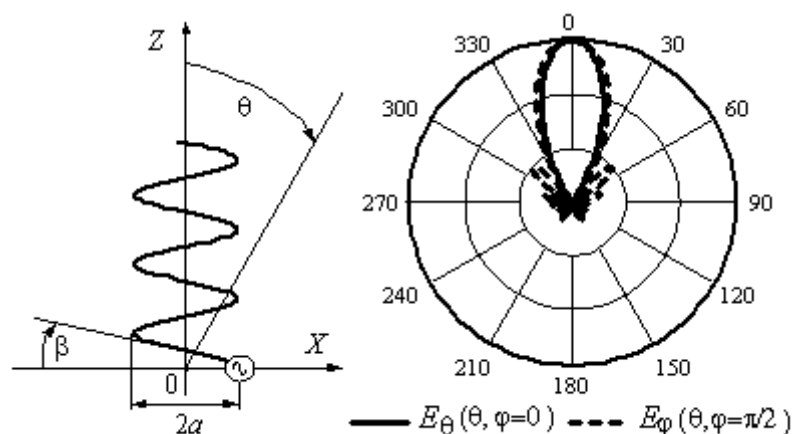


Рисунок 2.5 – К рассмотрению зигзагообразной антенны

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 2

Резюмируя вышеизложенное, при определении направления исследований, имеющих своей целью создать обоснованные предпосылки для выбора типа антенны и расчета ее характеристик, необходимо рассматривать в основном главные требования:

- направленные свойства (отсюда геометрические параметры);
- входное сопротивление (решение задачи согласования);
- поляризационные свойства (учет деполяризации ЭМВ на трассе распространения и возможность поляризационного рассогласования).

Исходя из результатов анализа, предварительно выберем двойную СА.

Кроме того, при расчете параметров необходимо учитывать длину трассы распространения телевизионных сигналов. С этой точки зрения будем разрабатывать антенну с коэффициентом усиления порядка 10 для зоны уверенного приема ($R \approx 50$ км) телевизионных сигналов цифрового телевидения в условиях г. Запорожье и пригородов.

Но анализ поля излучения спиральных структур в электродинамической постановке наталкивается на достаточно большие математические сложности. Это объясняется отсутствием такой системы координат, где спираль представляла бы собой координатную линию. Это обстоятельство вынуждает использовать различные приближенные подходы.

3 ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПРОВОЛОЧНЫХ АНТЕНН

3.1 Общая информация

Весьма важными в антенной технике есть «тонкопроволочные» излучающие структуры и составленные из них антенные решетки. Это связано с широким их распространением во всем освоенном диапазоне радиочастот и имеющимися возможностями их моделирования, в том числе с учетом их установки, которая особенно важна для радиосистем подвижных объектов.

Математическая теория анализа и синтеза антенных систем по обыкновению рассматривает две отдельные задачи:

- решение внешней задачи – определение характеристик излучения по заданным токам (полям) или определение токов (полей) по заданным характеристикам направленности;
- решение внутренней задачи – определение элементов конструкции антенны, устройств возбуждения, распределительных систем и т.д.

Эти две задачи в большинстве случаев рассматриваются независимо. В данное время наиболее полно решена первая задача – задача анализа характеристик антенн. При этом непосредственное применение известных универсальных методов и доступных систем автоматизированного проектирования (САПР) в большинстве случаев разрешает провести анализ лишь ограниченного количества структур. В то же время оптимизация характеристик «тонкопроволочных» антенн требует анализа большого количества разных вариантов излучающих структур, в том числе для обеспечения приемлемой точности расчета конструктивных параметров и электродинамических характеристик.

При анализе конкретных задач проектирования антенн и антенных систем, а также методов их решения, большая роль отводится классу криволинейных проволочных излучателей, к которому можно отнести разные

варианты спиральных антенн, разработка и исследование которых есть одним из перспективных направлений в области антенн. Подобные структуры разрешают сформировать заданную направленность поля излучения с вращающейся поляризацией в широкой полосе частот, а также имеют ряд других преимуществ.

Существующие спиральные антенны можно разделить на плоские и объемные структуры. Объемные спиральные антенны также классифицируются в зависимости от формы поверхности, на которой они расположены: цилиндрические, конические и другие варианты поверхностей.

Однако при их построении и расчете часто идут путем экспериментального моделирования и использования эмпирических зависимостей; такой подход не разрешает предусмотреть и оценить характер изменения направленных и поляризационных свойств поля излучения. Поэтому при конструировании как объемных, так и плоских спиральных излучателей возникают трудности инженерного характера, обусловленные отсутствием достаточно полных аналитических и экспериментальных результатов исследования таких структур, которые разрешают обоснованно выбрать геометрические параметры спирали.

Строгий расчет характеристик спиральных излучателей связан с определенными математическими трудностями, которые обусловлены отсутствием соответствующей системы координат, в которой поверхность проводника спирали точно совпадала бы с координатными поверхностями, и при этом разделились бы переменные в уравнениях Максвелла. В связи с этим предложено большое количество разных приближенных методов, среди которых наибольшее значение имеет метод векторного потенциала, который применяется с использованием известной (предварительно вычисленной или заданной) функции распределения тока вдоль криволинейных проводников. Для вычисления функции распределения тока применяют численные методы решения интегрального уравнения, чаще всего основанные на методе моментов, путем сведения интегрального уравнения к системе линейных

алгебраических уравнений относительно искомых коэффициентов.

Метод векторного потенциала, разрешает свести общие уравнения Максвелла к виду интегральных уравнений относительно функции амплитудно-фазового распределения тока на излучающих проводниках антенны. Главным преимуществом формулирования задачи в представленном виде есть то, что условие излучения и граничные условия естественным образом входят в интегральные уравнения. Это разрешает решать задача излучения (вычисление поля, возбуждаемого заданными источниками) и возбуждения антенн (вычисление амплитудно-фазового распределения тока, входного сопротивления).

3.2 Расчет полей

Один из направлений решения поставленной задачи заключается в переходе от уравнений Максвелла к интегральному уравнению относительно произвольной в общем случае функции распределения тока, например, путем введения вспомогательных функций – векторного $\vec{A}$ и скалярного U потенциалов электромагнитного поля, которые удовлетворяют следующим волновым уравнением:

$$\nabla^2 \vec{A} + k^2 \vec{A} = -\mu \vec{J}; \quad \nabla^2 U + k^2 U = -\rho/\varepsilon. \quad (3.1)$$

Решения уравнений (3.1) имеют вид

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \int_{v_0} \vec{J} G(R) dv; \quad (3.2)$$

$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \int_{v_0} \rho G(R) dv, \quad (3.3)$$

где $G(R) = \exp(-jkR)/R$ – функция Грина для свободного пространства;

k – волновое число свободного пространства;

R – расстояние между точками наблюдения и интегрирование;

v_0 – объем, заполненный излучателем.

Тогда для вектора напряженности электрического поля с использованием условия калибровки Лоренца получим следующее соотношение:

$$\vec{E} = \frac{1}{j\omega\mu\epsilon} \text{rot rot } \vec{A} = -j\omega\vec{A} - j\frac{1}{\omega\mu\epsilon} \text{grad div } \vec{A}. \quad (3.4)$$

Выражение (3.4) описывает электромагнитное поле, создаваемое объемной плотностью электрического тока $\vec{J}$ во всем окружающем данным объеме пространства, в том числе и вблизи его поверхности.

Рассмотрим излучающий проводник произвольной конфигурации, расположенный в однородном изотропном пространстве и возбужденный посторонним источником поля. Будем считать, что проводимость проводника стремится к бесконечности. Это условие физически означает, что ток существует в бесконечно тонком слое на поверхности проводника. Тогда от интеграла по объему v_0 в формуле (3.2) можно перейти к интегралу по поверхности и, соответственно, вектор объемной плотности тока $\vec{J}$ можно заменить вектором поверхностной плотности тока. Следующее предположение, так называемое «тонкопроволочное» приближение, согласно которому цилиндрический проводник, по которому течет ток, имеет малое (в сравнении с длиной волны и длиной проводника) и постоянное вдоль оси поперечное сечение. Это означает, что азимутальная вариация поверхностной плотности тока отсутствует. Тогда поле поверхностного тока, который существует на боковой поверхности кругового цилиндра, эквивалентно полю линейного тока, который протекает по оси проводника.

В результате от выражения (3.4) можно перейти к следующим:

$$\int_s I(s') \left[k^2 G(R) (\vec{s}_0 \vec{s}'_0) - \frac{\partial^2 G(R)}{\partial s \partial s'} \right] ds' = -j \frac{4\pi k}{\sqrt{\mu/\varepsilon}} E_{\text{ст}}, \quad (3.5)$$

Или

$$\int_s \left[I(s') k^2 G(R) (\vec{s}_0 \vec{s}'_0) + \frac{\partial I(s')}{\partial s'} \frac{\partial G(R)}{\partial s} \right] ds' = -j \frac{4\pi k}{\sqrt{\mu/\varepsilon}} E_{\text{ст}}, \quad (3.6)$$

где $\vec{s}_0, \vec{s}'_0$ – единичные орты в направлении оси проводника, соответствующие точкам наблюдения и интегрирование s, s' .

Выражения (3.5) и (3.6) известны в литературе и называются, соответственно, уравнением Поклинктона и уравнением Харрингтона, обобщенными на случай криволинейного проволочного излучателя.

Необходимо отметить, что представленные выше интегральные уравнения являются эквивалентными, однако отличие в форме их представления приводит к разным вычислительным алгоритмам, и как следствие, к разной точности полученных результатов.

3.3 Решение интегральных уравнений

За исключением частных случаев, описанные выше интегральные уравнения не могут быть решены в аналитическом виде. Решение находится тем или другим численным методом путем сведения интегрального уравнения к системе линейных алгебраических уравнений. Существует несколько способов сведения интегрального уравнения к матричному. Ряд из них можно объединить в одну группу под названием «метод моментов», суть которого заключается в следующем. Интегральное уравнение можно записать в обобщенном виде как:

$$Lf = g, \quad (3.7)$$

где L – известный оператор, который действует на функцию f ,
 g – известная функция влияния,
 f – неизвестная функция.

Это уравнение можно свести к матричному путем разложения неизвестной функции f в ряд по базисным функциям ϕ_n , например:

$$f = \sum_{n=1}^N C_n \phi_n, \quad (3.8)$$

где C_n – неизвестные коэффициенты разложения, которые подлежат определению.

Тогда матричное уравнение в методе моментов можно представить в следующем общем виде:

$$\sum_{n=1}^N C_n \langle \chi_m, L \phi_n \rangle = \langle g, \chi_m \rangle, \quad (3.9)$$

где $\langle \dots \rangle$ – соответствующим образом определенное скалярное выражение;
 χ_m – так называемые пробные или весовые функции.

Сравнительные преимущества и недостатки выбора χ_m и ϕ_n определяются степенью сложности предыдущих выкладок, порядком матрицы и характером матричных элементов, которые отвечают разным базисным функциям. Решение матричных уравнений на ЭВМ по обыкновению проводится или обращением матрицы, или методом Гаусса, или методом LU-разложения (известного также как метод Краута).

В данное время существуют стандартные подпрограммы как для обращения матриц, так и для решения систем линейных алгебраических уравнений методами Гаусса или Краута.

3.4 Расчет матрицы взаимных сопротивлений элементов сеточной модели

Элемент Z_{ij} матрицы импедансов физически представляет собой касательную составляющую напряженности электрического поля, наведенную в центре некоторого сегмента с номером i током, текущим в сегменте с номером j . Для вычисления этих матричных элементов нужно вычислить цилиндрические координаты центра сегмента i в системе координат с началом в центре сегмента j и осью z цилиндрической системы координат, параллельной оси сегмента j .

Пусть в декартовой системе координаты центральных точек сегментов i и j равны соответственно (x_i, y_i, z_i) и (x_j, y_j, z_j) , как показано на рисунке 3.1.

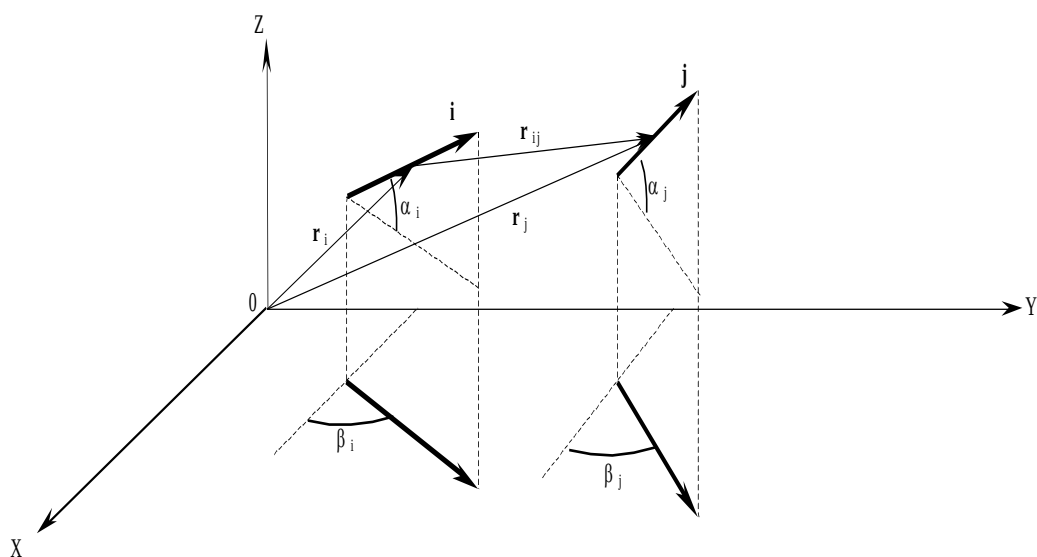


Рисунок 3.1 – Пространственное расположение элементов сеточной модели

Расстояние между этими точками равно:

$$r_{ij} = \sqrt{x_{ij}^2 + y_{ij}^2 + z_{ij}^2}, \quad (3.10)$$

где $x_{ij} = x_i - x_j$, $y_{ij} = y_i - y_j$, $z_{ij} = z_i - z_j$.

Радиус – вектор из точки i в точку j есть:

$$\vec{r}_{ij} = \vec{x}x_{ij} + \vec{y}y_{ij} + \vec{z}z_{ij}. \quad (3.11)$$

Здесь $\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}$ – направляющие орты декартовой системы координат.

Пусть $\vec{i}$ и $\vec{j}$ – единичные векторы, параллельные осям сегментов i и j соответственно. Единичный вектор $\vec{i}$ определяется углом α_i , который он составляет с плоскостью xu , и углом β_i между осью x и проекцией $\mathbf{r}_i$ на плоскость xu . Аналогичными углами α_j и β_j определяется вектор $\mathbf{r}_j$. Тогда нетрудно получить соотношения:

$$\vec{i} = \vec{x} \cos \alpha_i \cos \beta_i + \vec{y} \cos \alpha_i \sin \beta_i + \vec{z} \sin \alpha_i; \quad (3.12)$$

$$\vec{j} = \vec{x} \cos \alpha_j \cos \beta_j + \vec{y} \cos \alpha_j \sin \beta_j + \vec{z} \sin \alpha_j \quad (3.13)$$

Если теперь ввести вращающуюся цилиндрическую систему координат (ρ', φ', z') с началом отсчета в точке (x_j, y_j, z_j) и с осью z' , совпадающей с осью сегмента j , то координаты центров сегментов i в этой системе будут равны:

$$z' = x_{ij} \cos \alpha_j \cos \beta_j + y_{ij} \cos \alpha_j \sin \beta_j \sin \alpha_j; \quad (3.14)$$

$$\rho' = \sqrt{r_{ij}^2 - z'^2}.$$

После этого полное поле, возбуждаемое сегментом j в точке наблюдения, находящейся в центре сегмента i , можно записать в виде:

$$\vec{E}_{ij} = \vec{\rho} E'_\rho + \vec{j} E'_z, \quad (3.15)$$

где $\vec{\rho} = \frac{\vec{r}_{ij} - z' \vec{j}}{\rho'}$ – единичный направляющий вектор.

Элемент матрицы импедансов Z_{ij} совпадает с составляющей вектора $\vec{E}_{ij}$, касательной к сегменту i :

$$Z_{ij} = \vec{E}_{ij} \vec{i} = \vec{i} (\vec{\rho} E'_\rho + \vec{j} E'_z) = \vec{i} \vec{\rho} E'_\rho + \vec{i} \vec{j} E'_z; \quad (3.16)$$

Используя записанные выше соотношения (3.10 – 3.16) получим формулу для вычисления элементов матрицы импедансов:

$$\begin{aligned} Z_{ij} &= \frac{E'_\rho}{\rho'} (A - z' B) + B E'_z = B \left(E'_z - \frac{E'_\rho z'}{\rho'} \right) + \frac{E'_\rho}{\rho'} A = \\ &= \left(E'_z - \frac{E'_\rho z'}{\rho'} \right) (\cos \alpha_i \cos \beta_i \cos \alpha_j \cos \beta_j + \\ &+ (\cos \alpha_i \sin \beta_i \cos \alpha_j \sin \beta_j + \sin \alpha_i \sin \alpha_j) + \\ &+ \frac{E'_\rho}{\rho'} (x_{ij} \cos \alpha_i \cos \beta_i + y_{ij} \cos \alpha_i \sin \beta_i + z_{ij} \sin \alpha_i). \end{aligned} \quad (3.17)$$

Из формулы (3.15) видно, что для расчета элементов матрицы импедансов необходимо вычислять компоненты электрического поля E_z и E_ρ . При этом для вычисления компоненты E_z необходимо численное интегрирование, которое можно осуществить различными способами, например, методом прямоугольников, трапеций или методом Симпсона при кусочно-параболической интерполяции функции по заданным узлам. Однако численные эксперименты показали, что наилучшие результаты получаются при использовании адаптивной квадратурной процедуры по формулам Ньютона-Котеса 8-го порядка.

Для расчета координат элементов сеточной модели разработана соответствующая программа.

3.5 Расчет токов в пассивных излучателях

Токи в пассивных излучателях, необходимые для расчета диаграммы направленности антенны, можно получить, решив тем или другим методом систему линейных уравнений (3.18).

$$[Z] (I) = (E), \quad (3.18)$$

где $[Z]$ – матрица импедансов;

(I) – вектор неизвестных токов в пассивных излучателях;

(E) – вектор значений полей, приведенных в сегментах заданными источниками.

Однако прежде чем решать систему, необходимо вычислить компоненты вектора (E) . Это можно сделать, если воспользоваться заданными значениями токов в активных излучателях.

Пусть N – число пассивных излучателей, M – число активных излучателей. Тогда элементы вектора (E) исчисляются следующим образом:

$$E_i = \sum_{j=1}^M Z_{ij} I_j, \quad (3.19)$$

где I_j – ток в j -м активном излучателе.

Таким образом, для получения величины наведенной в пассивном излучателе поля проводится суммирование парциальных влияний каждого из источников с учетом их взаимной ориентации.

Теперь, когда вектор (E) известен, можно решать систему уравнений (3.16), например, методом обращения матрицы импедансов, и тогда решение запишется в виде:

$$(I) = [Z]^{-1}(E) \quad (3.20)$$

Однако способ решения системы путем обращения матрицы не является

наилучшим из известных методов решения. Лучшие результаты (как по времени решения, так и из-за ошибок) дают методы Гаусса и LU-разложения (метод Краута). В нашем случае из этих методов наилучшим есть метод LU-разложения, так как в нем процесс разложения исходной матрицы системы на две треугольных матрицы L и U никак не связан (в отличие от метода Гаусса) с преобразованием компонент вектора правой части. Поэтому, если LU-преобразование выполнено, то потом при любом изменении вектора правой части можно быстро получить новое решение, не выполняя снова продолжительный процесс LU-разложение. В нашей задаче по расчету диаграммы направленности возможное изменение положения возбуждающих элементов без изменения геометрии антенны; итак нам более всего подходит именно метод LU-разложения.

В матричном представлении алгоритм LU-разложения выглядит следующим образом. Начальная система уравнений (3.16) с матрицей $[Z]$ после LU-разложение превратится в две системы, эквивалентные начальной:

$$[L] (Y) = (E), \quad (3.21)$$

$$[U] (I) = (Y), \quad (3.22)$$

Здесь $[L]$ – нижняя треугольная матрица;

$[U]$ – верхняя треугольная матрица.

Таким образом, решение исходной системы (3.18) распадается на два этапа. На первом этапе решение системы (3.21) дает промежуточный вектор (Y) , который используется на втором этапе при решении системы (3.22) как ее правой части. Поскольку обе матрицы $[L]$ и $[U]$ являются треугольными, решение систем (3.21) и (3.22) обратным ходом выполняется очень быстро.

3.6 Короткое описание программы численного расчета

Расчет поля излучения криволинейных антенн и их совокупностей, анализ направленных и поляризационных свойств, входного сопротивления и

т.п. в области частоты проводится с помощью программного комплекса WinWire, разработанного в ЗНТУ. Здесь используется численное решение уравнения Поклингтона с функцией Грина для свободного пространства.

Программа WinWire имеет довольно удобный и «дружественный» интерфейс. Отметим, что анализ поляризационных свойств можно проводить с применением элементов анимации, которая оказывает содействие применению WinWire и в учебной практике.

3.6.1 Ввод исходных данных для расчета

Геометрические параметры, которые являются входными данными для такого расчета рассчитываются по приближенным соотношениям с дальнейшей их коррекцией в процедуре поиска оптимальных размеров.

Для проведения расчетов необходимо задать для программы некоторые геометрические параметры всех элементов излучающей структуры, а также координаты и величину возбуждающих токов. Предположим, что необходимо провести анализ системы из двух спирально изогнутых проводников, расположенных таким образом, что продольные оси спиралей параллельны плоскости YOZ и образуют между собой угол в 45^0 .

Для построения спирали необходимо задать:

- координаты начальной точки x_1, y_1, z_1 (рис. 3.2 а);
- диаметр спирали D ;
- шаг спирали SH ;
- длина спирали L .

При этом программа выведет на экран спираль 1, изображенную на рисунке 3.3.

Для построения второй спирали под углом 45^0 к первой, если ее параметры D, SH и L такие же, необходимо только задать параметр вращения продольной оси вокруг оси Y в градусах; в нашем случае $ROTATE = -45^0$. Тогда программа выведет на экран и вторую спираль 2, изображенную на

рисунке 3.3. Координаты ее начала будут рассчитаны и выведены на экран (x_2 , y_2 , z_2 рис. 3.2 а).

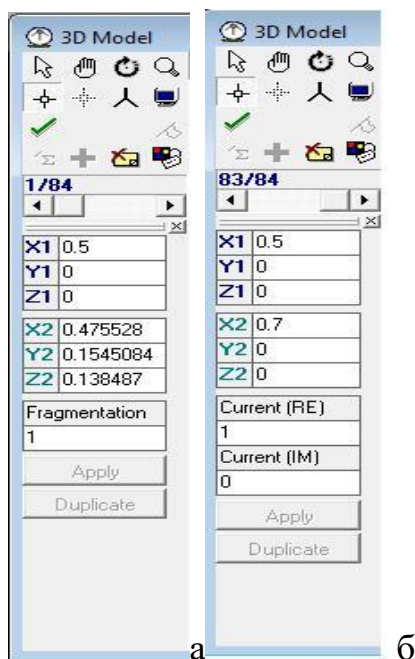


Рисунок 3.2 – Пример задания исходных данных для двух спиралей

Для сдвига спирали по оси z на Δz , необходимо задать ее значение (при этом изменятся и координаты x_2 , y_2 , z_2 рис. 3.2 а) и тогда на экран будут выведены спирали рисунок 3.3.

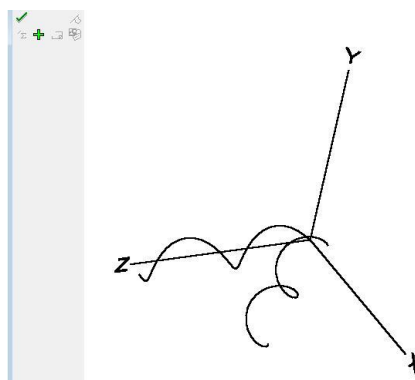


Рисунок 3.3 – Пример построения двух спиралей в плоскости XOZ под углом -45° друг к другу

Пример исходных данных для задания возбуждающего тока в спирали 1 приведен на рисунке 3.2 б. Необходимо задать координаты x_1 , y_1 , z_1 и величину

в комплексной форме (Re и Im). Задание тока в комплексной форме позволяет учесть фазовые соотношения между возбуждениями различных элементов излучающей структуры.

3.6.2 Вывод рассчитанных данных

Программный комплекс WinWire позволяет выводить рассчитанные данные в нескольких, наиболее удобных формах, вид которых задаёт пользователь системы. Например, для излучающей структуры из двух спиралей их ДН излучения приведены в объёмном виде на рис. 3.4 а (горизонтальная составляющая) и рис. 3.4 б (вертикальная составляющая).

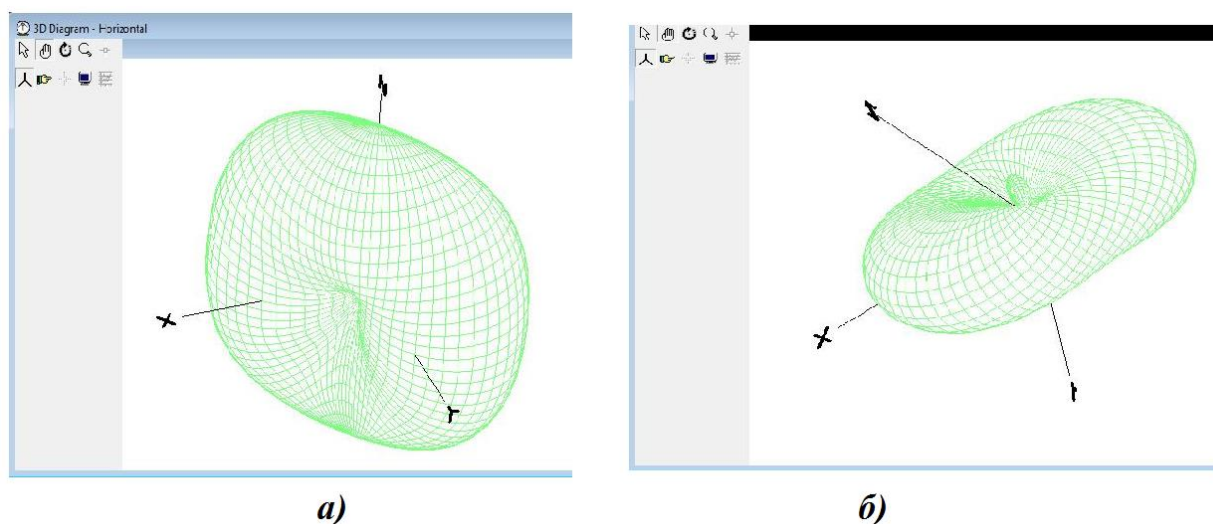


Рисунок 3.4 – ДН излучения двух спиралей

На рис. 3.5 приведена эта же ДН в полярном виде (в двух главных плоскостях), а на рис. 3.6 – функция распределения модуля комплексного тока по излучающей структуре.

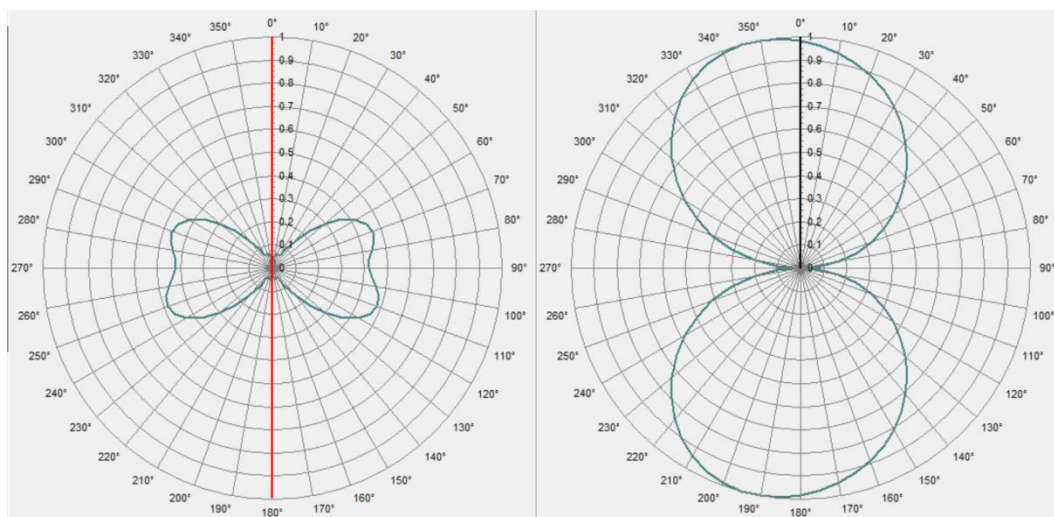


Рисунок 3.5 – Пример вывода ДН в полярном виде

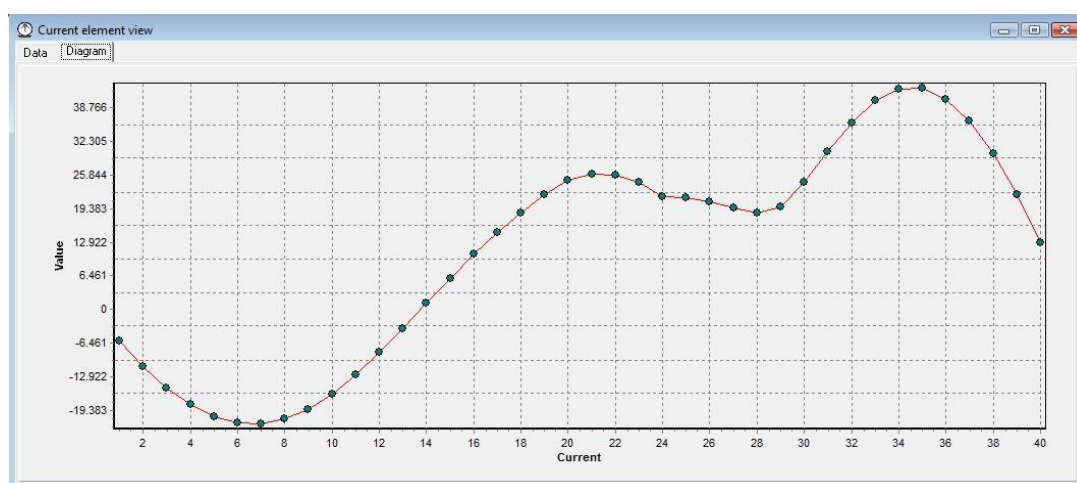


Рисунок 3.6 – Распределение модуля тока вдоль излучающей спирали

Вывод результатов в таких вариантах изображения весьма информативен. Дополнительно можно вывести результаты расчетов и в виде таблиц для модулей и фаз, либо для вещественных и мнимых компонент комплексных чисел.

4 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

При приёме программ телевидения (в том числе и цифрового) для бытовых условий применения в подавляющем большинстве (практически повсеместно) используются директорные антенны типа «волновой канал».

Чаще всего используются трехдиректорные антенны типа «волновой канал». Как следует из предыдущего рассмотрения, по целой последовательности критериев, в том числе и по габаритам, этим антеннам достойную конкуренцию могут составить спиральные антенны с линейной поляризацией.

Находят применение две разновидности директорных антенн, которые отличаются типом активного вибратора:

- шлейф-вибратор Пистолькорса (рис. 4.1 а);
- шунтовый вибратор (рис. 4.1 б).



Рисунок 4.1 – Разновидности вибраторных антенн

Чаще применяется вибраторная антенна со шлейф-вибратором Пистолькорса. Это обусловлено тем, что в качестве фидера снижения в бытовом применении практически всегда используется коаксиальный кабель. При использовании коаксиального кабеля очень просто решается задача симметрирования и одновременно согласования – с помощью $\lambda/2$ шлейфа.

4.1 Трехдиректорная антенна типа «волновой канал»

На рис. 4.2 приведен эскиз директорной антенны типа «волновой канал», часто употребляемой в практике приема телевидения метрового и дециметрового диапазонов.

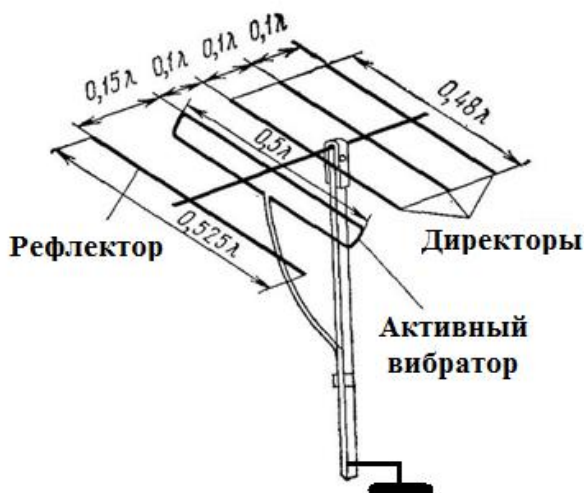


Рисунок 4.2 – Эскиз типичной трехдиректорной антенны
«Волновой канал»

Активный вибратор обычно выполняют в виде шлейф-вибратора Пистолькорса. Вибраторы антенны могут крепиться непосредственно к металлическому стержню. Это возможно, т.к. распределение напряжения по длине вибраторов косинусоидальное и в точке симметрии оно равно нулю т.е. эту точку можно электрически 'заземлить', как и условно показано на рис. 4.2.

Проведем приблизительный расчет геометрических размеров данной антенны для частоты $f = 658 \text{ МГц}$ ($\lambda = 0,456 \text{ м}$). Ее ширина в поперечной плоскости будет иметь значение длины наибольшего элемента, т.е. рефлектора:

$$l_1 = 0,456 \cdot 0,52 = 23,7 \text{ см},$$

что превышает поперечный размер двойной спиральной антенны. Длина данной антенны в этой же плоскости примет следующее значение:

$$l_2 = (0,15 + 0,1 \cdot 3) \cdot 45,6 = 20,5 \text{ см}$$

Длина директоров ($2l_d$) выбирается таким образом, чтобы получить значение КНД, которое близкое к максимальному. Вибратор-рефлектор устанавливается на расстоянии $(0,1 - 0,25) \lambda$ от активного вибратора.

Как было сказано ранее, для обеспечения полосы частот порядка 30 - 40% достаточно применить одноэтажную конструкцию; однако отметим, что директорная антенна имеет несколько большую себестоимость по сравнению со спиральной антенной, т.к. необходимо применять медные элементы с диаметром порядка 2 см.

Чем большее число директоров, тем меньше влияние рефлектора на коэффициент направленного действия. Однако при всех условиях рефлектор является удобным элементом для регулирования входного сопротивления активного вибратора, т.е. входного сопротивления антенны.

4.2 Расчет антенны типа «волновой канал» в среде WinWire

Программный комплекс WinWire, разработанный в ЗНТУ, позволяет выполнять расчет поля излучения антенн и их совокупностей, анализ направленных и поляризационных свойств, входного сопротивления и другие расчеты. В основе работы программы лежит численное решение интегрального уравнения Поклингтона относительно неизвестной функции распределения тока вдоль провода антенны с функцией Грина для свободного пространства.

Программа WinWire имеет довольно удобный и «дружественный» для пользователя интерфейс, который будет коротко описан далее. Отметим, что здесь анализ поляризационных свойств можно проводить с применением элементов анимации. Геометрические параметры, которые являются входными данными для такого расчета, рассчитываются по приближенным соотношениям с дальнейшей их коррекцией в процедуре поиска оптимальных размеров.

Построим в данной программе антенну типа «Волновой канал», рассчитанную на частоту 658 МГц по соотношениям из рис. 4.2. В качестве вибратора применим шлейф-вибратор Пистолькорса [6], а количество

директоров изберем равным трём. Эскиз для формирования исходных данных о геометрических размерах этой антенны приведен на рис. 4.3.

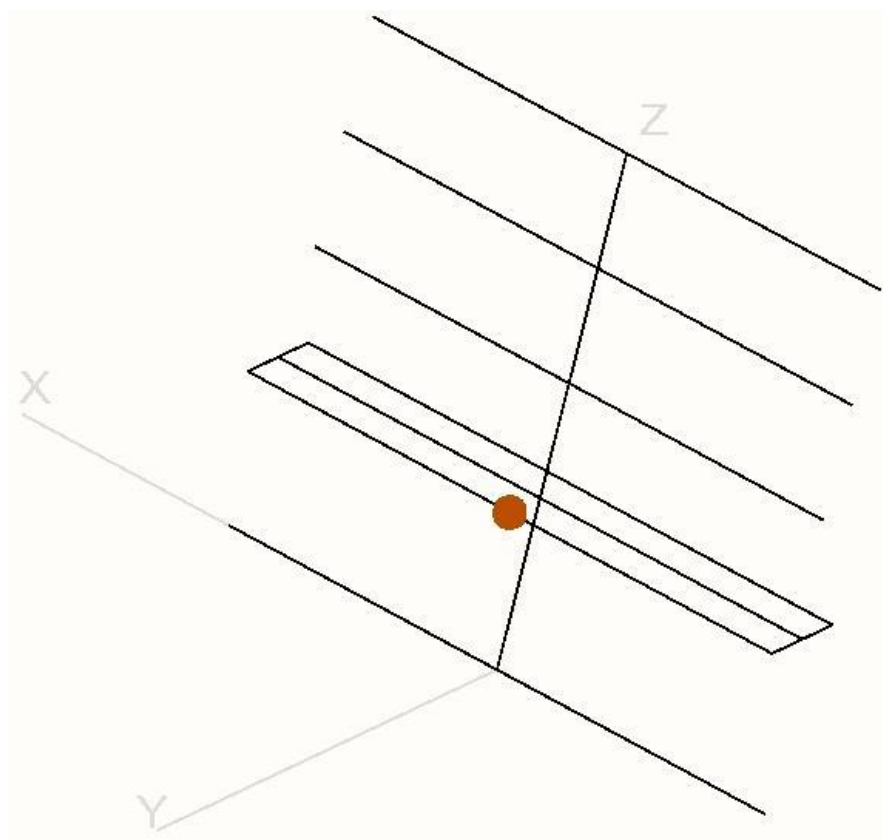


Рисунок 4.3 – Эскиз трехдиректорной антенны «Волновой канал» для формирования исходных данных

Здесь точкой оранжевого цвета обозначено место подключения источника. В качестве источника выбран генератор тока соответствующей частоты. Фаза тока задана из условия синфазного питания плеч активного вибратора.

Рассчитанная в среде WinWire ДН этой антенны в объёмном виде приведена на рис. 4.4.

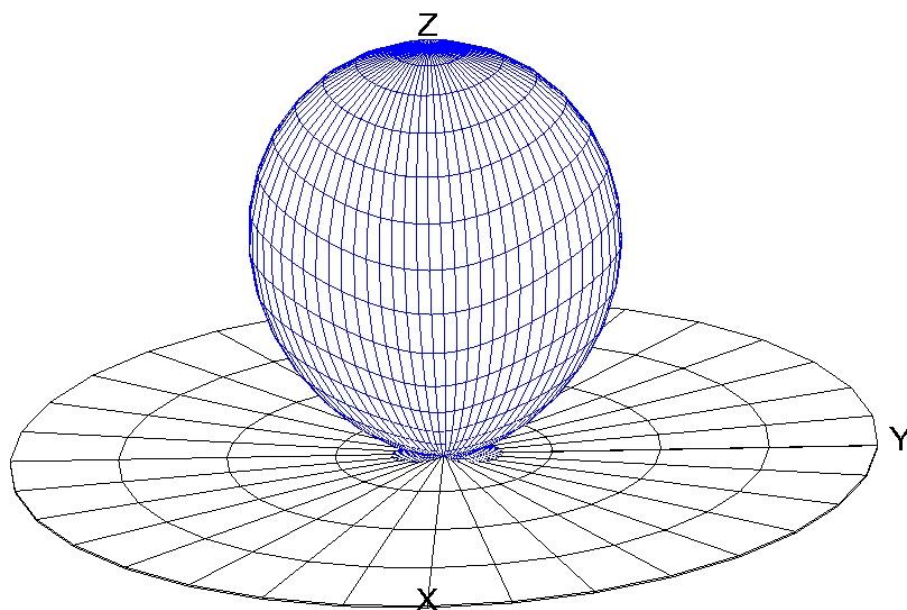


Рисунок 4.4 – ДН антенны «Волновой канал» на частоте 500 МГц

Как видно из рисунка, ширина диаграммы направленности составляет около 90 угловых градусов, что недостаточно для границы зоны уверенного приема. Для улучшения направленных свойств необходимо увеличивать количество директоров до 10 - 12, что неизбежно приводит к увеличению продольных габаритов антенны такого типа. На рис.4.5 приведены ДН этой же антенны на других частотах дециметрового диапазона. Из них видно, что искажения ДН столь значительны, что применение этой антенны становится невозможным для всего диапазона цифрового телевидения.

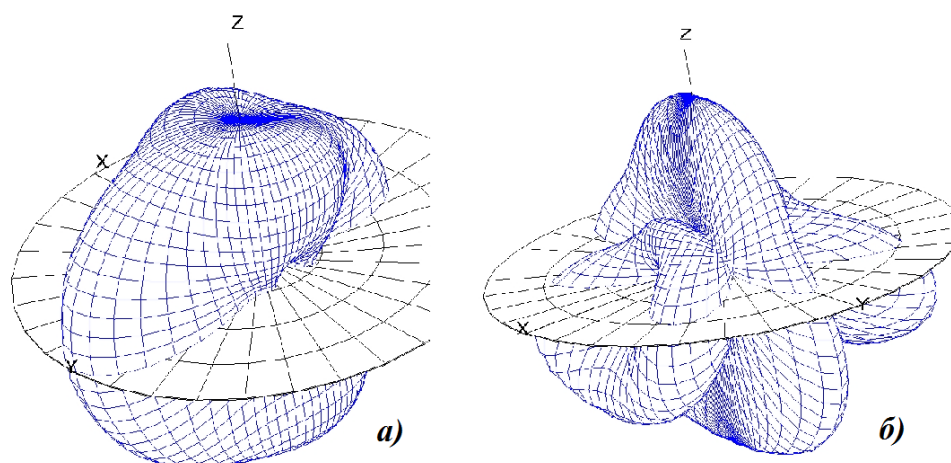


Рисунок 4.5 – Демонстрация искажений формы ДН

4.3 Антенна на основе одиночной объёмной спиральной структуры

Эскиз цилиндрической спиральной антенны изображен на рис. 4.6 а.

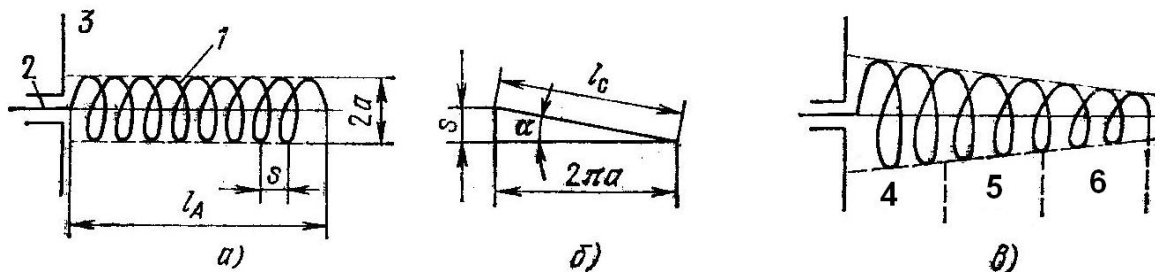


Рисунок 4.6 – Спиральные антенны

Здесь 1 – спираль;

2 – подводящий кабель;

3 – противовес.

Противовес применяется для придания однонаправленного излучения. Для подключения антенны к приёмнику или передатчику обычно применяют коаксиальный кабель. Тогда внутренний проводник коаксиального кабеля присоединяется к проводу спирали, а внешний – к противовесу. Введём ось Z , направление которой совпадает с продольной осью спиральной антенны.

Между размерами антенны существуют следующие зависимости:

$$l_a = ps, s = l_c \sin \alpha, \operatorname{tg} \alpha = s / 2\pi a \quad (4.1)$$

где l_a – продольная длина спиральной антенны;

s – расстояние между витками спирали;

l_c – длина витка спирали;

a – радиус витка спирали;

α – угол подъёма витка спирали;

p – количество витков спирали.

Можно показать [6], что условие получения максимального КНД и

условие получения круговой поляризации несколько отличаются.

Чтобы получить максимальный КНД, нужно установить оптимальный коэффициент замедления $k_{\text{зопт}}$, при котором в направлении оси спирали комплексные амплитуды напряженностей полей первого и последнего витков находятся в противофазе. Другими словами, необходимо условие $k'_3 = (\lambda + s)/l_c$ дополнить условием задержки волны тока спирали на полупериод $T/2$, а в каждом витке ее – на $T/2 = \lambda/2pc$:

$$\frac{l_c}{v_\phi} = \frac{\lambda}{c} + \frac{s}{c} + \frac{\lambda}{2pc} = \frac{1}{c} \left(\lambda + s + \frac{\lambda}{2p} \right), \quad (4.2)$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/сек – скорость света в вакууме (воздухе);

v_ϕ – фазовая скорость волны тока вдоль спирали.

Отсюда находим оптимальный коэффициент замедления волны тока вдоль провода спирали:

$$\frac{l_c}{v_\phi} = \frac{\lambda}{c} + \frac{s}{c} + \frac{\lambda}{2pc} = \frac{1}{c} \cdot \left(\lambda + s + \frac{\lambda}{2p} \right). \quad (4.3)$$

При этом, правда, получим эллиптическую поляризацию, но, так как $\lambda/2p \ll \lambda + s$, то коэффициент $k_{\text{зопт}}$ довольно незначительно отличается от k'_3 и полученную поляризацию можно считать круговой. Считая $k_{\text{зопт}} = 1,2 \dots 1,3$, определим угол подъема спирали, которая отвечает оптимальным условиям работы антенны

$$\alpha = \alpha_{\text{опт}}; \quad l_c \approx \lambda_0; \quad s = l_c \sin \alpha_{\text{опт}}; \quad p = l_a/s = l_a/(\lambda_0 \sin \alpha_{\text{опт}}). \quad (4.4)$$

Отсюда:

$$\sin \alpha_{\text{опт}} = \frac{0,2 \dots 0,3}{1 + \lambda_0 / 2l_a}. \quad (4.5)$$

Длина спирали подбирается соответственно найденному оптимальному коэффициенту замедления вдоль оси спирали $k_{\text{зопт}} = 1 + \lambda_0 / 2l_a$. При $k_{\text{зопт}} = 1,2 \dots 1,3$ имеем $l_a \cong (1.6 \dots 2.5)\lambda_0$, что отвечает углу подъема спирали $\alpha_{\text{опт}} = 12 \dots 16^\circ$ и числу витков спирали $p = 5 \dots 14$.

Для обеспечения круговой или близкой к ней поляризации излученного поля, а также обеспечения интенсивного излучения каждого витка в направлении оси Z необходимо, чтобы длина витка была близкой к λ . Реально виток не плоский, а имеет объёмный вид с некоторым шагом намотки в направлении продольной оси антенны. Кроме того, фазовая скорость волны тока вдоль витка отличается от скорости света, причем соотношение этих скоростей определяется величиной k_1 . Однако, если шаг намотки и диаметр витка выбраны таким образом, что сдвиг фаз между напряженностями полей, создаваемых первым и последним элементами витка $\psi = 2\pi$, то в направлении оси Z сохраняются круговая поляризация и максимальное излучение.

Соотношение между l и S , которое отвечает круговой поляризации:

$$l = k_1(s + \lambda) \quad (4.6)$$

Если выбрать соотношение между S и λ в соответствии с (4.6), то сдвиг фаз между полями, создаваемыми в направлении Z соседними витками, также будет равен 2π . Таким образом, при соблюдении соотношения (4.6) поля всех витков антенны складываются в фазе, что обеспечивает максимальное излучение в направлении оси Z . Однако такой режим работы спиральной антенны не отвечает максимальному значению КНД. Максимальный КНД получим при сдвиге фаз между полями первого и последнего витков, равному π ; $\varphi_1 = \pi$. Для этого нужно, чтобы:

$$\Psi_{\text{опт}} = \frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{l}{k_1} - s \right) = 2\pi + \frac{\pi}{n}, \quad (4.7)$$

где n – число витков спирали.

Из (4.7) находим соотношение между l и S , которое отвечает

максимальному значению КНД:

$$l = k_1 \cdot \left(\lambda + \frac{\lambda}{2\pi} + s \right). \quad (4.8)$$

Таким образом, зная среднее значение частоты передатчика, рассчитаем длину волны:

$$\lambda = c/f = 3 \cdot 10^8 / 658 \cdot 10^6 = 0,456 \text{ м}$$

Для обеспечения максимального КНД и круговой поляризации избираем длину витка l равной длине волны сигнала. Тогда диаметр такой антенны составит:

$$d = l/\pi = 45.6/3.14 = 14.3 \text{ см} \quad (4.9)$$

При удовлетворении соотношения (4.8), однако, излучаемая волна не будет иметь чисто круговую поляризацию.

Если данные антенны подобраны в соответствии с выражениями (4.6) или (4.8), то хорошие направленные свойства сохраняются в значительном диапазоне, приблизительно в пределах от $0,7 \lambda_v$ до $1,2 \lambda_v$, где λ_v – та длина волны, для которой подобрано оптимальное соотношение между l , k_1 , n и S .

Для ещё большего расширения рабочей полосы частот применяют коническую спиральную антенну (рис. 4.6 в).

4.4 Расчет вариантов спиральных антенн в среде WinWire

Двойные спиральные антенны можно построить различными способами с комбинированием либо цилиндрических и конических спиралей, либо только цилиндрических спиралей. Применение конической спирали, как элемента двойной спиральной антенны, продиктовано стремлением к расширению рабочей полосы частот. Рассмотрим несколько вариантов таких комбинаций, сравним их направленные и поляризационные свойства, выберем лучший

вариант и для этого варианта проведем более детальное исследование, в частности, на предмет согласования со стандартным коаксиальным телевизионным кабелем с волновым сопротивлением 75 Ом. Такой тип коаксиального кабеля выпускается массово, он недорог и имеет наибольшее применение в телевизионной технике бытового назначения.

4.4.1 Двойная СА типа цилиндр-конус

На рис. 4.7 изображен эскиз (построен в среде программы WinWire) конструкции двойной спиральной антенны, где внешняя спираль с правым направлением намотки имеет цилиндрическую форму, а внутренняя с левым направлением намотки – коническую форму: такая совокупность обеспечивает поляризацию излучаемых ЭМВ, которая близка к линейной. В соответствии с принципом взаимности для антенной техники, таким же свойством антенна будет обладать и в режиме приёма; это же относится и к другим характеристикам и параметрам антенны.

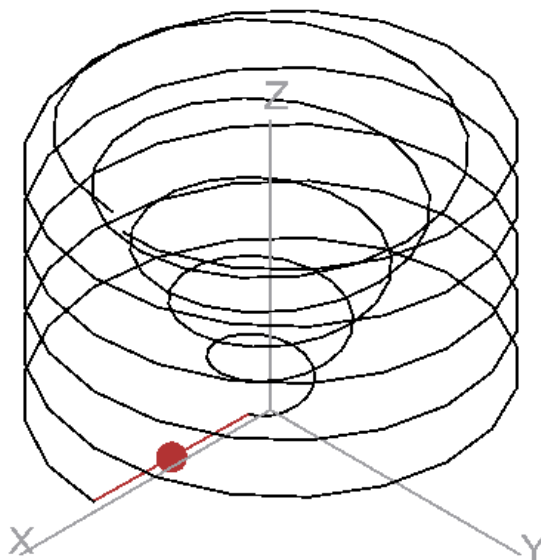


Рисунок 4.7 – Эскиз конструкции двойной СА типа цилиндр – конус

На рис. 4.7 жирной точкой отмечена точка синфазного питания этой

совокупности. На рис. 4.8 а изображена рассчитанная в среде WineWire ДН на частоте $f_0=500$ МГц, а на рис. 4.9 б – на частоте $f_2 = 900$ МГц. Из сравнения ДН на рис. 4.8 а и рис. 4.8 б видны недостатки такой антенной системы в части достаточно сильной зависимости формы ДН от частоты; этот недостаток исключает возможность применения такой антенной системы для решения задач приёма сигналов цифрового телевидения.

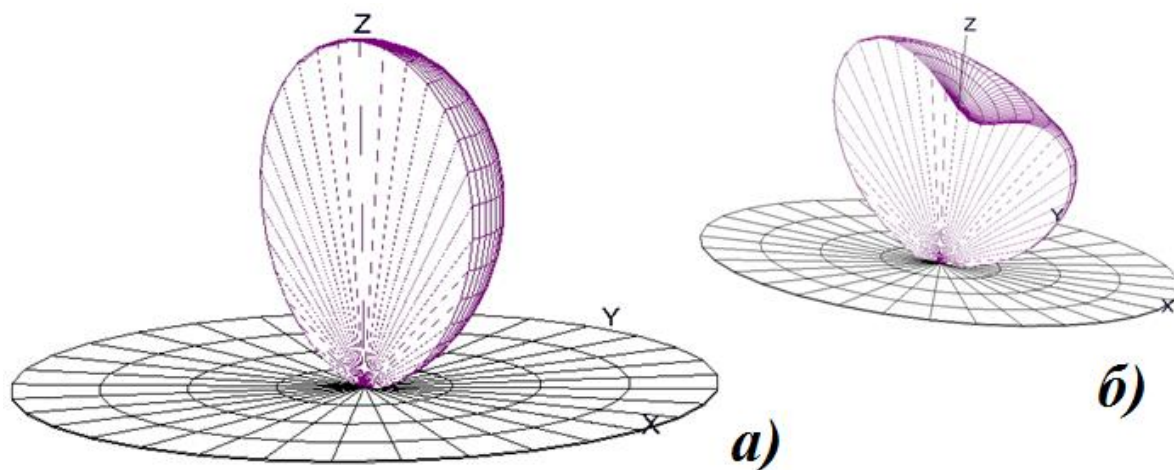


Рисунок 4.8 – ДН двойной СА типа цилиндр - конус

На рис. 4.9 приведено схематическое изображение изменения направления и величины электрического вектора ЭМВ (построено в среде программы WinWire), как функции времени $E(t)$ при фиксированном значении координаты $r=r_0$.

Анализ этого изображения показывает, что отклонение от линейной поляризации очень незначительные; в первом приближении можно считать, что поляризация чисто линейная. Но, по требованиям к направленности, эта антенна не удовлетворяет требованиям цифрового телевидения. Было исследовано несколько вариантов двойной спиральной антенны такого типа и везде была отмечена эта же тенденция.

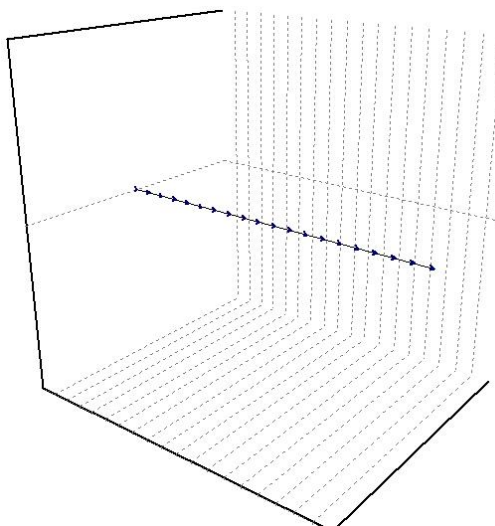


Рисунок 4.9 – Схематическое изображение вектора напряженности электрического поля ЭМВ

4.4.2 Тройная СА типа цилиндр – цилиндр-конус

С целью устранения недостатков системы цилиндр-конус, был исследован вариант тройной СА типа цилиндр – цилиндр-конус (рис. 4.10).

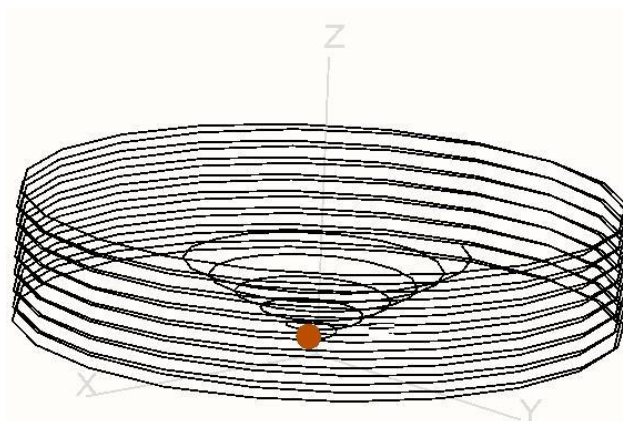


Рисунок 4.10 – Эскиз конструкции антенны типа тройная СА
цилиндр – цилиндр-конус

Здесь линейную поляризацию обеспечивает двойная цилиндрическая СА с противоположными направлениями навивки спиралей в парциальных

антеннах, а коническая (пассивный излучатель) – для расширения полосы частот. На рис. 4.11 а изображена рассчитанная ДН на частоте $f_0 = 500$ МГц, а на рис. 4.11 б – на частоте $f_2 = 900$ МГц.

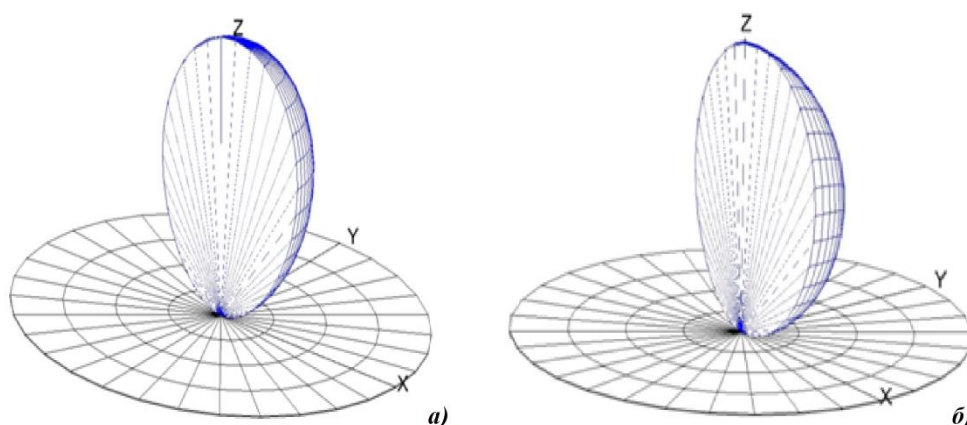


Рисунок 4.11 – ДН тройной СА типа цилиндр – цилиндр-конус

Сравнивая полученные ДН, можно сделать выводы, что искажений ДН практически не наблюдается, т. е. такая СА обеспечивает достаточную направленность в полосе частот цифрового телевидения. Аналогичные результаты получены и при исследовании поляризации этой антенны.

Сравнивая свойства рассмотренных конструкций СА, делаем вывод, что тройная СА типа цилиндр – цилиндр-конус с точки зрения направленности в полосе частот цифрового телевидения имеет значительно лучшие показатели чем двойная СА типа цилиндр-конус, а потому делаем вывод о ее предпочтительности при выборе приемной антенны ТВ для этого стандарта, но необходимо провести дополнительные исследования по поиску других, более простых вариантов конструктивного исполнения.

4.4.3 Двойная СА типа цилиндр-цилиндр

Другой, более простой вариант спиральной антенны линейной

поляризации с двумя спиралями противоположной навивки изображен на рис. 4.12 а. Упрощение заключается в исключении из конструкции конической спирали, которая была введена в качестве пассивного излучателя для улучшения широкополосности структуры. Исследуем вариант антенны без конического элемента. В соответствии с ранее полученными соотношениями, зададим диаметр спирали $d = 14.3$ см, количество витков 8, а угол подъема спирали выберем 4 градуса.

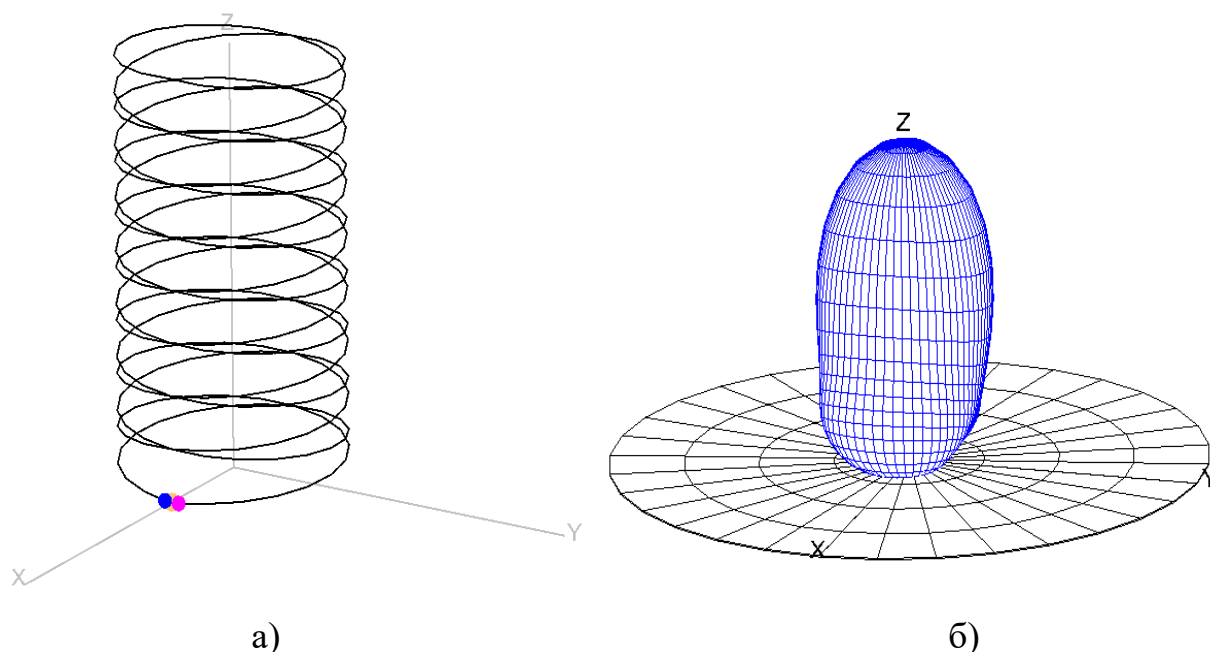


Рисунок 4.12 - Двойная СА типа цилиндр-цилиндр

ДН этой антенны, рассчитанная в среде WinWire, на частоте 658 МГц в объемном виде приведена на рис. 4.12 б, а в полярных координатах – на рис. 4.13 (рис. 4.13 а – в горизонтальной плоскости, рис. 4.13 б – в вертикальной). Исследование поляризационной структуры (типа показанных на рис. 4.9) показало, что поляризация излученных ЭМВ весьма близка к линейной и удовлетворяет требованиям цифрового телевидения. Рассмотрение ДН (рис. 4.15) показывает, что ее ширина в вертикальной плоскости составляет 46 градусов, при котором обеспечивается значение КНД – более 11; это удовлетворяет требованиям стандарта Т2 для зоны уверенного приема. Для

решения вопроса о согласовании такой антенны с коаксиальным кабелем снижения, который имеет волновое сопротивление $Z_B = 75 \text{ Ом}$, было рассчитано распределение тока по длине одной спирали в двойной СА. Оно приведено на рис. 4.14.

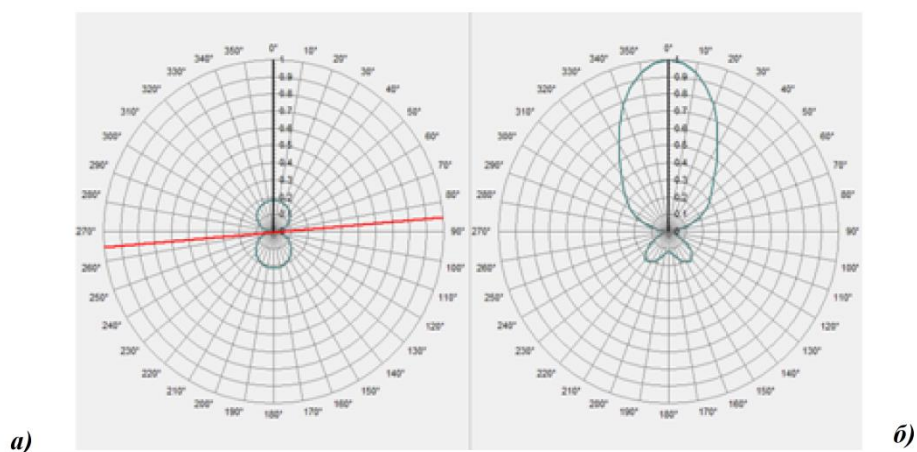


Рисунок 4.13 - ДН двойной СА в полярных координатах

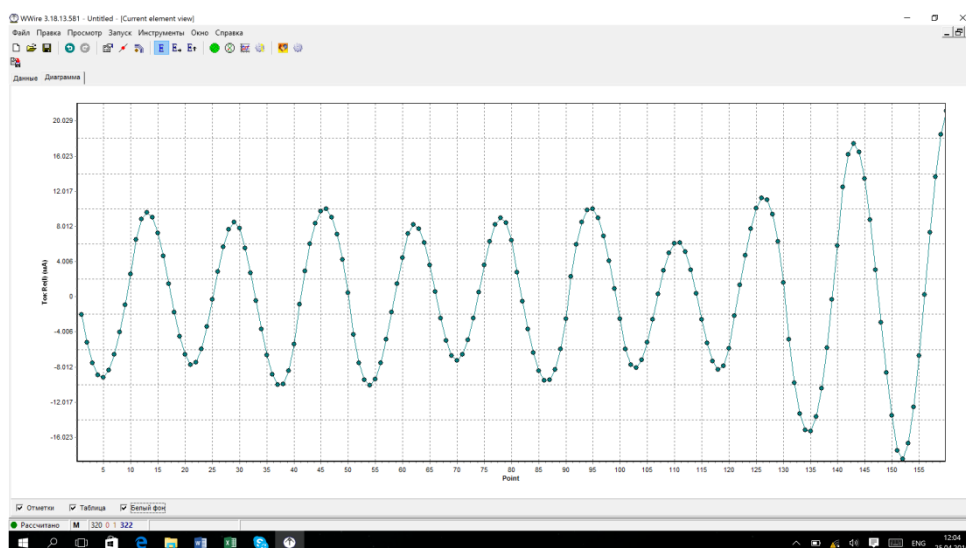


Рисунок 4.14 – Распределение тока по длине одной спирали в двойной СА

Здесь приведено распределение тока для спирали с правым направлением навивки. Для спирали с левым направлением навивки оно будет симметричным. При расчете входного сопротивления антенны $Z_{ВХ}$ по рассчитанной зависимости было получено, что $Z_{ВХ}$ порядка 420 Ом. При таком значении $Z_{ВХ}$ получим недопустимо большое значение КСВ в коаксиальном кабеле снижения с волновым сопротивлением $Z_{В} = 75$ Ом. Это противоречит требованиям к согласованию антенны для ТВ приёмников цветного изображения.

4.5 Исследование согласования ДСА с кабелем снижения

Для решения вопросов согласования был рассмотрен вариант двойной спиральной антенны с применением в каждой спирали двойного провода. Фрагмент конструктивного исполнения такой антенны приведен на рис. 4.15.

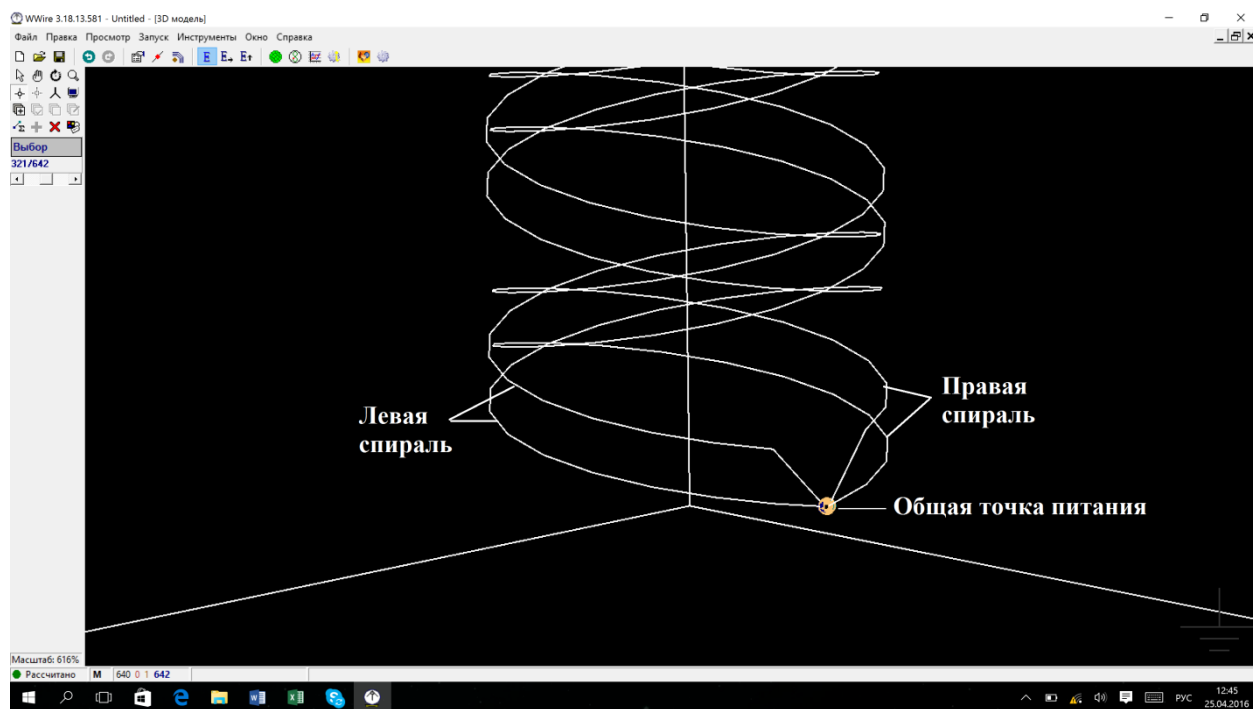


Рисунок 4.15 – Фрагмент конструкции двойной спиральной антенны с двумя проводами в спиральных

По сравнению с предыдущим вариантом, конструкция излучающей структуры изменилась, значит необходимо прежде всего исследовать направленные свойства новой структуры. На рис. 4.16 приведена объёмная диаграмма направленности двойной спиральной антенны с двумя проводами в каждой спирали, частота 700 МГц, остальные исходные данные соответствуют предыдущему варианту, а на рис.4.17 – эта же ДН в полярных координатах (одна симметричная половина в вертикальной плоскости).

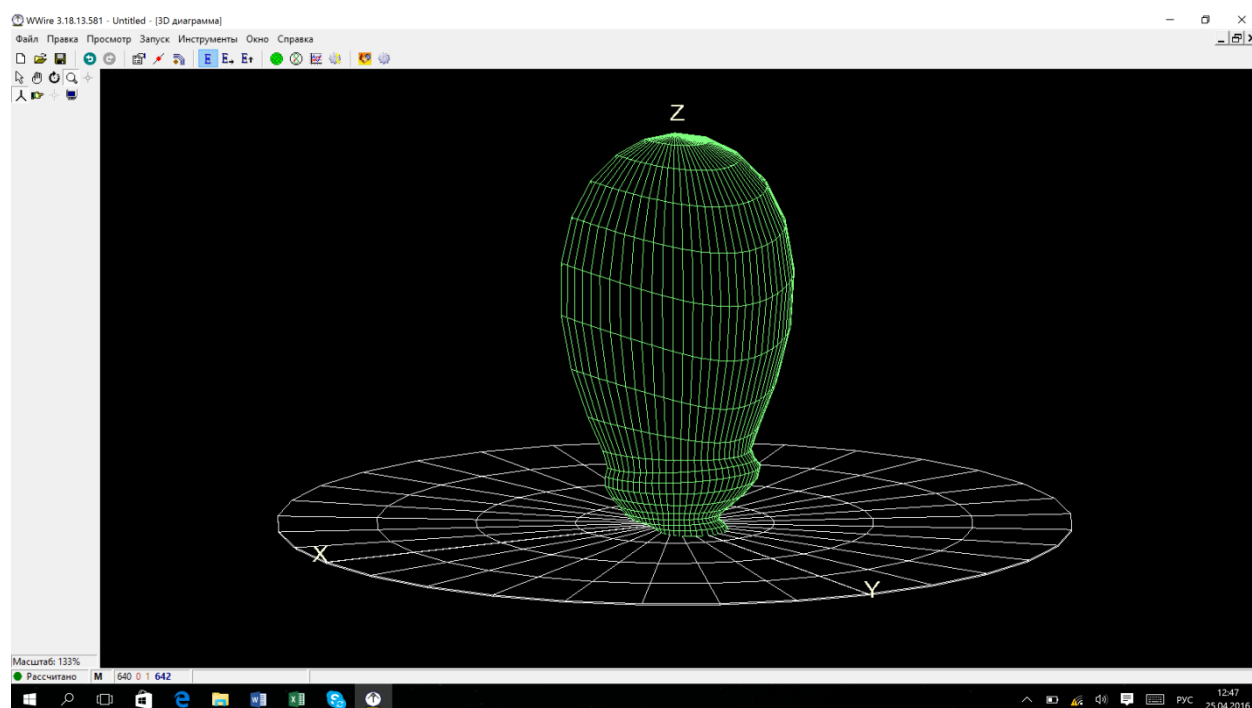


Рисунок 4.16 – Объёмная ДН ДСА с двумя проводами в спиралях

Рассмотрение этих ДН оказывает, что введение вторых проводов в обе спирали ДСА (с левым и правым направлениями навивок) принципиально на форму и параметры её ДН не влияет. Здесь еще потребуется дополнительная работа по оптимизации ДН. Расчеты функций распределения тока и входного сопротивления рассмотренной ДСА показывают, что введением второго провода в парциальные спирали можно в достаточно больших пределах изменять и параметры согласования антенны с кабелем снижения.

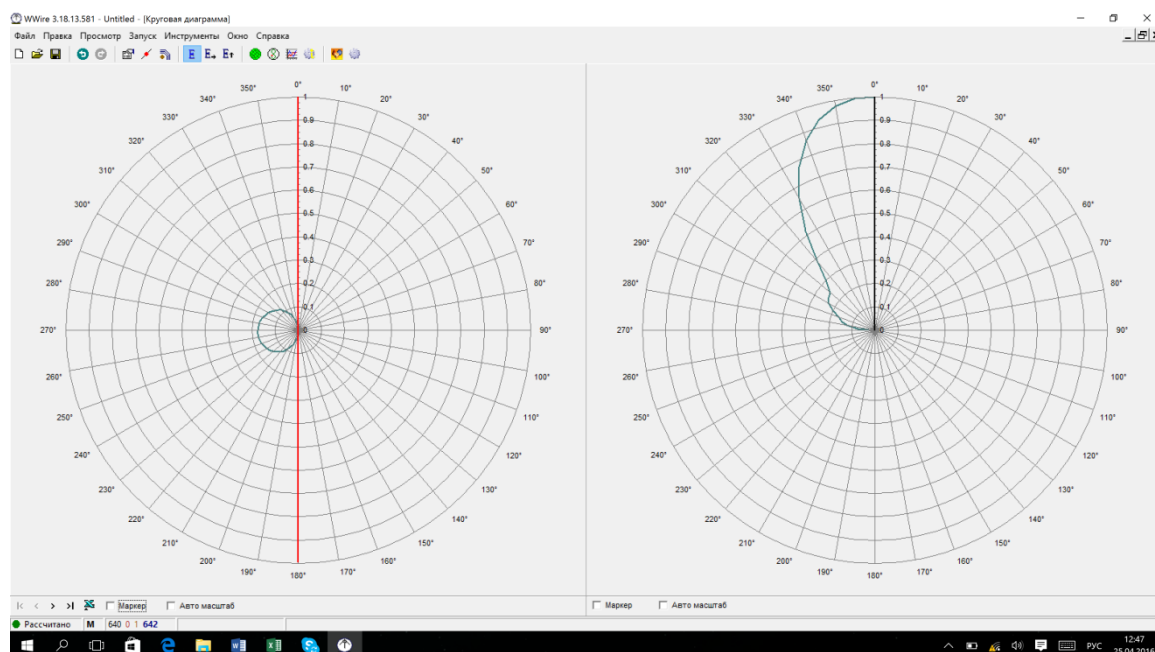


Рисунок 4.17 – Полярные ДН ДСА с двумя проводами в спиральных

Учитывая проведенные исследования, в качестве окончательного варианта антенны для зоны уверенного приема сигналов цифрового телевидения можно рекомендовать двойную спиральную антенну типа цилиндр-цилиндр. Точное же решение задачи согласования требует дальнейшего, более глубокого исследования.

4.6 Исследования возможностей уменьшения габаритов ДСА

Исследованные варианты ДСА, хотя и имеют меньшие габариты, чем директорные антенны, всё же нуждаются в дальнейшем сокращении своих габаритов и желательно без существенного ухудшения параметров. Для решения этой задачи возникла идея использования плоских спиральных структур, парциальные антенны этого типа рассмотрены в п. р. 2.3.1 настоящей работы. По ряду причин конструктивного характера для образования плоской ДСА наиболее подходящими представляется использование однозаходовых спиралей Архимеда, которые приведены на рис. 2.3 а. Идею такой антенны демонстрирует рис. 4.18.

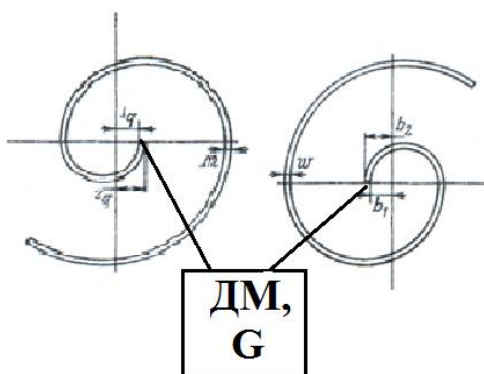


Рисунок 4.18 – К образованию плоской ДСА

где ДМ – делитель мощности (может работать и в режиме сумматора);
G – генератор.

Здесь парциальные плоские спирали Архимеда разнесены в плоскости, совпадающей с плоскостями самих спиралей, что не даёт существенного уменьшения общих габаритов. Если же разместить парциальные плоские спирали одна над другой на некотором расстоянии друг от друга, то получим ДСА плоского типа, приведенную на рис. 4.19.

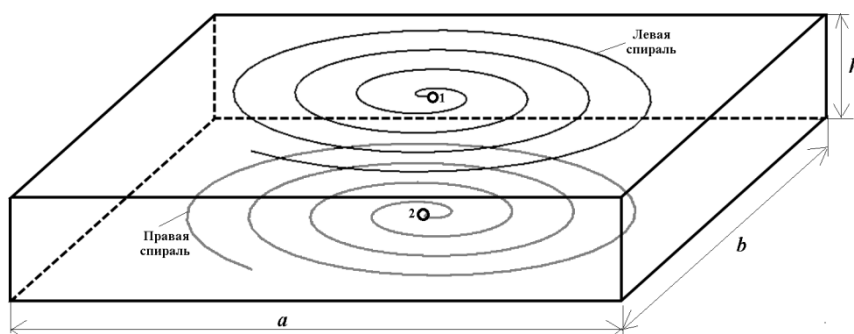


Рисунок 4.19 – Конструкция плоской ДСА

Организовать её питание наиболее просто можно с помощью симметричной двупроводной линии (СДЛ). Расположить СДЛ возможно между парциальными плоскими спиралями, как показано на рис 4.20.

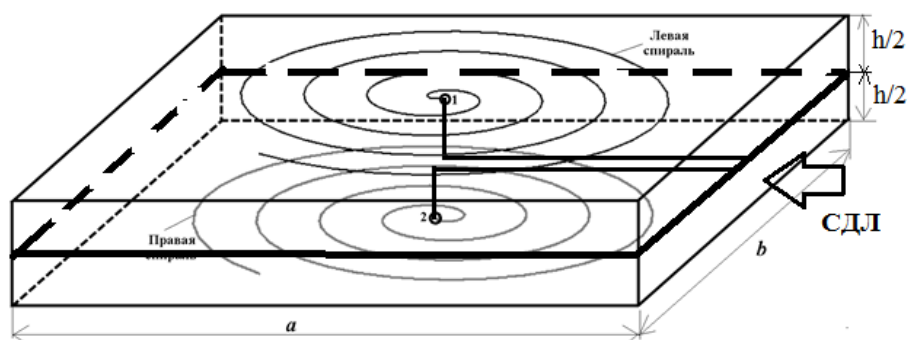
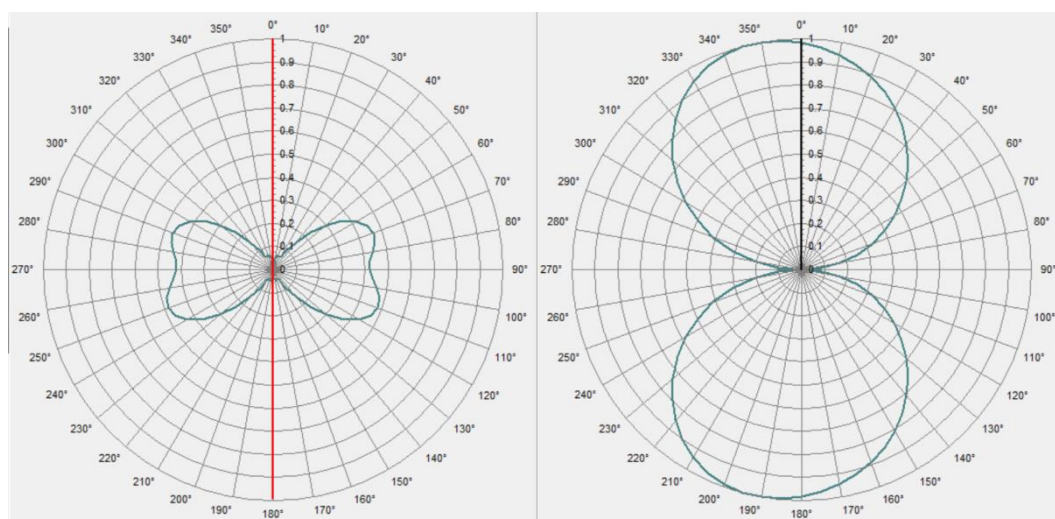


Рисунок 4.20 – Организация питания плоской СДА с помощью СДЛ

Исследование этой антенны, проведенное в среде WinWire, показало достаточно сильную зависимость как формы ДН, так и её параметров от величины размера h . К тому же излучение этой антенны является двунаправленным – полярные ДН приведены на рис. 4.21 при $h = 11,5$ см.



а)

б)

Рисунок 4.21 – ДН плоской двойной спиральной антенны в плоскости XOZ

Для получения однонаправленного излучения необходимо применять отражатель, как показано на рис. 4.22. Этот отражатель представляет собой сплошной лист металла, а в результате такая антенна приобретёт большую парусность.

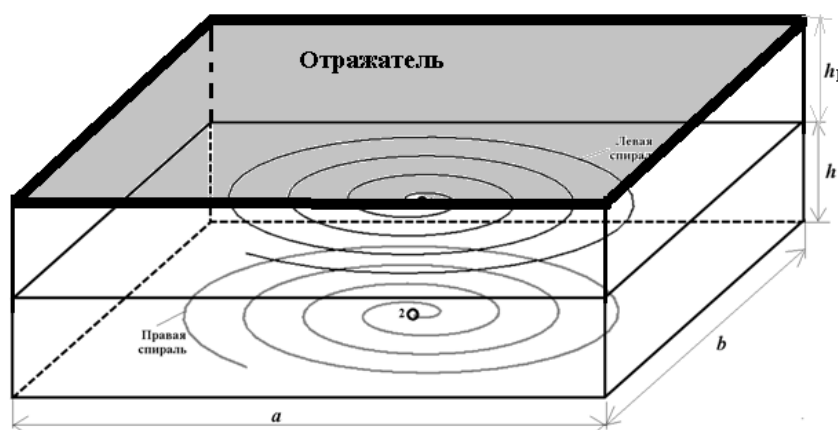


Рисунок 4.22 – Плоская двойная спиральная антенна с отражателем

Сравнение ДН объёмных и плоских ДСА показывает, что плоские ДСА имеют несколько худшие параметры, чем объёмные, но они проще в изготовлении и их можно применять, по крайней мере на не очень больших расстояниях.

4.6.1 Отражатели с малой парусностью

Для уменьшения парусности отражатели выполняют несплошными. Наиболее часто для этой цели применяют либо перфорацию (рис. 4.23 а), либо выполняют его из сетки (рис. 4.23 б).

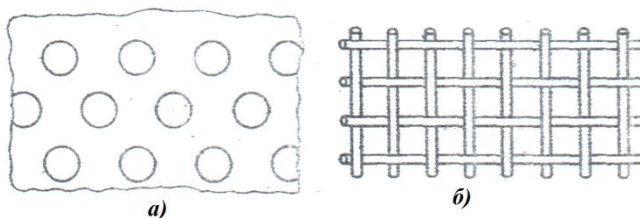


Рисунок 4.23 – Примеры выполнения несплошных отражателей

При несплошном отражателе часть электромагнитной энергии просачивается сквозь него, образуя нежелательное заднее излучение и уменьшение КУ антенны.

Качество несплошного отражателя характеризуют коэффициентом прохождения T :

$$T = P_{\text{ПР}}/P_{\text{ПАД}},$$

где $P_{\text{ПР}}$ – мощность, просочившаяся через некоторый участок поверхности отражателя;

$P_{\text{ПАД}}$ – мощность, падающая на этот участок.

Отражатель считается хорошим, если $T < 0,01 \dots 0,02$.

Перфорированный отражатель и отражатель из двухлинейной сетки нечувствительны к поляризации падающих волн. Для перфорированного отражателя удовлетворительные значения T получаются при диаметре отверстий меньшим $0,2\lambda$ и при суммарной площади отверстий не более $0,5 \dots 0,6$ всей площади листа. Двухлинейная сетка работает удовлетворительно при размерах ячейки, меньших $0,1\lambda$ и диаметре проводов $0,01\lambda$ и больше.

5 ЕКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

5.1 Планування науково-дослідницької роботи

В роботі брали участь інженер-дослідник і консультант. Тривалий час розробки чотири місяці. Інженер-дослідник працював чотири місяці, консультант пів місяця. Заробітна плата інженера-дослідника 9000 грн. в місяці, консультанта 8000 грн. в місяць.

Планування розробки і калькуляція кошторисної вартості роботи по проведенню дослідження приведено нижче.

Тривалість роботи визначають за формулою 4.1:

$$T_{\text{ц}} = \frac{Q}{R}, \quad (5.1)$$

де $T_{\text{ц}}$ – тривалість циклу, днів;

Q – трудомісткість, чоловіко-днів;

R – кількість виконавців, чол.

Отримана інформація занесена в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Тривалість дослідницьких робіт та її результати

Назва роботи	Трудомісткість		Виконавці	Тривалість, днів
	Чол.- дні	% підсумку		
1	2	3	4	5
Аналіз предметної області	10	10	Інженер-дослідник, консультант	5
Підбір необхідної літератури	10	10	Інженер-дослідник	10
Підготовка установки для роботи	40	41	Інженер-дослідник	40

За даними таблиці 5.1 складається підсумковий стрічковий графік. Даний графік приведений в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Зведений стрічковий графік планування науково-дослідницької роботи

Назва роботи	02.07-06.07	09.07-13.07	16.07-20.07	23.07-27.07	30.07-03.08	06.08-10.08	13.08-17.08	20.08-23.08	27.08-31.08	03.09-07.09	10.09-14.09	17.09-21.09	24.09-29.09	01.10-05.10	08.10-12.10	16.10-19.10	22.10-26.10	29.10-02.11
Аналіз предметної області																		
Підбір необхідної літератури																		
Підготовка установки для роботи																		
Підготовка необхідних матеріалів та запуск установки																		
Обробка отриманих результатів																		
Висновки по виконаній роботі																		



Консультант



Інженер-дослідник

5.2 Визначення витрат на проведення експерименту

Для визначення витрат на проведення експерименту складається калькуляція кошторисної вартості роботи, яка включає наступні статті:

- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- відрахування на єдиний соціальний внесок (ЕСВ);
- затрати на спеціальне обладнання;
- матеріали;
- накладні витрати.

5.2.1 Розрахунок основної заробітної плати

Витрати за цією статтею складаються з планового фонду зарплати всіх категорій працівників. Розрахунок заробітної плати (ЗП) ведеться на підставі даних про трудомісткості, представлених в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунок основної заробітної плати

Посада виконавця	Кількість, Чол.	Місячний оклад, грн	Кількість місяців роботи	Сума ЗП, грн
Інженер-дослідник	1	9000	4	36000
Консультант	1	8000	0.5	4000
Разом	2			40000

5.2.2 Розрахунок додаткової заробітної плати

Додаткову заробітну плату приймають рівною 10% від основної заробітної плати і розраховуємо по формулі (4.2):

$$ЗП_{доп.} = ЗП_{осн.} \cdot 0.1 \quad (5.2)$$

Підставивши величину основної заробітної плати в формулу (5.2), отримаємо:

$$ЗП_{дод} = 40000 \cdot 0,1 = 4000 \text{ грн}$$

5.2.3 Відрахування на ЄСВ

Відрахування на соціальне страхування становлять 22% і беруться від основної та додаткової заробітної плати, і визначається за формулою 5.3.

$$ВІД = (ЗП_{осн} + ЗП_{доп}) \cdot 0,22 \quad (5.3)$$

$$ВІД = (40000 + 4000) \cdot 0,22 = 9680 \text{ грн}$$

5.2.4 Визначення витрат на матеріали

Використовується 3 найменування матеріалів: диск CD-R – 8 грн., картридж – 100 грн., папір – 156 грн.(1 упаковка).

Затрати на матеріали розраховуються за формулою 4.4.

$$M = \sum_{i=1}^n (Ц_i \cdot N_i \cdot (1 + K_{м.з.}) - Ц_{іо} \cdot N_{іо}), \quad (5.4)$$

де М – затрати на матеріали, комплектуючі вироби, грн.;

$K_{т.з.}$ – коефіцієнт, який враховує транспортно-заготовлені витрати;

$Ц_i$ – ціна і-го найменування матеріалу і комплектуючого, грн.;

N_i – потреба в і-му матеріалі і комплектуючому;

$Ц_{іо}$ – ціна зворотних відходів і-го найменування матеріалу, грн.;

N_{io} – кількість зворотних відходів i -го найменування;

n – кількість найменувань матеріалів і комплектуючих.

$$C_{io} = 0; N_{io} = 0, K_{m.з.} = 0.05$$

$$M = (1 + 0,05) * (8 + 100 + 156) = 277,2 \text{ грн}$$

$$M = (1 + 0.05) \cdot (8 + 140 + 116) = 277.2 \text{ грн.}$$

Разом, затрати на матеріали складають 277.20 грн.

5.2.5 Витрати на спеціальне обладнання

В цю статтю входять витрати на придбання, транспортування, монтаж і налагодження обладнання.

Практично, в даному випадку, в цій статті враховуються витрати на оплату машинного часу установки для проведення експерименту. Для чого необхідно скласти кошторис «витрат на утримання і експлуатацію устаткування» виходячи з якої визначиться вартість одного машинного часу роботи установки, після множення якої на машинний час пішло на розрахунки отримаємо витрати на оплату машинного часу.

Амортизаційні відрахування визначають за формулою 5.5:

$$A = \Phi_{\phi} \cdot \frac{H_a}{100}. \quad (5.5)$$

де Φ_{ϕ} – балансова вартість установки, грн.;

H_a – норма амортизаційних відрахувань на повне відновлення установки, %.

Балансова вартість установки становить 20000 грн. Отримуємо:

$$A = 20000 \cdot 0.25 = 5000 \text{ грн.}$$

Статтю «експлуатація обладнання» розраховують підсумовуванням витрат на електроенергію і допоміжні матеріали і розраховується по формулі 5.6.

$$C_e = N_n \cdot \Phi_{ef} \cdot K_{зч} \cdot K_{зн} \cdot C_e, \quad (5.6)$$

де N_n – номінальна потужність установки, кВт;

Φ_{ef} – річний ефективний фонд часу роботи установки, машинного-часу;

$K_{зч}$ – середній коефіцієнт завантаження за часом;

$K_{зн}$ – коефіцієнт завантаження по потужності;

C_e – ціна одного кВт·ч електроенергії, грн./ (кВт·ч).

Номінальна потужність установки – 0.2 кВт. Річний ефективний фонд часу роботи установки становить 1800 годин. Середні коефіцієнти завантаження за часом і за потужністю рівні відповідно 0.9 і 0.6. Ціна однієї кіловат-години електроенергії становить 2.11 грн.

Отримаємо:

$$C_e = 0.2 \cdot 1800 \cdot 0.9 \cdot 0.6 \cdot 2.11 = 410.18 \text{ грн.}$$

Зарплата обслуговуючого персоналу розраховується за формулою 5.7

$$ЗП_{обсл} = \Phi ЗП_{Г} \times (1 + K_{ВД}) \times \frac{t_{обсл}}{\Phi_{ef.обсл}} \quad (5.7)$$

де $\Phi ЗП_{Г}$ – річний фонд заробітної плати (основної і додаткової) обслуговуючих робітників, грн.;

$K_{вд}$ – коефіцієнт, який враховує відрахування на соціальне страхування та в інші фонди;

$t_{обсл}$ – час протягом року , необхідний на технічне обслуговування ЄВМ, г/рік;

$\Phi_{\text{эф.обсл.}}$ – річний ефективний фонд часу обслуговуючого персоналу, г/рік.

Місячна заробітна плата обслуговуючого персоналу становить 4000 грн., а річний фонд заробітної плати відповідно дорівнює 48000. Річний ефективний фонд робочого часу обслуговування ПК робітника дорівнює 1750 г/рік. На обслуговування одного ПК витрачається по 1 годині у місяць, що в рік становить 12 годин.

Отримаємо:

$$ЗП_{\text{обсл}} = 48000 \times (1 + 0.22) \times 12 / 1750 = 401,55 \text{ грн.}$$

Стаття «Поточний ремонт обладнання» приймається рівною 3% від балансової вартості обладнання становить 600 грн. Сума всіх попередніх статей дорівнює 6411.73 грн., 5% від суми, становить 320.6 грн.

Розраховані статті витрат на утримання і експлуатацію устаткування внесені в таблицю 5.4.

Таблиця 5.4 – Кошторис витрат на утримання і експлуатацію обладнання

Найменування статей витрат	Сума, грн.
Амортизация обладнання	5000
Експлуатація обладнання	410.18
Заробітна плата основних та додаткових обслуговуючих робітників з відрахуванням на соціальні заходи	401.55
Поточний ремонт обладнання	600
Інші витрати	320.6
Разом	6732.33

Витрати на оплату машинного часу установки для проведення експерименту визначаються за формулою 4.7:

$$C_{mo} = B_{екс} \cdot t_{mo} , \quad (5.8)$$

де C_{mo} – витрати на оплату машинного часу, грн.;

$B_{екс}$ – експлуатаційні витрати на одну годину машинного часу цієї установки, грн./машинного-часу.;

t_{mo} – машинний час установки для проведення експерименту, машинного-часу.

Експлуатаційні витрати на одну машинного часу використовуваної установки розраховують діленням суми витрат за кошторисом «Витрати на утримання і експлуатацію устаткування» на річний ефективний фонд часу роботи установки. Річний ефективний фонд часу роботи установки дорівнює 1800 годин. В результаті експлуатаційні витрати на одну машинного часу дорівнюватимуть:

$$B_{екс} = 6732.33 / 1800 = 3.74 \text{ грн./машинно-год}$$

Установка експлуатується 90 днів в одну зміну, що становить в сумі 720 годин. Таким чином, витрати на оплату машинного часу складуть:

$$C_{mo} = 3.74 \cdot 720 = 2692.8 \text{ грн.}$$

5.2.6 Розрахунок накладних витрат

До накладних витрат відносять затрати на загальне керування і загальногосподарські потреби, утримання та експлуатацію будівель. В даному випадку накладні витрати складають 25% від основної заробітної плати, що складає 10000 грн.

Результати визначення витрат на виконання чисельних розрахунків у вигляді калькуляції кошторисної вартості робіт наведені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Калькуляція кошторисної вартості роботи

Найменування статей витрат	Сума, грн.	Питома вага до підсумку, %
Основна заробітна плата	40000,00	60,02
Додаткова заробітна плата	4000,00	6,00
ЕСВ	9680,00	14,52
Матеріали	277,20	0,42
Витрати на спеціальне обладнання	2692,80	4,04
Накладні витрати	10000,00	15,00
Разом	66650,00	100
ПДВ (20%)	13330,00	
Разом	79980,00	

5.3 Розрахунок економічної ефективності НДР

Для теоретичних досліджень у більшості випадків важко чи навіть неможливо розрахувати економічний ефект, тому доцільно визначити їхню техніко-економічну ефективність з урахуванням наступних показників:

- важливість дослідження;
- складності розробки;
- результативності й можливості використання.

Важливість теоретичного дослідження оцінюють по його призначенню:

- рішення проблемних питань;
- задоволення вимог спеціальної техніки; пошук принципово нових конструктивних і технологічних рішень і т.п.

Складність виконання роботи визначають порівнянням отриманих результатів даного дослідження з результатами відомих аналогічних досліджень з обліком грошових і трудових витрат на їхнє проведення.

Результативність НДР можна визначити по повноті рішень поставленого завдання: отриманий результат відповідає плановому, задовільний (часткове рішення) чи негативний.

Аналіз залежності між цими показниками й витратами на їхнє досягнення дає можливість кількісної оцінки техніко-економічної ефективності теоретичних НДР по формулі 5.9:

$$K_{\text{НДР}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T}{B_{\text{НДР}} \cdot t_{\text{НДР}}}, \quad (5.9)$$

де $K_{\text{НДР}}$ – рівень ефективності дослідження (коефіцієнт техніко-економічної ефективності НДР);

$J = 2$ – важливість роботи. Таке значення обрали, тому що результати роботи являються базовим матеріалом для моделювання і рекомендуються для подальшого розвитку радіоелектроніки;

$R = 1,5$ – результативність роботи. Обрали таке значення, тому що всі поставлені дослідницькі задачі виконано;

$T = 3$ – технічна складність виконання НДР.

$B_{\text{НДР}} = 79,980$ тис. грн – витрати на проведення НДР;

$t_{\text{НДР}} = 0,352$ року – час проведення НДР;

$n = 3$ – показник використання результатів НДР

При значенні $K_{\text{НДР}} \geq 1$ дослідницька робота вважається ефективною.

Отже, розрахуємо $K_{\text{НДР}}$:

$$K_{\text{НДР}} = (2^3 \cdot 1,5 \cdot 3) / (79,980 \cdot 0,352) = 1,28$$

Після розрахунку (5.6) отримаємо рівень ефективності дослідження $K_{\text{НДР}} = 1,28$. Це більше 1, тому робимо висновок, що дана дослідницька робота є ефективною.

6 ОХРАНА ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТЬ В ПЕРИОД ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

6.1 Анализ потенциальных опасностей

Магистерская работа на тему "Составная бытовая спиральная антенна цифрового телевидения" носит научно-исследовательский характер. Рабочее место представляет собой небольшую лабораторию, оснащённую компьютерами и разного рода электрическим оборудованием и измерительной техникой.

К комплексу общих неблагоприятных факторов, обусловленных характером производственного процесса и условиями труда можно отнести:

а) поражение электрическим током вследствие неисправности электрического оборудования и нарушения правил электробезопасности, отсутствия или неисправности заземляющего контура, что может привести к электрическим травмам;

б) электромагнитные излучения от компьютера, включают в себя различные виды излучения от дисплея (рентгеновское, ультрафиолетовое, инфракрасное) и в результате возможны заболевания глаз, кожи, снижению иммунитета. Следует отметить, что в современных мониторах на основе светодиодных экранов рентгеновское излучение отсутствует;

в) повышенная нагрузка на опорно-двигательный аппарат, вследствие долгого сидения за рабочим местом (как результат – заболевания костно-мышечного опорно-двигательного аппарата);

г) механические травмы из-за неправильной установки мебели, неправильного оборудования и оснащения рабочих мест;

д) неудовлетворительные параметры микроклимата (пониженная или повышенная влажность воздуха, высокая или низкая температура воздуха и т.д.), что может привести к нарушению состояния здоровья, ухудшению самочувствия;

е) недостаточное освещение рабочих помещений из-за неправильного расчёта количества и мощности осветительных устройств или их неисправности;

ж) перенапряжение зрительных и слуховых органов, а также эмоциональные нагрузки (как результат – умственное и физическое перенапряжение);

з) возможность возгорания электроприборов из-за нарушения правил пожарной безопасности, что приводит к повреждению оборудования и к ожогам рабочих;

и) неправильное поведение персонала в условиях чрезвычайных ситуациях, из-за неинформированности персонала, или его неправильных действий.

Так как тема дипломного проекта "Бытовая телевизионная антенна дециметрового диапазона" носит исследовательский характер (исследование свойств на математических моделях) и предусматривает проведение работ в лаборатории, оборудованной персональными компьютерами с визуальными дисплейными терминалами, поэтому далее рассмотрим мероприятия по обеспечению безопасности, производственной санитарии, гигиене труда и пожарной безопасности для лаборатории с персональными компьютерами.

6.2 Мероприятия по обеспечению техники безопасности

Для обеспечения электробезопасности должны применяться отдельно или в сочетании друг с другом следующие технические способы и средства: безопасная конструкция электроустановок; защитное заземление; электрическое разделение сетей; изоляция токоведущих частей; предупредительная сигнализация.

Изоляция токоведущих частей (рабочая, дополнительная, усиленная, двойная) должна соответствовать ГОСТ 12.2.007.0-75 ССБТ «Изделия электротехнические. Общие требования безопасности».

Элементы для осуществления защитного заземления металлических нетоковедущих частей изделия, которые могут оказаться под напряжением (при нарушении изоляции, режима работы изделия и т.п.) должны быть выполнены согласно ГОСТ 12.2.007.0-75 ССБТ «Изделия электротехнические. Общие требования безопасности».

Защитное заземление (зануление) должно соответствовать ПУЭ (Правила Устройства Электроустановок). Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора или выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

Для заземления электроустановок могут быть использованы искусственные и естественные заземлители. Если при использовании естественных заземлителей сопротивление заземляющих устройств или напряжение прикосновения имеет допустимое значение, а также обеспечиваются нормированные значения напряжения на заземляющем устройстве и допустимые плотности токов в естественных заземлителях, выполнение искусственных заземлителей в электроустановках до 1 кВ не обязательно. Использование естественных заземлителей в качестве элементов заземляющих устройств не должно приводить к их повреждению при протекании по ним токов короткого замыкания или к нарушению работы устройств, с которыми они связаны.

Электрические сети должны иметь защиту от токов короткого замыкания, обеспечивающую по возможности наименьшее время отключения и требования селективности. Защита должна обеспечивать отключение поврежденного участка при КЗ в конце защищаемой линии.

Вид изоляции оборудования лаборатории выберем рабочим (т.е. электрическая изоляция токоведущих частей электроустановки, обеспечивающая ее нормальную работу и защиту от поражения электрическим

током) в соответствии с ГОСТ 12.1.009-76 «ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения».

Класс электротехнических изделий по способу защиты человека от поражения электрическим током в соответствии с этим же ГОСТом выберем I - изделия, имеющие по крайней мере рабочую изоляцию и элемент для заземления. В случае если изделие класса I имеет провод для присоединения к источнику питания, это провод должен иметь заземляющую жилу и вилку с заземляющим контактом.

Для обеспечения безопасности работ в действующих электроустановках и предотвращения травмоопасных ситуаций, выполняются следующие организационные мероприятия в соответствии с ГОСТ 12.1.019-79 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»:

- назначение лиц, ответственных за организацию и производство работ;
- оформление работы нарядом или устным распоряжением;
- допуск к работе;
- надзор во время работы.

С целью исключения механических травм, в соответствии с ГОСТ 12.2.061-81 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам»: рабочее место, его оборудование и оснащение, применяемые в соответствии с характером работы, должны обеспечивать безопасность, охрану здоровья и работоспособность персонала.

Уровень электромагнитных излучений не должен нарушать требований ГОСТ 12.1.045-84 "Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля": допустимые уровни напряжённости электростатических полей устанавливаются в зависимости от времени пребывания персонала на рабочих местах. Предельно допустимый уровень напряжённости электростатических полей устанавливается равным 60 кВ/м в течение 1 часа. При напряженности электростатических полей менее 20 кВ/м время пребывания в электростатических полях не регламентируется.

6.3 Мероприятия по обеспечению производственной санитарии и гигиены труда

Согласно ДСанПиН 3.3.2.007-98 «Государственных санитарных правил и норм работы с визуальными дисплейными терминалами электронно-вычислительных машин» установлены санитарно-гигиенические требования к параметрам производственной среды помещений с компьютерной техникой (КТ).

В производственных помещениях на рабочих местах с компьютерной техникой должны обеспечиваться оптимальные значения параметров микроклимата: температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха согласно требованиям ДСН 3.3.6.042-99 «Санитарные нормы микроклимата производственных помещений» и ГОСТ 12.1.005-88* «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

Для минимизации негативного воздействия специфической работы и сохранения работоспособности, в течение всего рабочего дня следует предусмотреть: обеспечение правильной «рабочей позы» при «сидячем» режиме работы, регламентированные перерывы, пространство и условия для минимальной разминки и отдыха. (СНиП 2.2.2.542-96, а также приложение 15 «Время регламентированных перерывов в зависимости от продолжительности рабочей смены»).

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей (размер ВДТ и ПЭВМ, клавиатуры, пюпитра и др.), характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ВДТ и ПЭВМ, позволять изменять

позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на оптимальном расстоянии 600 – 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция ВДТ должна обеспечивать возможность фронтального наблюдения экрана путем поворота корпуса в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси в пределах $\pm 30^\circ$ и в вертикальной плоскости вокруг горизонтальной оси в пределах $\pm 30^\circ$ с фиксацией в заданном положении. Дизайн ВДТ должен предусматривать окраску корпуса в спокойные мягкие тона с диффузным рассеиванием света. Корпус ВДТ и ПЭВМ, клавиатура и другие блоки и устройства ПЭВМ должны иметь матовую поверхность одного цвета с коэффициентом отражения 0,4...0,6 и не иметь блестящих деталей, способных создавать блики. На лицевой стороне корпуса ВДТ не рекомендуется располагать органы управления, маркировку, какие-либо вспомогательные надписи и обозначения. При необходимости расположения органов управления на лицевой панели они должны закрываться крышкой или быть утоплены в корпусе.

Уровень глаз при вертикально расположенном экране ВДТ должен приходиться на центр или $2/3$ высоты экрана. Линия взора должна быть перпендикулярна центру экрана и оптимальное ее отклонение от перпендикуляра, проходящего через центр экрана в вертикальной плоскости, не должно превышать ± 5 градусов, допустимое ± 10 градусов.

Для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранения здоровья профессиональных пользователей, на протяжении рабочей смены должны

устанавливаться регламентированные перерывы. Во время регламентированных перерывов с целью снижения нервно-эмоционального напряжения, утомления зрительного анализатора, устранения влияния гиподинамии и гипокинезии, предотвращения развития позиотонического утомления целесообразно выполнять комплексы упражнений.

Для работ, выполняемых с большой нагрузкой, рекомендован 10-15 минутный перерыв после каждого часа работы, а при интенсивной и монотонной работе 10-15 минут через каждые 2 часа. Количество микропауз (длительностью до 1 минуты) регулируется индивидуально.

Проведение физических упражнений с дозированной нагрузкой в течение рабочего дня рекомендуется индивидуально, в зависимости от ощущения усталости. Гимнастика направлена на коррекцию вынужденной позы, улучшение венозного кровообращения, частичное восполнение дефицита двигательной активности. Мышечные усилия комплекса упражнений – умеренные, темп средний. После окончания гимнастики необходим пассивный отдых, длительностью в 2-3 минуты перед работой.

Во всех случаях, когда производственные обстоятельства не позволяют применить регламентированные перерывы, длительность непрерывной работы с ВДТ не должна превышать 4 часа.

В помещениях с КТ должен быть обеспечен 3-кратный обмен воздуха в час. Для обеспечения постоянных параметров микроклимата (температуры, влажности, скорости движения и чистоты воздуха) в помещениях могут быть установлены бытовые кондиционеры типа БК-1500, БК-2000, БК-2500 и др.

Помещения с КТ должны иметь естественное и искусственное освещение. При неудовлетворительном освещении снижается производительность труда пользователей КТ, возможно появление близорукости, быстрая утомляемость.

Естественное освещение в помещениях с КТ должно отвечать требованиям ДБН В.2.5-28-2006 «Инженерного оборудования зданий и сооружений. Естественное и искусственное освещение». Естественное освещение должно осуществляться через световые проемы, ориентированные

преимущественно на север или северо-восток и обеспечивать коэффициенту естественной освещенности (КЕО) не ниже 1,5%. Для защиты от прямых солнечных лучей, которые создают прямые и отраженные блики на поверхности экранов и клавиатуры, должны быть предусмотрены солнцезащитные устройства, на окнах должны быть жалюзи или шторы. Удовлетворительное естественное освещение легче создать в небольших помещениях на 5-8 рабочих мест.

Искусственное освещение в помещениях с рабочими местами, оборудованными компьютерными РС, должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, допускается применение системы комбинированного освещения.

Для общего освещения следует применять светильники серии ЛПО 36 с зеркальными решетками, укомплектованные высокочастотными пускорегулирующими аппаратами (ВЧ ПРА). Применение светильников без рассеивателей и экранирующих решеток не допускается.

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50° до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м², защитный угол светильников - не менее 40° .

Уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах, оборудованных ПК, должны соответствовать требованиям ДСанПиН 3.3.2.007-98 «Государственных санитарных правил и норм работы с визуальными дисплейными терминалами электронно-вычислительных машин» и ДСН 3.3.6-037-99 «Санитарные нормы производственного шума, ультразвука и инфразвука».

Во время выполнения работ с ПК в производственных помещениях значения характеристик вибрации на рабочих местах не должны превышать допустимые согласно ДСанПиН 3.3.2.007-98 «Государственных санитарных правил и норм работы с визуальными дисплейными терминалами электронно-

вычислительных машин» и ДСН 3.3.6-039-99 «Государственные санитарные нормы производственной общей и локальной вибрации».

Системы отопления и системы кондиционирования следует установить так, чтобы ни тёплый, ни холодный воздух не направлялся на людей. На производстве рекомендуется создавать динамический климат с определёнными перепадами показателей. Температура воздуха у поверхности пола и на уровне головы не должна отличаться более чем на 5 градусов. В производственных помещениях помимо естественной вентиляции предусматривают приточно-вытяжную вентиляцию. Основным параметром, определяющим характеристики вентиляционной системы, является кратность обмена, т.е. сколько раз в час сменится воздух в помещении.

Ниже приведен расчет воздухообмена:

V_1 – объём воздуха необходимый для обмена;

V_2 – объём рабочего помещения.

Для расчёта примем следующие размеры рабочего помещения:

длина $B = 7,35\text{м}$;

ширина $A = 4,9\text{м}$;

высота $H = 4,2\text{м}$.

Соответственно объём помещения равен:

$$V_2 = A \cdot B \cdot H = 151,263 \text{ куб.м.}$$

Необходимый для обмена объём воздуха $V_{1\text{вент}}$ определим исходя из уравнения теплового баланса:

$$V_1 \cdot C \cdot (t_{\text{ух}} - t_{\text{пр}}) \cdot Y = 3600 \cdot Q_{\text{изб}},$$

где $Q_{\text{изб}}$ – избыточная теплота (Вт);

$C = 1000$ – удельная теплопроводность воздуха (Дж/кгК);

$Y = 1,2$ – плотность воздуха (мг/см);

$t_{\text{ух}}$ – температура уходящего воздуха, град;

$t_{\text{пр}}$ – температура приходящего воздуха, град.

Температура уходящего воздуха определяется по формуле:

$$t_{yx} = t_{pm} + (H - 2)t,$$

где $t = 1-5$ градусов – превышение t на 1 м высоты помещения;

$t_{pm} = 25$ градусов – температура на рабочем месте;

$H = 4,2$ м – высота помещения;

$t_{пр} = 18$ градусов.

Тогда:

$$t_{yx} = 25 + (4,2 - 2) 2 = 29,4$$

Далее:

$$Q_{изб} = Q_{изб.1} + Q_{изб.2} + Q_{изб.3},$$

где $Q_{изб.1}$ – избыток тепла от электрооборудования и освещения.

$$Q_{изб.1} = E \cdot p,$$

где E – коэффициент потерь электроэнергии на теплоотвод ($E = 0,55$ для освещения);

p – мощность, $p = 40 \text{ Вт} \cdot 15 = 600 \text{ Вт}$.

Тогда

$$Q_{изб.1} = 0,55 \cdot 600 = 330 \text{ Вт}.$$

где $Q_{изб.2}$ – тепlopоступление от солнечной радиации.

$$Q_{изб.2} = m \cdot S \cdot k \cdot Q_c,$$

где m – число окон, примем $m = 4$;

S – площадь окна, $S = 2,3 \cdot 2 = 4,6 \text{ кв.м}$;

k – коэффициент, учитывающий остекление. Для двойного остекления $k = 0,6$;

$Q_c = 127 \text{ Вт/м}$ – тепlopоступление от окон.

Тогда

$$Q_{\text{изб.2}} = 4,6 \cdot 4 \cdot 0,6 \cdot 127 = 1402 \text{ Вт.}$$

где $Q_{\text{изб.3}}$ – тепловыделения людей.

$$Q_{\text{изб.3}} = n \cdot q,$$

где $q = 80 \text{ Вт/чел.}$, n – число людей, например, $n = 15$.

$$Q_{\text{изб.3}} = 15 \cdot 80 = 1200 \text{ Вт}$$

В результате получаем:

$$Q_{\text{изб}} = 330 + 1402 + 1200 = 2932 \text{ Вт}$$

Тогда из уравнения теплового баланса следует:

$$V_1 = 3600 \cdot 2932 / 1000 \cdot (29,4 - 18) = 926 \text{ куб. м.}$$

Расчет кратности

$$\text{Кратность} = V_1/V_2 = 6.12$$

6.4 Мероприятия по пожарной безопасности

Согласно СНиП 2.09.02-85 "Производственные здания" производственно-лабораторное здание должно иметь степень огнестойкости не ниже III. Категория взрыво- пожаробезопасности – Д.

В помещениях и коридорах следует предусматривать дымоудаление на случай пожара в соответствии со СНиП 2.04.05-86.

Для эвакуации людей в случае возникновения пожара СНиП 2.09.02-85 допускает организацию одного эвакуационного выхода из помещения, расположенного на любом этаже (кроме подвальных и цокольного), если этот выход ведет к двум эвакуационным выходам с этажа, расстояние от наиболее

удаленного рабочего места до выхода из помещения не превышает 25 м и численность работающих в наиболее многочисленной смене не превышает 25 чел.

Расстояние от наиболее удаленного рабочего места до ближайшего эвакуационного выхода из помещения непосредственно наружу или в лестничную клетку для зданий категории Д не регламентируется.

Согласно ГОСТ 12.1.004-91, пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться системами предотвращения пожара, противопожарной защиты и организационно-техническими мероприятиями.

Системы пожарной безопасности должны характеризоваться уровнем обеспечения пожарной безопасности людей и материальных ценностей, а также выполнять одну из следующих задач: исключать возникновение пожара; обеспечивать пожарную безопасность людей и/или материальных ценностей.

Объекты должны иметь системы пожарной безопасности, направленные на предотвращение воздействия на людей опасных факторов пожара, в том числе их вторичных проявлений на требуемом уровне.

Под активной борьбой с пожаром понимают тушение пожара с применением средств пожаротушения. К этим средствам относят различные огнетушители, их делят по типу наполнения на порошковые и углекислотные, песок, негорючие материалы, любые материалы и средства, которые препятствуют распространению огня и горению материалов.

Опасными факторами пожара, воздействующими на людей и материальные ценности, являются: пламя и искры; повышенная температура окружающей среды; дым; пониженная концентрация кислорода.

Ко вторичным проявлениям опасных факторов пожара, воздействующим на людей и материальные ценности, относятся: осколки, части разрушившихся аппаратов, агрегатов, установок, конструкций; токсичные вещества и материалы, вышедшие из разрушенных аппаратов и установок; электрический ток, возникший в результате выноса высокого напряжения на токопроводящие части конструкций, аппаратов, агрегатов; огнетушащие вещества.

Электрическая проводка в здании должна быть изолирована, так как это снижает риск возникновения замыкания и возникновения в результате этого огня. Кабель, провод должен быть проложен по негорючему основанию. Для того, чтобы снизить риск короткого замыкания устанавливают приборы УЗО, автоматические, плавкие предохранители. Газовые и электрические плиты должны быть изолированы от деревянной мебели. Розетки на внешних стенах здания и в санузлах должны быть изолированы от попадания влаги.

Так как в ПК используется электроника, то возникший пожар нельзя тушить водой, так как это может привести к короткому замыканию и возникновению новых очагов пожара. Для тушения электроустановок используют углекислый газ, пену или порошковые составы. Первичным средством пожаротушения углекислым газом являются ручные огнетушители типа ОУ-2, ОУ-5. Для гашения огня необходимо применять огнетушители этих типов.

Для обнаружения начальной стадии загорания и оповещения службы пожарной охраны используются системы автоматической пожарной сигнализации (АПС). Кроме того, они могут самостоятельно приводить в действие установки пожаротушения, когда пожар еще не достиг больших размеров. Системы АПС состоят из пожарных извещателей, линий связи и приемных пультов (станций).

Эффективность применения систем АПС определяется правильным выбором типа извещателей и мест их установки. При выборе пожарных извещателей учитывались конкретные условия их эксплуатации: особенности помещения и воздушной среды, наличие пожарных материалов, характер возможного горения, специфика технологического процесса и т.п.

В соответствии с "Типовыми правилами пожарной безопасности для промышленных предприятий" помещение комнаты, как и смежные помещения, оборудуются дымовыми пожарными сигнализациями, поскольку в помещениях в начале пожара при горении различных пластмассовых, изоляционных

материалов и бумажных изделий выделяется значительное количество дыма и мало теплоты.

Объекты здания, в котором находится комната, кроме АПС оборудованы установками стационарного автоматического пожаротушения. Наиболее целесообразно применять установки газового тушения пожара, действие которых основано на быстром заполнении помещения огнетушащим газовым веществом с резким снижением содержания в воздухе кислорода.

6.5 Мероприятия по обеспечению безопасности при чрезвычайных ситуациях

Одним из важнейших мероприятий по обеспечению безопасности при чрезвычайных ситуациях являются мероприятия по оповещению населения и производственного персонала о возникновении чрезвычайной ситуации.

Сигналы оповещения служат для своевременного доведения до органов гражданской обороны распоряжений и информации об эвакуации, воздушном нападении противника, радиационной опасности, химическом и бактериологическом (биологическом) заражении, угрозе затопления, начале рассредоточения и др.

Новейшие технологии позволяют незамедлительно определить не только место и направление движения носителя (самолёт, вертолёт, ракета и т.д.) оружия нападения, а также время его подлета. Подобные технологии обеспечивает передачу сигнала по системе оповещения до штабов гражданской обороны и объектов.

Сигналы оповещения применяются главным образом в случае внезапного нападения противника, когда реальное время для предупреждения населения будет крайне ограниченным и исчисляться минутами.

Известно, что своевременное оповещение населения дает возможность укрытия его за 10-15 минут непосредственно после оповещения. Вследствие чего снижаются потери людей с 85 % до 4-7 % при внезапном применении

противником оружия массового поражения. Поэтому защита населения, в первую очередь, зависит от хорошо организованной системы оповещения, организация которой возлагается на штабы гражданской обороны.

Оповещения производятся всеми видами связи: телевидением, радиовещанием, применением специальной аппаратуры и средств для подачи звуковых и световых сигналов. Незамедлительно даются указания о порядке действий населения и их формирований, оговаривается приблизительное время начала выпадения радиоактивных осадков, время подхода зараженного воздуха, а также вид отравляющих веществ. Провозглашенные вышестоящим штабом сигналы дублируются всеми подчиненными штабами.

Существует ряд сигналов, которые служат для оповещения населения городов и сельских населенных пунктов о возникновении непосредственной опасности применения противником ядерного, химического, бактериологического (биологического) или другого оружия: “Воздушная тревога” “Отбой воздушной тревоги”; “Радиационная опасность”; “Химическая тревога”.

В городах устанавливаются разнообразные сигнальные аппараты и средства связи. Благодаря им с помощью пульта можно включать громкоговорящую связь и квартирную радиотрансляционную сеть, а также производить вызов руководящего состава города и объектов народного хозяйства по циркулярной телефонной сети. С помощью подобных аппаратур принимаются распоряжения вышестоящих штабов.

Сигнал “Воздушная тревога”. Подобный сигнал подается для всего населения. Данный сигнал оповещает об опасности поражения противником данного города. По радиотрансляционной сети передается текст: “Внимание! Внимание! Граждане! Воздушная тревога! Воздушная тревога!” Эта трансляция сопровождается звуком сирен, гудками заводов и транспортных средств. Продолжительность сигнала 2-3 минуты. При подаче этого рабочие прекращают работу в соответствии с установленной инструкцией и указаниями администрации, исключая возникновение аварий, но если по

технологическому процессу или требованиям безопасности нельзя остановить производство, остаются дежурные, для которых строятся индивидуальные убежища. Останавливается транспорт и все население укрывается в защитных сооружениях. При уведомлении данным сигналом населению необходимо соблюдать спокойствие. Соблюдение правил поведения по этому сигналу значительно сокращают потери людей.

Сигнал “Отбой воздушной тревоги”, этот сигнал оповещается органами гражданской обороны. Передается следующий текст по радиотрансляции: “Внимание! Внимание, граждане! Отбой воздушной тревоги. Отбой воздушной тревоги”. При поступлении этого сигнала населению разрешается покинуть убежища с разрешения комендантов, а рабочие могут приступать к продолжению своей оставленной работы. В местах, где противник нанес удары оружием массового поражения, населению передается информация о сложившейся обстановке, режимах поведения населения, о принимаемых мерах по ликвидации последствий нападения.

Сигнал “Радиационная опасность”. Задачей данного сигнала служит оповещение населенных пунктов и районов, к которым движется радиоактивное облако, образовавшееся при взрыве ядерного боеприпаса. Услышав данный сигнал, необходимо срочно надеть респиратор, ватно-марлевую повязку, при отсутствии данных предметов надеть противогаз. Собрать заготовленный заранее запас продуктов, индивидуальные средства медицинской защиты, предметы первой необходимости и спрятаться в противорадиационное убежище.

Сигнал “Химическая тревога”, оповещение подобного сигнала свидетельствует об угрозе или обнаружении химического или бактериологического нападения. Необходимо немедленно надеть противогаз и укрыться в защитном сооружении, при отсутствии подобных сооружений необходимо воспользоваться жилыми, производственными или подсобными помещениями. При использовании противником бактериологического оружия, по системам оповещения население немедленно получит дополнительные

сведения о дальнейших действиях. Следует соблюдать все требования органов гражданской обороны, а также выполнять их распоряжения и после того как опасность миновала.

Основной способ оповещения населения об опасности главным образом производится с помощью радио и телевидения. Приведем примеры оповещения о различных опасностях.

В случае наводнения информация об опасности будет оповещаться следующим текстом: “Внимание! Говорит штаб гражданской обороны района. Граждане! В связи с внезапным повышением уровня воды в реке Серебрянка ожидается подтопление домов в районе улиц Некрасова, Речная, Железнодорожная и поселка Северный. Населению этих улиц и поселка собрать необходимые вещи, продукты питания на 3 дня, воду, отключить газ и электроэнергию и выйти в район школы № 7 для регистрации на сборном эвакуунке и отправки в безопасные районы”. В случае аварии на АЭС информация об опасности будет оповещаться следующим текстом: “Внимание! Говорит штаб гражданской обороны района. Граждане! Произошла авария на атомной электростанции. В районе города Запорожье ожидается выпадение радиоактивных веществ. Населению поселка находиться в жилых домах. Провести герметизацию помещений и подготовиться к эвакуации. В дальнейшем действовать в соответствии с указаниями штаба ГО”.

При аварии на химическом объекте: “Внимание! Говорит штаб гражданской обороны города. Граждане! Произошла авария на комбинате с выбросом ядовитого сильнодействующего вещества - аммиака. Облако зараженного воздуха распространяется в направлении поселка Заречный. Населению улиц Новая, Зеленая, Садовая находиться в зданиях. Провести герметизацию своих жилищ. Населению улиц Заводская, Кузнечная немедленно покинуть жилые дома, учреждения, учебные заведения и выйти в район озера им.Ленина. В дальнейшем действовать в соответствии с нашими указаниями”.

При возникновении угрозы нападения противника местными органами власти и штабами ГО с помощью средств массовой информации передаются населению постановления или распоряжения о порядке действий. С этого времени радиоточки, телевизоры должны быть постоянно включены для приема новых сообщений. В кратчайшие сроки население должно принять необходимые меры защиты и включиться в выполнение мероприятий, проводимых ГО. Очень важно сразу уточнить место ближайшего убежища (укрытий) и пути подхода к нему. Если поблизости нет защитных сооружений, нужно немедленно приступить к строительству простейшего укрытия либо приспособлению заглубленных помещений (даже 1-го этажа каменного здания) под укрытие. В этой работе активное участие должны также принять учащиеся старшекласники. Необходимо привести в готовность средства индивидуальной защиты, приспособить подручные средства, достать домашнюю аптечку. В жилых помещениях следует провести герметизацию окон, дверей, провести противопожарные мероприятия; принять меры к предохранению продуктов питания, воды от возможного заражения (загрязнения). Необходимо подготовить все самое необходимое на случай эвакуации.

В последующем при непосредственной опасности ударов противника с воздуха подается сигнал “Воздушная тревога!” Ему предшествует сигнал “Внимание всем!”, а затем средствами радио и телевидения будет передано: “Внимание! Внимание! Говорит штаб гражданской обороны. Граждане! Воздушная тревога! Воздушная тревога! Отключите свет, газ, воду, погасите огонь в печах. Возьмите средства индивидуальной защиты, документы, запас продуктов и воды. Предупредите соседей и при необходимости помогите больным и престарелым выйти на улицу. Как можно быстрее дойдите до защитного сооружения или укройтесь на местности. Соблюдайте спокойствие и порядок. Будьте внимательны к сообщениям гражданской обороны”! Сигнал “Внимание всем!” может свидетельствовать например о скорой угрозе

радиоактивного или бактериологического заражения. В данной ситуации последует краткое сообщение о порядке действий и правилах поведения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнено исследование возможности создания бытовой антенны для приёма сигналов цифрового телевидения.

Выполнено обоснование параметров приёмной антенны для условий Запорожского региона. Учтены особенности работы антенны в части возможной деполяризации на трассе распространения сигналов.

Выполнено обоснование структуры приёмной антенны на основе использования двойной спиральной антенны с различными парциальными элементами.

Обосновано применение метода векторного потенциала для электродинамического исследования спиральных антенн. Рассмотрен интерфейс программы WinWire и его использования для выполнения численных исследований.

Решены вопросы уменьшения габаритов разработанной антенны на основе использования для двойной спиральной антенны парциальных спиралей плоского типа в виде однозаходовых спиралей Архимеда. Решен вопрос уменьшения парусности отражателя.

Разработанная и исследованная антенна полностью удовлетворяет требованиям организации цифрового телевидения для условий Запорожского региона.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Шокало В.М. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Ч.1. Основи теорії електромагнітного поля. [Текст]: підручник для студентів ВНЗ / В.М. Шокало, В.І. Правда, В.А. Усін, В.С. Вунтесмері, Д.В. Грецьких: за ред. В.М. Шокало та В.І. Правди. – Харків, ХНУРЕ: Колегіум, 2009. – 286 с.
2. Шокало В.М. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Ч.2. Випромінювання та поширення радіохвиль [Текст]: підручник для студентів ВНЗ / В.М. Шокало, В.І. Правда, В.А. Усін, В.С. Вунтесмері, Д.В. Грецьких; за ред. В.М. Шокало та В.І. Правди. – Харків, ХНУРЕ: Колегіум, 2010. – 425 с.
3. Пименов Ю.В. Техническая электродинамика [Текст]: учебное пособие для ВУЗов / Ю.В. Пименов, В.И. Вольман, А.Д. Муравцов: под ред. Ю.В. Пименова. – М.: Радиосвязь, 2000. – 536 с.
4. Марков Г.Т. Антенны [Текст] / Г.Т. Марков, Д.М. Сазонов. – М.:Энергия, 1975. – 528 с.
5. Лавров А.С. Антенно-фидерные устройства [Текст] / А.С. Лавров, Г.Б. Резников. – М.: Сов.радио, 1974. – 368 с.
6. Нестеренко И.И. Выбери антенну сам [Текст] / И.И. Нестеренко, А.В. Жужевич. – Запорожье: Розбудова, 1998. – 256 с.
7. Круглікова В.В. Методичні вказівки до виконання економічного розділу науково-дослідницьких дипломних робіт [текст] / В.В. Круглікова, Р.В. Бобровникова. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. – 26 с.
8. Арустамов Э.А. Охрана труда: справочник [Текст] / Э.А. Арустамов. – Киев: Техніка, 2008. – 588 с.
9. Проценко М.Б. Анализ и синтез проволочных антенн криволинейной формы [Текст] / дисс. докт. техн. наук / М.Б. Проценко.– Севастополь: СевНТУ, 2004. – 330с.