

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Мұрымбай Нұрсәт Кенжеұлы

«Жер асты антенна жүйелерін талдау»

**ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering мамандығы

Алматы 2024

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ  
МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы



ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Жер асты антенна жүйелерін талдау»

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering мамандығы

Орындаған:

*[Signature]*

Н.К.Мұрымбай

Рецензент:

Техн.ғыл.канд., қауымдастырылған

профессор ҚазҰАУ

*[Signature]* А.Төкмолдаев

« 27 » 05 2024 ж.

Ғылыми жетекші

Техн.ғыл.кандидаты,

аға оқытушы

*[Signature]* М.А.Абдуллаев

« 27 » 05 2024 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ  
МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыш технологиялар кафедрасы

6В07104 – Electronic and Electrical Engineering мамандығы

 **БЕКІТЕМІН**  
ЭТ ж ҒТ кафедра меңгерушісі  
техн. ғыл. канд.  
Е.Таштай  
« 4 » 10 2024ж

**Дипломдық жұмыс орындауға  
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Мұрымбай Нұрсәт Кенжеұлы

Тақырыбы: «Жер асты антенна жүйелерін талдау».

Университет ректорының «24» желтоқсан 2023ж. №548 П/Ө бұйрығымен  
бекітілген.

Аяқталған жобаны тапсыру мерізімі «30» мамыр 2024 ж.

Жұмыстың бастапқы мәліметтері:

- а) Жерасты антенна құрылысы;
- б) Қолданыстағы шешімдердің негізгі сипаттамаларын және ДКМВ диапазонындағы жерасты антенна жүйелерін құру принциптері;
- в) Антенна жүйесіне талаптар: жылдамдығы, бір сағаттағы жұмыс ұзақтығы;

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

- 1) Жерасты антенна жүйелерін модельдеу мен жобалаудың негізгі әдістері;
- 2) Антенналарды электродинамикалық талдау әдістемесін әзірлеу;
- 3) Қорек көзін есептеу (математикалық әдіспен).

Сызба материалдары \_\_\_ слайдта көрсетілген.

Ұсынылатын негізгі әдебиет 6 атау

1 Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. MPLS – Технология и протоколы. –

СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2005. – 304 с.

2 Одом, Уэндел. Официальное руководство Cisco по подготовке к сертификационным экзаменам CCNA ICND2 640-816, 3-е изд.: Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2013. – 752 с.

3 Manualslib – the ultimate manuals library: MPLS Working Principle. URL: <http://www.manualslib.com/> (дата обращения 17.02.15)

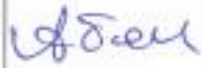


4 Multiprotocol Label Switching (MPLS). URL: <http://www.cisco.com/> (дата обращения 17.02.2015)

Дипломдық жұмысты дайындау  
КЕСТЕСІ

| Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі   | Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерізімі | Ескерту   |
|---|---|-----------|
| Теориялық бөлім                                   | 07.02.2024 ж. – 23.03.2024 ж.                       | орындалды |
| Негізгі өлшемдер жүргізіп, параметрлерін есептеу; | 24.03.2024 ж. – 20.04.2024 ж.                       | орындалды |
| Тиімді сызба әзірлеу                              | 20.04.2024 ж.-30.04.2023 ж.                         | орындалды |

Дипломдық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа қойған

**Қолтаңбалары**

| Бөлімдер атауы                    | Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы) | Қол қойылған күні | Қолы  |
|-----------------------------------|--|-------------------|---|
| Диплом жұмысының тақырыбын талдау | Техн.ғыл.канд., ЭТЖҒТ каф. аға оқытушысы<br>Абдуллаев М.А.   | 27.05.2024 ж.     |  |
| Теориялық ақпарат                 | Техн.ғыл.канд., ЭТЖҒТ каф. аға оқытушысы<br>Абдуллаев М.А.   | 27.05.2024 ж.     |  |
| Норма бақылау                     | ЭТЖҒТ каф.<br>ассистенті<br>Ақылжан П.                       | 27.05.2024 ж.     |  |

Ғылыми жетекшісі  М.А.Абдуллаев

(қолы)

Тапсырманы орындауға алған білім алушы  Н.К.Мұрымбай

(қолы)

Күні « 27 » 05 2024 ж.

## АНДАПТА

Бұл дипломдық жобада "жер асты антенналарын құру принциптері" туралы ақпарат берілген. Бастапқы бөлімде жер асты антенналарының сипаттамасы, құрылымы, олардың байланыс әдістері, яғни топологияның түрлері мен артықшылықтары ұсынылды.

Негізгі бөлімде осы тақырып бойынша теориялық ақпарат толығымен енгізіледі, олар осы кабельдің негізгі құрамдас бөлігі болып табылатын байланыс жүйесінде сипатталады.

Дипломның үшінші бөлігі жобаланған тапсырмалар бойынша есептеу бөлімінде жер асты антеннасының негізгі параметрлері орындалады, атап айтқанда: әлсіреу, өткізу қабілеттілігі, арналар саны, өткізу қабілеті, ыдырау коэффициенттері, меншікті өткізу қабілеттілігі.

## АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте представлена информация о «принципах построения подземных антенн». В начальном разделе были представлены характеристика, структура подземных антенн, способы их связи, т. е. виды и преимущества топологии.

В основной части полностью вводятся теоретические сведения по данной теме, они описываются в системе связи, основной составляющей этой кабели.

Третья часть дипломной работы в расчетной части по проектируемым заданиям выполняются основные параметры подземной антенны, а именно: затухание, полоса пропускания, количество каналов, пропускная способность, коэффициенты затухания, собственные полосы пропускания.

## ANNOTATION

This thesis project provides information on the "principles of building underground antennas". In the initial section, the characteristics, structure of underground antennas, methods of their communication, i.e. types and advantages of topology were presented.

In the main part, theoretical information on this topic is fully introduced, they are described in the communication system, the main component of this system.

The third part of the thesis in the calculation part of the designed tasks, the main parameters of the underground antenna are performed, namely: attenuation, bandwidth, number of channels, bandwidth, attenuation coefficients, own bandwidth.

## МАЗМҰНЫ

|  |    |
|--|----|
| Кіріспе  | 8  |
| 1 Жерасты антенна жүйелерінің құрылу принциптері мен негізгі сипаттамаларын талдау   | 9  |
| 1.1 Жер асты антенна жүйелеріне қойылатын негізгі талаптарды талдау  | 9  |
| 1.2 Қолданыстағы шешімдердің негізгі сипаттамаларын және DKMV диапазонының жерасты антенна жүйелерін құру принциптерін талдау                  | 12 |
| 1.3 Жерасты антенна жүйелерін модельдеу мен жобалаудың негізгі әдістері мен қолданыстағы бағдарламалық құралдарын талдау                       | 16 |
| 1.4 Тапсырманың қойылымы   | 21 |
| 2 Диссипативті ортада орналастырылған антенналарды электродинамикалық талдау, әдістемесін әзірлеу  | 23 |
| 2.1 Диссипативті ортада орналастырылған антенналарды момент әдісімен электродинамикалық талдау әдістемесін әзірлеу                             | 23 |
| 2.2 Тұрақты электр өрісін қолдану арқылы диссипативті ортаның жергілікті көлемінің макроскопиялық параметрлерін басқару мүмкіндіктерін зерттеу | 29 |
| 2.3 Жер асты антенна жүйелерінің техникалық шешімдерін зерттеу және әзірлеу  | 36 |
| 3 Жерасты антенна жүйелерінің құрамдас бөліктерін практикалық іске асыру және зерттеу  | 46 |
| 3.1 Жерасты антенна жүйелерін жобалау әдістемесін әзірлеу  | 46 |
| 3.2 Дипломдық жұмыс нәтижелерін енгізу шеңберінде жерасты антенна жүйелерінің құрамдас бөліктерін іс жүзінде іске асыру                        | 51 |
| 3.3 Диссипативті ортаның жергілікті көлемінің макроскопиялық параметрлеріне электр поляысу өрісінің әсерін тексеру                             |    |
| Қорытынды  | 60 |
| Пайдаланылған әдебиеттер тізімі  | 53 |

## КІРІСПЕ

Қазіргі уақытта, алдыңғы онжылдықтардан айырмашылығы, декаметрлік толқын диапазонының (DCMV) радиобайланысының маңызды рөлі жалпыға бірдей танылған және күмән тудырмайды.

Жоғары икемділік пен ұтқырлық, инфрақұрылымға салыстырмалы түрде әлсіз тәуелділік, табиғи апаттар, табиғи және техногендік апаттар, террористік актілер және басқа да төтенше жағдайлар кезінде әртүрлі қашықтықтарға, соның ішінде дайын емес аудандардан қысқа мерзімде байланыс ұйымдастыру мүмкіндігі сияқты радио байланысының ДКМ-нің Белгілі ерекшеліктері оның жүйелер құрамындағы орны мен рөлін анықтады бейбіт уақытта, соғыс уақытында және төтенше жағдайларда қолданылатын байланыстар.

Өз кезегінде, жаңа қорғалған объектілерді құру және жұмыс істеп тұрғандарын жаңғырту мақсатқа, төзімділікке және өміршеңдік параметрлеріне үнемі өсіп келе жатқан талаптар жағдайында жерасты антенналарын мерзімді жобалауды және салуды көздейді.

Жұмыстың мақсаты-дкмв радиобайланысы үшін жерасты антенна жүйелерін құру бойынша ғылыми негізделген теориялық ережелер мен техникалық шешімдерді әзірлеу.

Осы диссертациялық жұмыста қойылған мақсатқа жету үшін зерттеудің келесі міндеттері шешілді:

- жерасты антенна жүйелеріне қойылатын негізгі талаптарды талдау;
- қолданыстағы шешімдердің негізгі сипаттамаларын және ДКМВ диапазонындағы жерасты антенна жүйелерін құру принциптерін талдау;
- жерасты антенна жүйелерін модельдеу мен жобалаудың негізгі әдістері мен қолданыстағы бағдарламалық құралдарын талдау;
- жерасты антенна жүйелерінің базалық эмитенттерінің техникалық шешімдерін зерттеу және әзірлеу;
- жерасты антенна жүйелерінің техникалық шешімдерін зерттеу және әзірлеу.



# 1 Жерасты антенна жүйелерінің құрылу принциптері мен негізгі сипаттамаларын талдау

## 1.1 Жер асты антенна жүйелеріне қойылатын негізгі талаптарды талдау

Кіріспеде атап өтілгендей, жер асты антенна жүйелері тиісті жүйелер мен объектілерді тағайындау және қолдану ерекшеліктері талап еткен жағдайларда ДКМВ диапазонындағы радиобайланыстың техникалық құралдарының құрамында қолданылады [1, 2, 3, 4].

Мұндай Антенналарды (антенна жүйелерін) қолданудың маңызды шарты – объектіге экстремалды механикалық, термиялық, химиялық, радиациялық, электромагниттік және басқа сыртқы әсерлердің пайда болу мүмкіндігі, ал оларға қойылатын маңызды талап-мұндай әсерлерге өте жоғары төзімділік. Әсер ету номенклатурасы және осы әсерлерге төзімділікті сипаттайтын параметрлердің сандық мәндері тактикалық-техникалық (ТТЗ) немесе техникалық тапсырманың (ТТ) тиісті бөлімінде, қажет болған жағдайда ұлттық стандарттарға және техникалық реттеу жүйесінің басқа құжаттарына сілтемелермен айқындалады.

Әрине, жер асты антенналарына, кез-келген басқа сияқты, антеннаның Электромагниттік толқындарды шығару (қабылдау) қабілетін сипаттайтын және кем дегенде реттейтін мақсатқа қойылатын талаптар бар:

- жұмыс жиіліктерінің диапазоны;
- номиналды кіріс кедергісі;
- келісу деңгейі (қозғалатын толқын коэффициенті – кбв немесе кернеу бойынша тұрақты толқын коэффициенті-КС – вн);
- максималды сыйымдылық;
- бағыт диаграммасының түрі (нысаны);
- бағытталған әрекет коэффициенті (КХД);
- күшейту коэффициенті;
- сәулеленетін (қабылданатын) толқындардың поляризация түрі;
- құрамдас бөліктердің параметрлеріне қойылатын талаптар-сәулелену жүйесі, фидерлер, үйлестіруші және симметриялы құрылғылар (жұмыс жиіліктерінің диапазондары, меншікті КБВ, қуаттың жоғалуы, асимметрия коэффициенті, берілген кбв жүктеме кезіндегі сыйымдылық, қайта құру немесе коммутация кезіндегі жылдамдық және т. б.);
- антенна параметрлерін бақылау, индикациялау және басқару тәсілдері және тиісті ішкі жүйелерге (блоктарға) қойылатын талаптар.

Жер асты антенналары, басқа типтегі антенналар сияқты, техникалық қызмет көрсету мен жөндеудің ыңғайлылығына қойылатын талаптарға ие. Антеннаның нақты сәулелену жүйесі, көп жағдайда, қорғаныш баспанасын бұзбай, онымен кез-келген әрекетке қол жетімсіз және қол жетімсіз орындалады. Қызмет көрсетуді, персоналдың болуын және т.б. талап ететін антенна жүйесінің құрамдас бөліктері (Келісуші, фазалаушы, басқарушы, индикаторлық және өзге

де осындай құрылғылар) әдетте объектінің қабылдап беру жабдығымен бірге тиісті төзімділіктің қорғалған (көмілген) үй-жайларында орналастырылады.

Жер асты антенналарына және жалпы объектілерге тиімді маскировка жасау, оптикалық, радиолокациялық және басқа да көрінуді азайту талаптары жиі қойылады, осылайша объектіні авиациялық, ғарыштық, агенттік немесе радиоэлектрондық барлау құралдарымен анықтау, тіпті одан да көп анықтау мүмкін болмады. Кейбір жағдайларда, тиісті бұйрық бойынша объектіні іске қосу сәтіне дейін сәулелену режимінде эфирге шығуға жол берілмейді. Нысан тек қабылдау үшін жұмыс істейді [5].

Талаптардың қайшылықты екеніне көз жеткізу қиын емес. Атап айтқанда, сыртқы әсерлерге төзімділік параметрлерін жақсарту сәулелену жүйесінің тереңдігін арттыруды қамтиды. Бұл өз кезегінде тиімділікті төмендетеді, демек антеннаның пайда болуы, өйткені толқындардың таралу ортасы (қорғаныс баспанасының диэлектрикі, тіпті қоршаған топырақ) айтарлықтай диссипативті болып табылады және тереңдіктің жоғарылауымен шығындар тез артады [5].

Әлбетте, мұндай антенналар энергияны салыстырмалы түрде аз полярлық бұрыштары бар ( $\theta < 45$  б  $60^\circ$ ) тек жоғарғы жарты шарға тиімді шығара алады. Ионосферадан декаметрлік толқындардың шағылысуы арқылы көрсетілген бұрыштар диапазонындағы сәулелену бірнеше жүз шақырым қашықтықта байланыс орнатуға мүмкіндік береді, бұл Аймақтық радиобайланыс талаптарын және (аз дәрежеде) бір секіргіш жолдарды қанағаттандырады.

Сәулелену жүйесінің осындай дизайнымен берілген төзімділік параметрлерін іске асыру құрылымның геометриялық параметрлерін (тұндыру тереңдігін қоса) және монолитті диэлектрлік баспана материалын таңдауға дейін азаяды. Сонымен қатар, орналастырудың құпиялылығын қамтамасыз ету мәселесі салыстырмалы түрде қарапайым, өйткені диэлектрлік баспананың Жоғарғы (жер үсті) бөлігі қалалық ландшафттың табиғи элементі ретінде оңай жасырылуы мүмкін (автотұрақ, спорт алаңы және т.б.).

Тағы бір айта кететін жайт, бұл антенналар сәулелену жүйесін жартылай өткізгіш ортаға орналастырумен байланысты кемшіліктерге ие, олардың бастысы – төмен тиімділік. Тиімділікті арттырудың бір жолы-диэлектрик пен топырақтың электр өткізгіштігін төмендету үшін қосымша шараларды қолдану. Атап айтқанда, жер асты суларын ағызу үшін дренаждық жүйелер жиі қолданылады [6], Бұл қоршаған топырақтың электр өткізгіштігінің төмендеуін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, жер асты антенналары әдетте электр өткізгіштігі төмен "жақсы" диэлектриктерге орналастырылады. Мұндай жағдайларда жер асты антенналарын орналастыру коррозияның алдын алуға немесе айтарлықтай бәсеңдетуге мүмкіндік береді, осылайша антенналардың қызмет ету мерзімі мен сапасын арттырады. Әрі қарай, диэлектрикке орналастырылған жер асты антеннасын оқшауланған антенна деп атаймыз.

Мұндай өнімдерді әзірлеу кезінде Эмитенттің техникалық шешімдерін алдын-ала модельдеу (макеттеу) қымбат және уақытты қажет ететін міндет екенін көруге болады, нәтижесінде математикалық модельдеудің жеткіліктілігі, алынған нәтижелердің дәлдігі мен сенімділігі ерекше маңызды рөл атқарады.

Математикалық модельдеу, өз кезегінде, қоршаған жартылай өткізгіш ортаны есепке алу қажеттілігімен күрделене түседі.

Жоғарыда айтылғандай, тиісті бұйрық келгенге дейін оқшауланған (қорғалған) антенналар беру режимінде пайдаланылмайды, осыған байланысты пайдалану процесінде антенна сипаттамаларын эксперименттік анықтау салыстырмалы түрде көп уақытты қажет ететін жанама әдістер негізінде ғана мүмкін болады [7].

Жоғарыда айтылғандай, жер асты антенналарының электрофизикалық сипаттамалары бос кеңістікте орналастырылған антенналарға қарағанда нашар, басқаша айтқанда, мұндай антенналарда энергия ағынының тығыздығы айтарлықтай аз болады. Мұндай кемшілікті таратқыштың қуатын арттыру арқылы өтеуге болады. Жарияланған мәліметтерге сүйене отырып [6, 12], аймақтық байланыстар мен бір реттік соқпақтар үшін 2 кв 5 кВт қуат деңгейі жеткілікті.

Бағдарлау сипаттамаларының нашарлауынан басқа, импеданс сипаттамаларының нашарлауы байқалады. Бұл әдетте антенна жүйесінің жұмыс ауқымының айтарлықтай тарылуына әкеледі, осылайша жұмыс ауқымының көп бөлігінде сәулелену жүйесінің табиғи КБВ жол берілмейтін аз болады. ДКМВ диапазонында жұмыс жиілігінің өзгеруімен бір мезгілде жедел баптауды жүзеге асыратын жоғары дәлдіктегі Р немесе Т тізбектеріне негізделген жылдам әрекет ететін қайта құрылатын антенналық-Келісуші құрылғыларды қолдану арқылы осындай проблемаларды шешудің жолдары мен құралдары өте жақсы әзірленген [6, 7, 11].

Осылайша, қорғалған антенна жүйелерінің құрамы кем дегенде мыналардан тұруы керек:

- сәулелену жүйесі (АЖ);
- фидерлер жиынтығы (КФ);
- антеннаға сәйкес келетін құрылғы (АНСУ).

Сондай-ақ, кең жолақты таратқыштарды (srm RPDU) қолдану мүмкіндігі бар. Бұл жағдайда АНСУ қажет емес.

Сәулелену жүйелерінің типтік шешімдері жұқа сымдарға негізделген конструктивті түрде жасалған азды-көпті күрделі вибраторлық антенналар болып табылады. Сонымен қатар, шунттық вибраторларға негізделген салыстырмалы түрде кең жолақты шешімдер кейбір жағдайларда олар үшін жарамдылықты ағымдағы бақылауды жүзеге асырудың қиындықтарына байланысты қабылданбайды. Шынында да, антеннаға кез-келген жоғары жиілікті сигнал беруге тыйым салынған жағдайда, жұмыс кезінде антеннаның күйін бақылаудың ең ыңғайлы әдісі-параметрлерді тұрақты токпен өлшеу [8]. Вибраторларда шунттарды қолдану антенна мен диэлектриктің күйін бақылауды мүмкін етпейтін тұрақты ток антенна жүйесінің қысқаруына әкеледі. Коррозиялық процестер белсенді болған жағдайда да Электр байланысының сақталуы ықтимал. Осылайша, қысқа тұйықталған күйді диагностикалау антеннаның және оның айналасындағы диэлектриктің жағдайы туралы жеткілікті ақпарат бермейді. Сондықтан бұл мәселені шешу үшін көптеген

жағдайларда антеннаның кірісінде кедергіні басқаратын шунтталмаған вибраторлар қолданылады. Соңғысы ортаның электрофизикалық қасиеттерінің қатты өзгеруімен, мысалы, жер асты суларының пайда болуымен немесе диэлектриктің бұзылуымен айтарлықтай өзгеруі керек.

Ионосферадан шағылысқан сигналды тұрақты қабылдау үшін поляризацияның әр түрлі түрлерін қолдану қажет болған жағдайда (әдетте поляризациялық бейімделумен бірге) [9,10], жалпы толқын орталығы және сәйкес фазалық сдәсуы бар айқасқан вибраторларға негізделген "турникеттік" жүйелер қолданылуы керек (1.3-сурет).

Мысалы, екі айқасқан вибратор жағдайында оларды квадратурада қоздыру керек. Ұқсас міндет (сигналдарды фазалау) антенна торы түрінде сәулелену жүйесін енгізу кезінде де пайда болады. Осылайша, жалпы айтқанда, жер асты антеннасының құрамында кеңістіктік және поляризациялық сипаттамаларды қалыптастыру және/немесе басқару үшін қажетті фазалық сдәсуды қамтамасыз ететін белгілі бір дизайндағы фазалық (ультракүлгін) құрылғы болуы мүмкін.

Ионосфералық жолдардағы сәулелену, қолданылатын поляризацияға шектеулерден басқа, қолданылатын жиіліктердің жұмыс диапазонына айтарлықтай шектеулер қояды. Жалпы физикалық себептерге сүйене отырып, ДКМВ диапазонының 10 МГц-ке дейінгі бөлігін қоса алғанда пайдалану орынды болып көрінеді. Алайда, әдебиеттерде [11, 12] сәл кеңірек, атап айтқанда 1.5-тен 12 МГц-ке дейінгі шешімдер жарияланған. Болашақта Антенналарды электродинамикалық талдау кезінде біз тек ДКМВ диапазонына назар аударамыз, атап айтқанда 3-тен 12 МГц-ке дейін.

## **1.2 Қолданыстағы шешімдердің негізгі сипаттамаларын және ДКМВ диапазонының жерасты антенна жүйелерін құру принциптерін талдау**

Ашық басып шығаруда жер асты антенналарының қолданыстағы шешімдері өте қарапайым сипатталған. Бұған мүдделіліктің төмен деңгейі емес, мемлекеттік қауіпсіздікті қамтамасыз ету себеп болуы мүмкін. Дегенмен, әдебиеттерге шолу жер асты антенна жүйелерінің нақты техникалық шешімдерін сипаттайтын кем дегенде бірнеше дереккөздердің болуын көрсетті [12]. Олардың бір бөлігі сәулелену жүйелерінің техникалық шешімдеріне, бір бөлігі сәулелену жүйелерінің электр тізбектеріне және бір бөлігі жер асты антенналары үшін антеннаға сәйкес келетін құрылғыны құру ерекшеліктеріне арналған. Болашақта біз осы дереккөздерде сипатталған байланыс жүйелерінің сипаттамаларын талдаймыз.

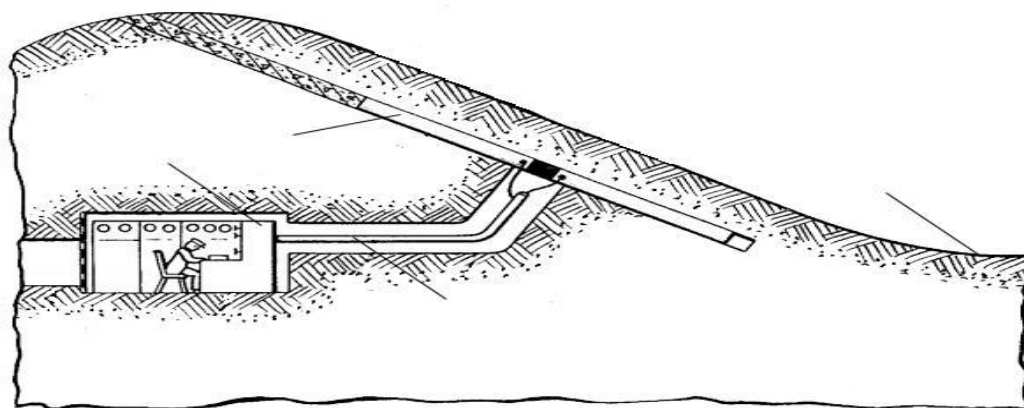
Жер асты антенналарының сәулелену жүйелерінің бірнеше техникалық шешімдері оқшауланбаған вибраторлар болып табылады, яғни олар "жақсы" диэлектрикте орналасқан, мысалы, асфальт-бетон. Тағы бір техникалық шешім-қысқа тұйықталған оқшауланған вибраторлардың жиынтығы, ал техникалық шешім-үшбұрышты иықтары бар ортогональды жалпақ вибраторлар. Сонымен қатар, бойлық және көлденең толқындардың таралуы орын алатын пластиналық

вибраторларға негізделген жерасты антенна жүйелерінің Электр тізбектерінің класын ерекше атап өту керек.

Бұл келесі талаптарды автоматты түрде қанағаттандыруға мүмкіндік береді:

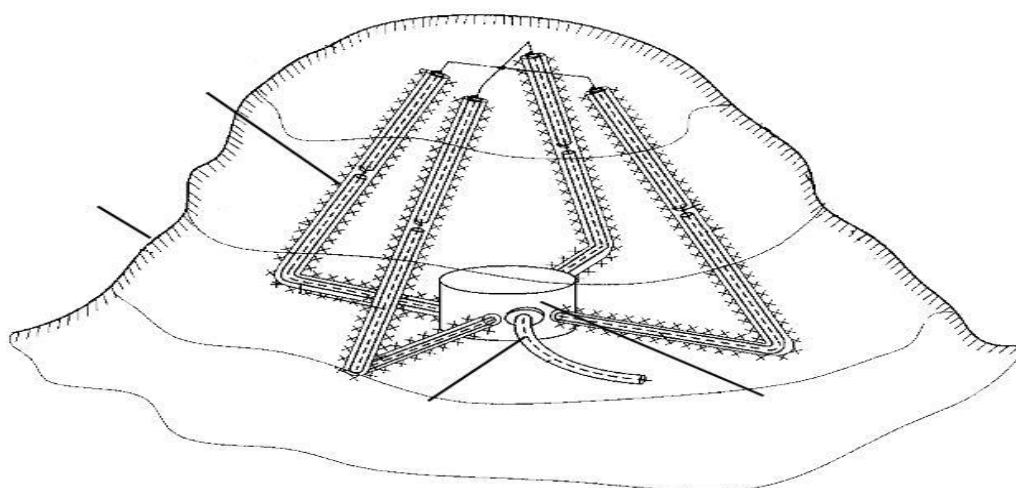
- байқамау;
- механикалық және коррозияға төзімділік.

Жоғарыда айтылғандар сонымен қатар антенналардың жер деңгейінен төмен орналасуына байланысты байқалмаушылық талаптарын орындауды білдіреді, яғни дкмв байланыс жүйесін анықтау антеннаның берілу режимі кезінде ғана мүмкін болады.



1.1 - сурет – Оқшауланған вибратор негізіндегі жерасты антеннасы

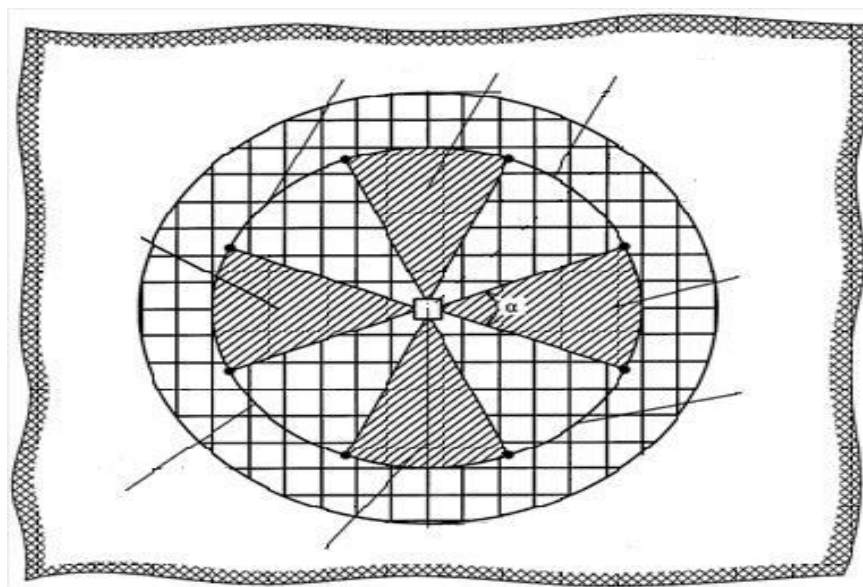
Эмитент



Қоршаған орта (топырақ)

1.2 - сурет – Рамалық эмитенттерге негізделген жерасты антеннасы

Техникалық шешімдерде шунттардың болмауы тұрақты ток арқылы антеннаның ашық болуына әкеледі, бұл өз кезегінде антеннаның және оның айналасындағы диэлектриктің күйін бақылауға мүмкіндік береді. Қалған техникалық шешімдер тұрақты токпен қысқа тұйықталған, бұл оны қоршаған диэлектрикті бақылауды қиындатады. Бұл мәселе 1.1-кіші бөлімде егжей-тегжейлі қамтылды.



1.3 - сурет – Кең жолақты шунтты вибраторларға негізделген жерасты антеннасының эмитенті

Жер асты антенналарының диэлектрикте жеткілікті төмен шығынмен орналасуы (электр өткізгіштігі нөлге ұмтылады) дренаж жүйесімен бірге коррозияны едәуір бәсеңдету арқылы мұндай антенналардың қызмет ету мерзімі мен сапасын арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, осылайша оқшауланған антенналарда сыртқы ортаға ағып жатқан өткізгіштік токтардың азаюына байланысты антенна сипаттамаларының, атап айтқанда, сәулелену сипаттамаларының айтарлықтай өсуі байқалады. Дренаж жүйесінің техникалық шешімдері жоқ.

Шешімдердің кейбір бөлігінен басқа жер асты антенналарының барлық техникалық шешімдері вибраторлардың өзара орналасуы арқылы эллиптикалық поляризациясы бар толқындарды шығаруға мүмкіндік береді, бұл талаптарды қанағаттандырады.

Қолданыстағы антенна шешімдерінің электрофизикалық сипаттамаларын талдаймыз. Ұсынылған антенналардың бағыттылық сипаттамалары пішін мағынасында да, сәулеленудің негізгі бағыты ретінде де, абсолютті мән мағынасында да өте жақын. Жоғарыда айтылғандар антенна жазықтығына қатысты бағыттылық сипаттамаларын санау кезінде әділ екенін атап өткен жөн. Азимут жазықтығында жұмыс диапазонындағы бағыт диаграммасы  $\pm 3$  дБ-ден

аспайтын біркелкі емес шеңберге жақын. Тік жазықтықта бағыт диаграммасында Зенитке бағытталған жалғыз жапырақшасы бар, оның ені -3 ДБ деңгейінде 90° құрайды. Қарастырылып отырған дереккөздерде нормаланған бағыт диаграммалары берілген, сондықтан электромагниттік өрістің кернеу мәндерін қалпына келтіру үшін қосымша ақпарат қажет. Мұндай ақпаратта антенна бағытының сипаттамасының сандық бағасы болып табылатын пайда (КУ) бар. Жұмыста қоршаған ортаның (диссипативті) электрофизикалық қасиеттеріне байланысты күшейту коэффициентінің мәндері келтірілген.

Сондай-ақ, қолданылатын антенна шешімдерінің кең жолақты болуын қамтамасыз ету маңызды талап болып табылады, яғни бүкіл жиілік диапазонында тұрақты кедергі өнімділігін қамтамасыз ету. Импеданс сипаттамаларының қолайлы жиынтығы, соның ішінде қоректендіргіштің сипаттамалық кедергісіне байланысты. Талдауды жеңілдету үшін кедергілердің шамаларын емес, фидердің параметрлеріне де, антеннаның параметрлеріне де байланысты белгілі бір сипаттамаларды қолдану ыңғайлы. Бұл сипаттама, әдетте, толқын коэффициенті (кбв) болып табылады. Ағымдағы толқын коэффициентінің мәндері [15], жұмыс жиілігінде 0.4-тен кем емес, бұл өте жақсы сәйкестік деңгейін білдіреді.

Үйлестіру мәселелері өте маңызды. Барлық жағдайларда жақсы келісу жиіліктің үш есе диапазонында байқалады, бұл антеннаны үйлестіретін құрылғыларды (технологиялық әдістерді) қолдануға байланысты. Антеннаға сәйкес келетін құрылғылар қолданылады, олардың негізі шоғырланған элементтерде жүзеге асырылатын N – контурға негізделген. АнСУ деректерінің толық техникалық шешімдері. Жұмыста үйлесімділіктің жақсы деңгейі симметриялы вибраторлардың иығына қуаттарды біркелкі бөлу арқылы қамтамасыз етіледі. Осылайша, осы дизайндағы консистенциялық құрылғының рөлін қуат бөлгіштер мен фазалық ауыстырғыштар ойнайды деп айтуға болады.

Жер асты антенналарының барлық техникалық шешімдерінің температуралық жұмыс диапазоны іс жүзінде бірдей және талаптарға сәйкес келеді.

Осылайша, жер асты антенна жүйелерінің жарияланған дизайны көптеген ұқсастықтарға ие, бірақ сонымен бірге айырмашылықтар бар.

Мысалы, жер асты антенна жүйелерінің конструкциялары сәулелену жүйесі мен таратқыштардың кеңістікте орналасқанын білдіреді, ал сәулелену жүйесінің конструкциясы таратқыштың жанында орналасқан.

Сонымен қатар, сәулелену жүйелері бір деңгейлі және жатудың минималды деңгейін (1 м-ден аз) қамтиды. Шешім екі деңгейлі, оның деңгейі 1 м-ден асады.

Ақырында, бұл сәулелену жүйелерінің конструктивті айырмашылығы. Мысалы, сәулелену жүйелері мен бөлігі сым вибраторлары (немесе олардың жиынтығы), ал сәулелену жүйелері пластиналық элементтер болып табылады.

### 1.3 Жерасты антенна жүйелерін модельдеу мен жобалаудың негізгі әдістері мен қолданыстағы бағдарламалық құралдарын талдау

Жоғарыда аталған әдістерді жүзеге асыратын бірқатар отандық және шетелдік кешендер бар.

Шетелдік бағдарламалық кешендердің ішінде Feko, CST Studio, awr MicroWave Office атап өткім келеді. FEKO ДК негізінен Антенналарды электродинамикалық талдауға арналған, awr MicroWave Office электр тізбегін талдауға арналған, ал CST Studio кең ауқымды мәселелерді шешуге арналған бағдарламалық жасақтаманы қамтиды.

Электродинамикалық есептің түріне, дәлірек айтқанда, ұсынылған модельдің түріне, сондай-ақ алынған шешімнің дәлдігіне қойылатын талаптарға байланысты электродинамикалық талдаудың барлық әдістерін шартты түрде екі үлкен топқа бөлуге болады: дәл модельдерді қолданатын әдістер және сәйкесінше шамамен модельдерді қолданатын әдістер. Кейбір жағдайларда ресурстардың салыстырмалы түрде аз шығынын ескере отырып, электродинамикалық есепті жоғарыда аталған әдістердің екі тобын, яғни олардың комбинациясын қолдану арқылы шешуге болады. Дәл және жуықталған әдістердің тіркесіміне негізделген әдістер деп аталды-аралас әдістер.

Жуықталған әдістер әсіресе айналу беттері (параболоидтар, гиперболоидтар және т.б.) түріндегі диффузорларды талдауда тиімді, олар dcmv диапазонының жер асты антенналарында кездеспейді. Бұл әдістер көбінесе квази-оптикалық модельдерге негізделген [3]. Жуықталған әдістердің ішінде физикалық оптика (FO), геометриялық оптика (go), шеткі толқындар және геометриялық дифракция теориясы (GTD) әдістерін ерекше атап өткен жөн. Бұл әдістердің артықшылықтары туралы айтатын болсақ, ең алдымен олардың салыстырмалы түрде аз есептеу күрделілігін атап өту керек.

Жуықталған әдістердің ішінде әлсіз қисық беттерді талдау кезінде қолайлы нәтиже беретін физикалық оптика (ФО) әдісін атап өткен жөн. Осы әдіспен электродинамикалық талдаудың нәтижесі токтың таралу функциясы болады. Әдістің ерекшелігі-есепті қою тұрғысынан ол интегралдық теңдеулерді қолданатын нақты әдістерге жеткілікті жақын.

Жуықталған әдістер жоғарыда аталған барлық бағдарламалық жасақтама кешендерінде белгілі бір жолмен қолданылды.

Шамамен әдістерден басқа, дәл шешімді қамтамасыз ететін, бірақ есептеу ресурстарын өте қажет ететін нақты модельдерді қолданатын әдістер бар. Мұндай әдістер нақты әдістер деп аталды. Нақты әдістерді, өз кезегінде, модельді талдау әдісіне байланысты шартты түрде бірнеше топқа бөлуге болады.

Бірінші топқа Максвелл теңдеулер жүйесінен алынған дифференциалдық теңдеулерді тікелей шешуге негізделген әдістер кіруі керек (1.3).

$$\operatorname{div} D = \rho. \quad (1.1)$$

$$\operatorname{div} B = 0. \quad (1.2)$$



(1.2) алынған дифференциалдық теңдеулерді шешу негізінде жүзеге асырылатын әдістер Feko, CST Studio және awr MicroWave Office сияқты бағдарламалық кешендердің бөлігі ретінде жүзеге асырылады.

Жоғарыда аталған дифференциалдық теңдеулерді электр немесе магнит өрісінің кернеу векторларына қатысты алуға болады. Сонымен қатар, векторлық және скалярлық потенциалдарға қатысты дифференциалдық теңдеулерді алуға болады. Кез-келген функцияға қатысты дифференциалдық теңдеуді таңдау тек белгілі бір электродинамикалық есептің түріне байланысты. Айта кету керек, бұл әдістер ішкі электродинамикалық есептерді шешуде ең жоғары тиімділікті көрсетті.

Енді ең көп қолданылатын" дәл " әдістерді қарастырайық. Бұл әдістер интегралдық теңдеулерді (ИУ) қолдануға негізделген.

Интегралдық теңдеулерді шешуге негізделген әдістер SCATER, SAMANT, Feko және CST Studio бағдарламалық кешендерінің құрамына кіреді.

Интегралдық теңдеулер әдістерімен шешудің дәлдігі, ең алдымен, электродинамикалық есепті қатаң қою арқылы қамтамасыз етіледі, бұл өз кезегінде оларды дифракцияның әртүрлі жағдайларын зерттеу үшін қолдануға мүмкіндік береді. Бұл әдістердің кең таралуы олардың материалдық денелерді, атап айтқанда біртекті изотропты ортада (диэлектрикада) орналасқан өткізгіштерді электродинамикалық талдаудағы тиімділігіне байланысты. Мұндай сценарий Антенналарды талдауға тән, бұл Антенналарды жобалау теориясы мен практикасы үшін берілген әдістер тобының маңыздылығын автоматты түрде арттырады.

Интегралдық теңдеулерді шешуде (дифракция есептерін азайту нәтижесінде алынған), ең алдымен, теңдеулердің векторлық формасымен байланысты айтарлықтай қиындықтар туындайды, ал барлық қолданыстағы есептеу кешендері скалярлық шамалармен жұмыс істейді. Өз кезегінде, бұл есептеу процесінің күрделенуіне, демек, ресурстардың қымбаттауына әкеледі.

Антенналардың кейбір түрлерін электродинамикалық талдау кезінде мұндай асқыну артық. Мысалы, диаметрі толқын ұзындығынан едәуір аз өткізгіштерден тұратын Антенналарды талдау кезінде алынған шешімнің қолайлы дәлдігін сақтай отырып, есептеу процесін жеңілдету үшін бірқатар болжамдарды енгізген жөн. Болжамдардың мүмкін болатын кешендерінің бірі-жіңішке сымды жуықтау [20], оның мәні интегралдық теңдеулерге кіретін векторлық айнымалы функциялардан бір скалярлық айнымалының функцияларына ауысу болып табылады.

Енгізілген болжамдарға байланысты Интегралдық теңдеулер әдістерінің тобын шартты түрде келесі кіші топтарға бөлуге болады:

Фредгольмнің бірінші ретті интегралдық теңдеулеріне негізделген жұқа сымды жуықтаудағы IU әдістері.

Жіңішке сымды жуықтау деп эквивалентті осьтік токтың жуықтауын түсінеміз. Демек, өріс пен токтың бойлық компоненттері ғана есепке алынады. Соңғысы жұқа сымды жуықтауды қолдану саласына шектеу қояды.

Қазіргі уақытта фредгольмнің интегралдық теңдеулерінің келесі түрлері кеңінен танымал бірінші тектес сым жуықтауында:

Поклингтонның интегралдық теңдеуі, оның қорытындысы Лоренц калибрлеуін қолдануға негізделген.

Екінші типтегі Фредгольм теңдеулері дұрыс математикалық есеп болып табылады, бірақ олар сонымен қатар жоғарыдан өткізгіштердің радиусына "жұмсақ" шектеу қояды. Сонымен қатар, өткізгіштердің радиусына төменнен шектеулер бар.

Өткізгіштердің радиусына жоғарыдан шектеулер ұсынылған жұқа сым моделінің математикалық аппараттың жетілмегендігінен емес, қолдану аймағынан тыс шығуы нәтижесінде пайда болады. Жіңішке сымды жуықтау осьтік токтың болуын болжайды, ал шын мәнінде ток өткізгіштің бетінен өтеді. Өте жұқа өткізгіштер үшін бұл қате маңызды емес, бірақ радиус ұлғайған кезде ол сөзсіз артады. Бұл мәселені ішінара арнайы қосымша функцияны – мультипликаторды енгізу арқылы өтеуге болады [20].

Өткізгіштердің радиусының төменнен шектелуі қалыпты және тангенциалды компоненттер үшін шекаралық шарттардың көрсетілуіне байланысты. Неоссимметриялық қозу кезінде "кіші айырмашылықтар" деп аталатын мәселе пайда болады.

Құрамында өткізгіштері де, дисперсиялық беттері де бар күрделі антенна жүйесі болған кезде, есептеу көлемін азайту үшін есептің ыдырауы және әр түрлі әдістермен кейінгі талдау мағынасы бар. Бұл жағдайда, әрине, элементтер арасындағы өзара әсерді ескеру қажет.

Бұл тәсіл жоғарыда аталған әдістердің жиынтығы болып табылатын [16, 18] аралас әдістер деп аталады. Бұл әдістер кейбір жағдайларда есептеу көлемін едәуір азайтуға мүмкіндік береді, бірақ шешімнің дәлдігі іс жүзінде өзгермейді.

Жоғарыда айтылғандай, жуықталған әдістер барлық аталған бағдарламалық жасақтама кешендеріне, сонымен қатар дәл әдістердің кем дегенде бір іске асырылуына кіреді. Сондықтан олардың барлығы қандай да бір түрде аралас әдістерді қолданады деп айтуға болады.

Интегралдық теңдеулерді шешу әдістерін қысқаша қарастырайық. Гауһар-Галеркин процесіне негізделген проекциялық әдістер кеңінен қолданылды. Проекциялық әдістердің негізгі идеясы интегралдық теңдеулерді сызықтық алгебралық теңдеулер жүйесіне дейін азайтуға негізделген. Бұл ортогональды функциялар жиынтығы бойынша белгісіз функцияның қатарына ыдырау арқылы жүзеге асырылады (негізгі және салмақ) және шешім нүктелерінде алынған қоспаның нөлдік теңдігін қамтамасыз ету талабы. Жалпы айтқанда, негізгі және салмақ функцияларының ортогоналдылығына қойылатын талаптарды сақтау қажет емес, бұл функциялар сызықтық тәуелсіз болуы үшін жеткілікті [2].

Сондай-ақ, бұл проекциялық әдістердің тиімділігі алынған шешімдердің дәлдігіне де, ресурстардың сыйымдылығына да әсер ететін негізгі және салмақ функцияларын таңдауға байланысты екенін атап өткен жөн.

Осылайша, антенна жүйелерін электродинамикалық талдаудың кең таралған әдістері қарастырылды. Олардың қысқаша сипаттамасы мен

ерекшеліктері келтірілген. Сонымен қатар, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды. Интегралдық теңдеулерді шешу әдістері де талданды.

Қазіргі уақытта жер асты антенналарын электродинамикалық талдау үшін жалпыланған эквивалентті тізбек әдістеріне де, модификацияланған Максвелл теңдеулеріне де негізделген әдістер белгілі.

Айта кету керек, жер асты антенналарын электродинамикалық талдау мәселелерін шешуде жоғарыда аталған "дәл" әдістердің кез келгенін қолдануға болады. Өздеріңіз білетіндей, жер асты антенналары диссипативті ортада орналасады, осыған байланысты электродинамикалық талдау мәселелерін шешуде бірқатар қиындықтар туындайды, мысалы, осы ортаның электрофизикалық қасиеттерін ескеру қажеттілігі, сондай-ақ тиісті шекаралық шарттар орындалуы керек орта бөлімдерінің қосымша шекараларының пайда болуы.

Бірінші жағдайда, көлемдік токтардан сызықтық токтар жүйесіне ауысатын диссипативті ортаны торлы модельдеу қолданылады. Екінші жағдайда, Максвеллдің алғашқы екі теңдеуі орта бөлімдерінің шекараларын сипаттайтын қосымша терминдердің болуын болжайды.

Жоғарыда келтірілген әдістер мен шетелдік бағдарламалық кешендердің жалпы ерекшелігі-олар қоршаған орта бөлімдерінің барлық шекараларын тікелей ескереді, бұл өз кезегінде модельдің математикалық сипаттамасының да, Есептеу процесінің де күрделенуіне әкеледі [3].

Сонымен қатар, шетелдік бағдарламалық жасақтама кешендерінің маңызды кемшілігі олардың қымбаттығы болып табылады. Бұл бағдарламалық жасақтама кешендерін тек ірі мамандандырылған кәсіпорындар ғана ала алады, бұл әлеуетті пайдаланушылардың ауқымын айтарлықтай шектейді.

Жоғарыда аталған әдістерден басқа, қазіргі уақытта жер асты антенналарын электродинамикалық талдаудың классикалық әдістері бар, олар отандық және шетелдік авторлардың мың тоғыз жүз алпысыншы жылдардың басында жасалған. Олар тікелей орналастырылған Антенналарды (оқшауланбаған антенналар) және көбінесе эквивалентті сызықтар түрінде ұсынылатын оқшауланған Антенналарды қарастырады. Соңғы жағдайда есептеулерді жеңілдету үшін бірқатар жеңілдетулер енгізіледі. Атап айтқанда, ортаның қосымша шекарасы ескерілмейді. Сонымен қатар, таралу константасы мен толқындық қарсылық орта шекарасына дейінгі қашықтыққа тәуелді емес деп саналады. Осыған байланысты жоғарыда аталған болжамдардың қолданылу шекараларына сәйкес келетін беткі қабаттың қалыңдығына шектеу бар. Атап айтқанда, ол өткізгіштің бірнеше диаметрінен көп болуы керек.

Төменде классикалық әдістерді қолдану шеңберінде токтың таралу функциясы және кіріс кедергісі сияқты жер асты антенналарының негізгі электрлік сипаттамаларын (оқшауланған және оқшауланбаған) есептеу үшін жалпы қатынастар келтірілген.

Осылайша, антенна арқылы токтың таралу функциясын білу антенналардың электрлік сипаттамаларының толық жиынтығын есептеуге мүмкіндік береді.

Бұл әдістердің ерекшелігі-бұл әдістермен есептеудің қолайлы дәлдігі электрлік қысқа вибраторларды талдау кезінде қол жеткізіледі.

Айта кету керек, қазіргі уақытта жер асты антенналарын электродинамикалық талдаудың осы классикалық әдістеріне негізделген бағдарламалық кешендер жоқ.

Әрі қарай, пайдаланушы тұрғысынан жер асты антенналарының электродинамикалық моделін құру процесінің күрделенуіне әкелетін орта бөлімдерінің барлық шекараларын тікелей есепке алудың кемшіліктерінен бос әдіс қарастырылады. Сонымен қатар, бұл әдісте жоғарыда сипатталған классикалық әдістердегідей өрескел жеңілдетулер қолданылмайды, нәтижесінде бұл әдістің қолданылу аясы кеңірек болады, ал есептеу дәлдігі жоғары болады.

Жер асты антенна жүйелеріне қойылатын негізгі талаптарға талдау жасалды. ДКМВ диапазонының техникалық радиобайланыс құралдарының құрамында жерасты антенна жүйелерін қолдану шарттары мен негіздері нақтыланды, олардың негізгісі объектіге экстремалды сыртқы әсерлердің туындау мүмкіндігі болып табылады. Тиісінше, жер асты антенналарына қойылатын ең маңызды талап-жоғары төзімділік талабы.

Жұмыс жиіліктерінің диапазоны, номиналды кіріс кедергісі, минималды КБВ, максималды сыйымдылық, бағыт диаграммасының түрі, КХД, күшейту коэффициенті, поляризация түрі, құрамдас бөліктердің параметрлеріне қойылатын талаптар, бақылау, индикация және басқару талаптарын қамтитын мақсатқа қойылатын талаптардың минималды номенклатурасы нақтыланды.

Техникалық қызмет көрсету және жөндеу ыңғайлылығының талаптарына, сондай-ақ барлау қауіпсіздігі талаптарына байланысты шектеулер нақтыланды.

Жер асты антенналарына қойылатын талаптар қарама-қайшы екендігі көрсетілген. Атап айтқанда, сыртқы әсерлерге төзімділік параметрлерінің жақсаруы сәулелену жүйесінің тұндыру тереңдігінің артуын болжайды, бұл өз кезегінде антеннаның пайда болуының төмендеуіне әсер етеді [4].

Ең кең тарағаны-бөлінбейтін монолитті диэлектрлік баспанада ("оқшауланған антенна") сәулелену жүйесін құру нұсқасы екендігі анықталды. Бұл ретте берілген төзімділік параметрлерін іске асыру құрылымның геометриялық параметрлерін (төсеу тереңдігін қоса алғанда) және монолитті диэлектрлік баспана материалын таңдауға дейін азаяды. Сонымен қатар, орналастырудың құпиялылығын қамтамасыз ету мәселесі салыстырмалы түрде қарапайым.

Математикалық модельдеудің жеткіліктілігінің, алынған нәтижелердің дәлдігі мен сенімділігінің жер асты антенналарын әзірлеу міндеттеріне қатысты ерекше маңыздылығы негізделген.

Антенналардың құрамына сәйкес келетін және симметриялы құрылғыларды қосу қажеттілігі көрсетілген. Қорғалған антенна жүйесінің шамамен құрамы, сондай – ақ сәулелендіру жүйесінің құрамында шунтсыз вибраторлық эмитенттерді, оның ішінде турникеттерді пайдалану перспективасы негізделген.

Қолданыстағы шешімдердің негізгі сипаттамаларына және ДКМV диапазонының жерасты антенна жүйелерін құру принциптеріне талдау жасалды

Ашық баспасөзде жарияланған мақалалар мен патенттерге, сипаттайтын отандық және шетелдік авторларға талдау жасалды. жерасты антенна жүйелері мен олардың құрамдас бөліктерінің нақты техникалық шешімдері.

Атап айтқанда, монолитті асфальтбетоннан жасалған баспанаға орналастырылған оқшауланған шунтталмаған вибраторлар; қысқа тұйықталған оқшауланған вибраторлар; үшбұрышты иықтары бар жалпақ вибраторлар негізінде жерасты антенналарының турникеттік сәулелену жүйелерінің техникалық шешімдері қаралды. Жер асты антенналарының барлық техникалық шешімдері эллиптикалық поляризацияланған толқындарды шығаруға мүмкіндік береді.

#### 1.4 Тапсырманың қойылымы

Жер асты антенналарының диэлектрикте жеткілікті төмен шығынмен орналасуы (электр өткізгіштік нөлге ұмтылады) дренаж жүйесімен бірге коррозияны едәуір бәсеңдету арқылы мұндай антенналардың қызмет ету мерзімі мен сапасын арттыруға мүмкіндік береді.

Қарастырылған антенналардың көздерінде келтірілген электрофизикалық сипаттамаларын талдау олардың бағыттылық сипаттамалары форма, сәулеленудің негізгі бағыты және абсолютті мән мағынасында жеткілікті жақын екенін көрсетті. Азимут жазықтығында жұмыс диапазонындағы бағыт диаграммасы  $\pm 3$  дБ-ден аспайтын біркелкі емес шеңберге жақын. Тік жазықтықта бағыт диаграммасында Зенитке бағытталған жалғыз жапырақшасы бар, оның ені минус 3 дБ деңгейінде  $90^\circ$  құрайды. Бұл жағдайда " жақсы " диэлектрик үшін жиілікке байланысты изотропты эмитентке қатысты пайда минус 8-ден минус 12 дБ-ге дейін болады. Әр түрлі көздерде келтірілген табиғи КВВ мәндері 0,6-дан кем емес, бұл АНСУ көмегімен жұмыс жиіліктерінде сәйкестікті қамтамасыз етуге мүмкіндік береді [5].

Жерасты антенна жүйелерін модельдеу мен жобалаудың негізгі әдістері мен қолданыстағы бағдарламалық құралдарына талдау жасалды.

Электродинамикалық талдау әдістерін шартты түрде үш үлкен топқа бөлуге болатындығы көрсетілген: дәл, жуықталған және біріктірілген.

Физикалық оптика, геометриялық оптика, шеткі толқындар және дифракцияның геометриялық теориясы сияқты жалпы жуықтау әдістерінің ерекшеліктері мен қолдану салалары қарастырылады. Бұл жағдайда оларды қолдану перспективалы емес екендігі көрсетілген.

Дәл шешімді қамтамасыз ететін, бірақ есептеу ресурстарына өте қажет нақты әдістердің ішінде мыналар қарастырылады: Максвелл теңдеулер жүйесінен алынған дифференциалдық теңдеулерді тікелей шешуге негізделген әдістер; интегралдық теңдеулерді, соның ішінде бірінші және екінші типтегі

Фредгольм теңдеулерін және сингулярлық теңдеулерді шешуге негізделген әдістер; жалпыланған әдістер эквивалентті тізбектер.

Шешімнің жоғары дәлдігін сақтай отырып, кейбір жағдайларда есептеу көлемін едәуір азайтуға мүмкіндік беретін аралас әдістерді құрудың принциптері мен ерекшеліктері қарастырылады.

Интегралдық теңдеулерді шешудің негізгі әдістері, соның ішінде проекциялық әдістер қарастырылады.

Қарастырылған әдістердің жалпы жетіспеушілігі атап өтілді, өйткені оларды пайдалану кезінде қоршаған орта бөлімдерінің барлық шекаралары тікелей ескеріледі, бұл өз кезегінде модель мен есептеу процесінің математикалық сипаттамасының күрделенуіне әкеледі.

Көрсетілген кемшіліктерден бос қарапайым және жеткілікті дәл әдісті әзірлеу қажеттілігі негізделген.

## 2 Диссипативті ортада орналастырылған антенналарды электродинамикалық талдау, әдістемесін әзірлеу

### 2.1 Диссипативті ортада орналастырылған антенналарды момент әдісімен электродинамикалық талдау әдістемесін әзірлеу

ДКМВ антенналарын сыртқы факторлардан сенімді қорғау үшін жоғары төзімді объектілердің бөлігі ретінде қолданған кезде, олар көбінесе жартылай өткізгіш орта болып табылатын жердің беткі қабатының қалыңдығына орналастырылады. Осылайша орналастырылған Антенналарды жер асты антенналары (ПА) деп атаймыз. ПА электрлік параметрлерін есептеу тәсілдері тұндыру ортасының электрофизикалық қасиеттерін ескеру қажеттілігіне байланысты жер бетінен жоғары көтерілген антенналардың сипаттамаларын есептеу принциптерінен айтарлықтай ерекшеленетінін атап өткен жөн.

Осыған байланысты мұндай антенналардың электрлік сипаттамаларын олар салынған ортаның электрофизикалық қасиеттерін ескере отырып анықтау міндеті туындайды.

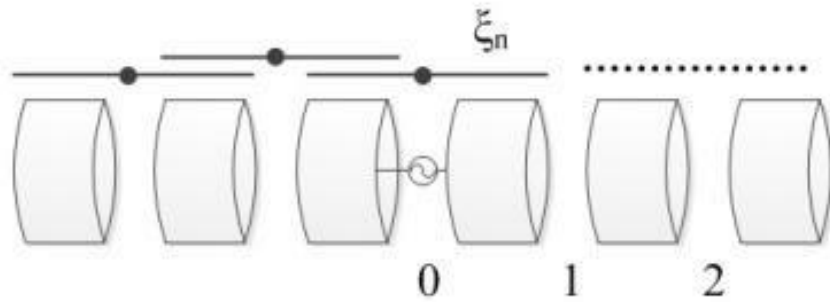
Мәселені шешу үшін диссипативті ортада орналастырылған әр түрлі нұсқалардағы жалғыз вибраторлардың да, фазалық антенна торларының да электрлік сипаттамаларын есептеу әдісі ұсынылды. Бұл әдіс бір-біріне қатысты ерікті түрде бағытталған және диссипативті ортада орналастырылған өткізгіштердің гетерогенді, оқшауланған сегменттерінен түзілген сызықтық антенналар жағдайында дамыған моменттердің белгілі әдісіне негізделген. Бұл әдісте дамыған тәсіл диссипативті ортаға (жер асты антеннасына) батырылған антеннаның электромагниттік өрісін табудың электродинамикалық міндетін диэлектрлік орталардың интерфейстеріндегі жағдайларды ескеретін эквивалентті токтардың табылған үлестірімдері бойынша бос кеңістіктегі өрісті табу міндетіне дейін төмендетуге мүмкіндік береді. Осылайша, қарастырудан екі ортаның қосымша шекарасы алынып тасталады.

Әдістің физикалық мәні эквивалентті токтар принципімен негізделеді, оған сәйкес нақты өріс көздерін нақты өріс көздерінің өмір сүру аймағын шектейтін бетінде берілген эквивалентті ток жүйесімен ауыстыруға болады.

Оқшауланған вибратор үшін бақылаудың еркін нүктесінде вибратор құратын электромагниттік өріс анықталатын эквивалентті токтар жүйесіне көшуге вибратордың диэлектрлік жабынының бетіне үшінші тарап электр қозғаушы күшінің (ЭҚК) көздері қоздыратын өткізгіштік токтарының эквивалентті жүйесін енгізу арқылы қол жеткізіледі - амплитудасы мен фазалары антенна өткізгішіндегі нақты токтың -  $I_0$  таралу функциясына тәуелді.

Осылайша, кесу орнында қозуы бар диполь түзетін көршілес сегменттер үшін экспоненциалды негіз таңдалады.

2.1-суретте сегменттер мен дипольдерге бөлінген оқшауланған өткізгіш схемалық түрде көрсетілген.



2.1 - сурет – Сегменттер мен дипольдердің өзара орналасуы

"Сыртқы" мәселенің шешімін қарастырыңыз. Кирхгоф Заңына сәйкес әр дипольдегі кернеудің төмендеуі қосындыға, дипольдегі меншікті кернеуге, сондай-ақ қалған дипольдер тудырған кернеулерге тең. Матрицалық көріністе бұл теңдеулер жүйесі келесідей болады:

$$I_0 = U_0 Y_0 - [Y_{n0}]^T [U^{внут}_p], \quad (2.1)$$

Айта кету керек, бірнеше үшінші тарап көздері қоздыратын көп элементті антенна жүйесі (таратылған қозу антеннасы) үшін (көздер саны  $M$ -ге тең) (2.4) теңдеулер саны  $(n+M)$  дейін артады.

Шекаралық шарттарды ескере отырып (2.2), өрнектерден (2.3), (2.5) және (2.6) біз антеннадағы Токтар мен кернеулерді байланыстыратын теңдеулер жүйесін аламыз:

$$([E] + [Y_{nr}][Z_{nr}])[I^{внеш}_p] = [Y_{n0}]U_0, \quad (2.2)$$

мұндағы  $e$ -ге тең-бірлік матрицасы.

Осылайша, жер асты антеннасы арқылы токтың таралу функциясын, демек, басқа электрлік сипаттамаларды табу үшін  $z$  NP массивтерінің өзара кедергілерінің матрицаларын анықтау қажет.

Ток декарттық координаттар жүйесінде ерікті түрде орналасқан оське бағытталған екі тамаша өткізгіш  $N$  және  $p$  өткізгіштерін қарастырыңыз (2.2-сурет). Бұл өткізгіштер хоу жазықтығымен  $\beta_n$  және  $\beta_p$  бұрыштарын құрайды, ал олардың берілген жазықтыққа проекциялары –  $X$  осі бар бұрыштар,  $pnx$ ,  $PNZ$ ,  $Ппх$ ,  $ППИ$ ,  $ппц$  элементар дипольдерінің иық координаттарын белгілеңіз. Жергілікті координаттар жүйесіне көшейік. Ол үшін  $N$  өткізгіштің координаттарынан  $p$  өткізгіштің координаттарын алып тастаймыз, нәтижесінде жаңа  $px$ ,  $Py$ ,  $Pz$  координаттарын аламыз. Бұл жағдайда  $P_0$  бастапқы векторы келесі формула бойынша есептеледі:

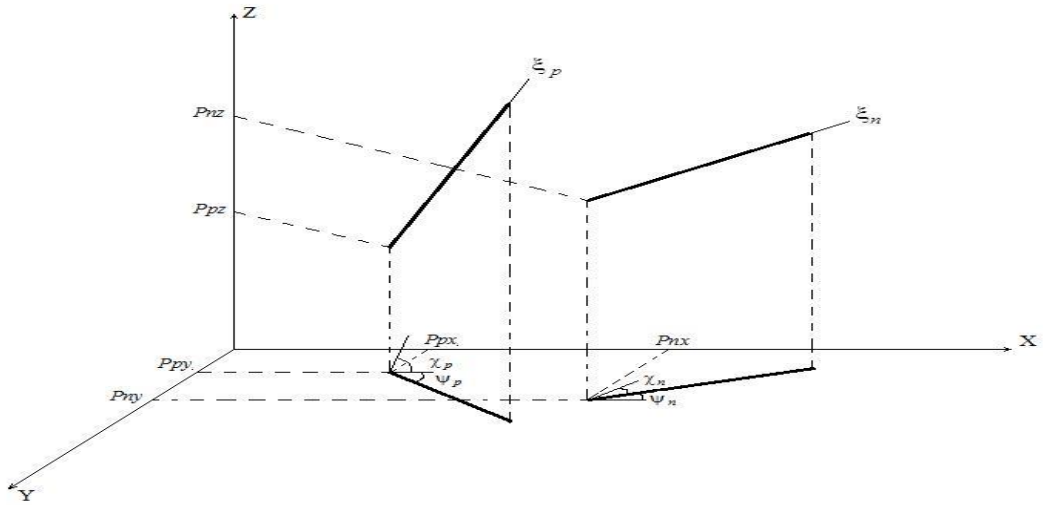
$$P_0^2 = P_x^2 + P_y^2 + P_z^2 + a^2 P_x = P_{xp} - P_{xp} \quad (2.3)$$

$$P_y = P_{yp} - P_{yn}$$



$$P_z = P_{zp} - P_{zn}$$

где  $a$  – радиус проводника.

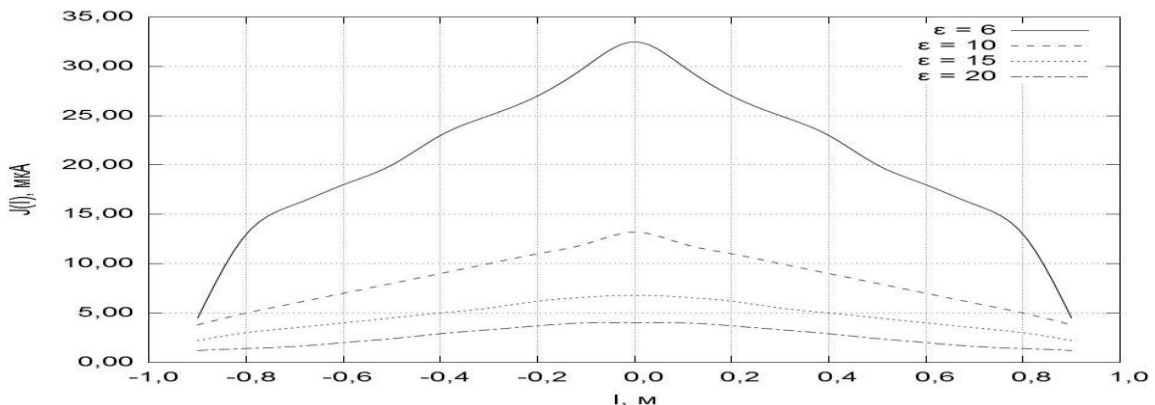


2.2 - сурет – Диссипативті ортада орналасқан вибратордың электродинамикалық моделі

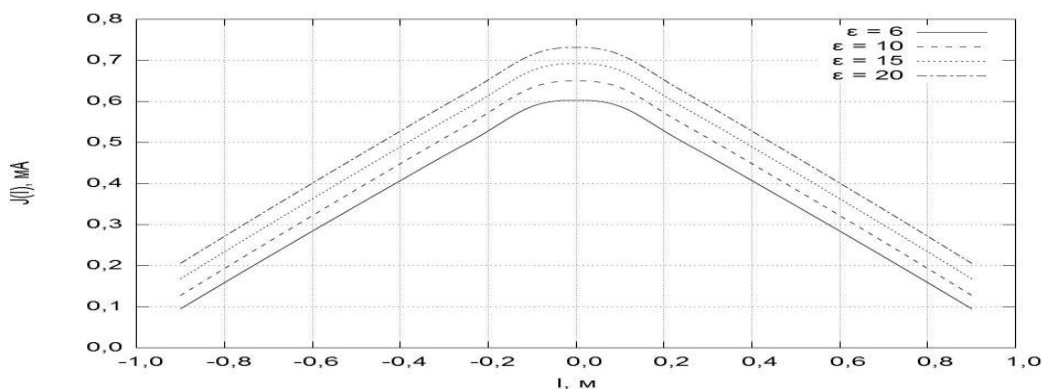
Есептеулер келесі параметрлермен 10 МГц жиілікте жасалады:  $L = 2, 15$  м;  $\varepsilon_{iz} = 1, \sigma_{iz} = 0$ ;  $\varepsilon = 6, 10, 15, 20$ ;  $\sigma = 0.001, 0.01$ .

2.4-2.7-суреттерде ортаның әртүрлі диэлектрлік өткізгіштігі және бекітілген электр өткізгіштігі және вибратордың ұзындығы ( $\sigma = 0.001$  және  $0.01$  вибратордың ұзындығы  $L = 2$  м) кезінде вибратордағы координатаға токтың таралуының тәуелділігі келтірілген.

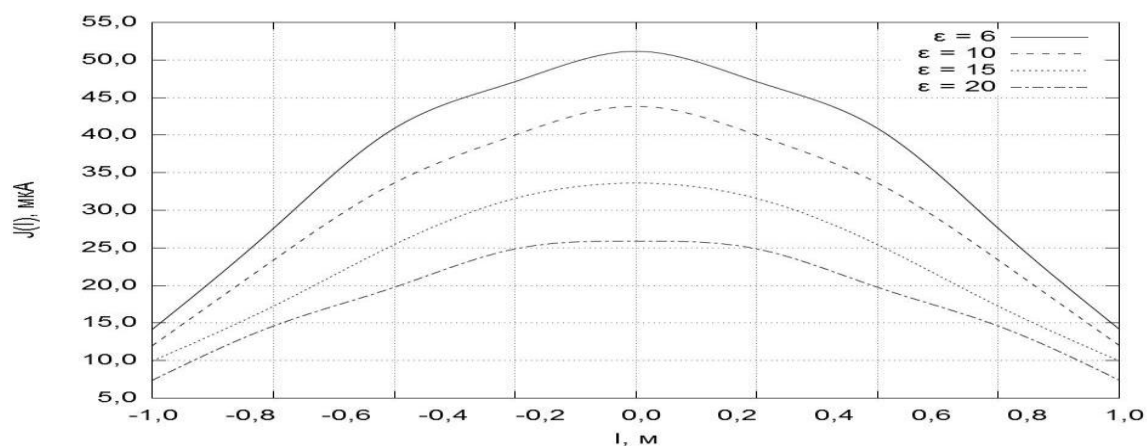
2.8-2.11-суреттерде ортаның әртүрлі диэлектрлік өткізгіштігі және бекітілген электр өткізгіштігі және вибратордың ұзындығы ( $\sigma = 0.001$  және  $0.01$  вибратордың ұзындығы  $L = 15$  ( $\lambda/4$ ) м) кезінде жартылай толқынды вибратордағы координатаға токтың таралуының тәуелділігі келтірілген.



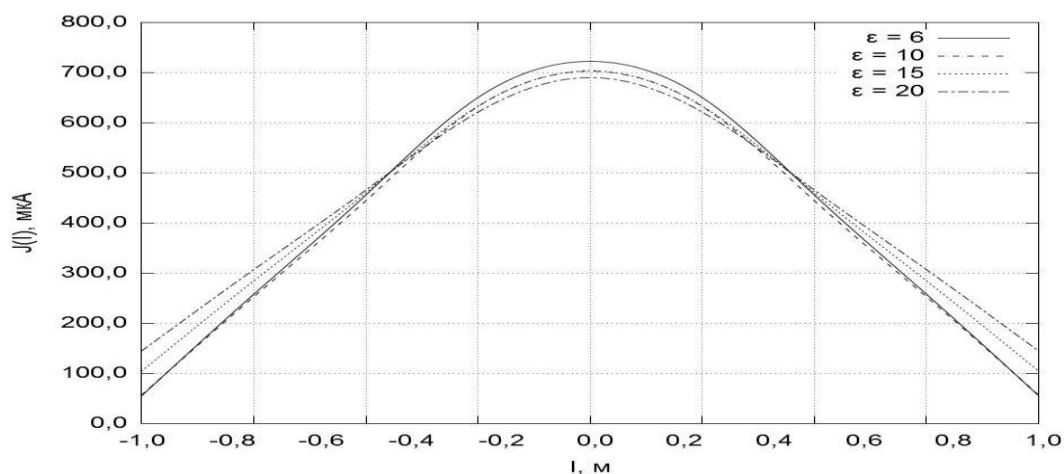
2.3 - сурет – Әр түрлі  $\varepsilon$  және бекітілген  $l = 2$  м және  $\sigma = 0.001$  мәндеріндегі ток үлестірімінің координатаға тәуелділігінің нақты бөлігі



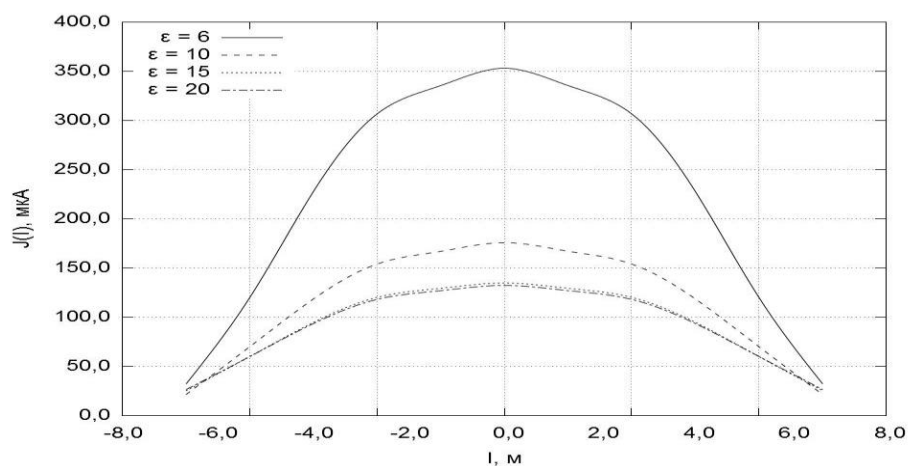
2.4 - сурет – Әр түрлі  $\epsilon$  және бекітілген  $l = 2$  м және  $\sigma = 0.001$  мәндеріндегі ток үлестірімінің координатаға тәуелділігінің ойдан шығарылған бөлігі



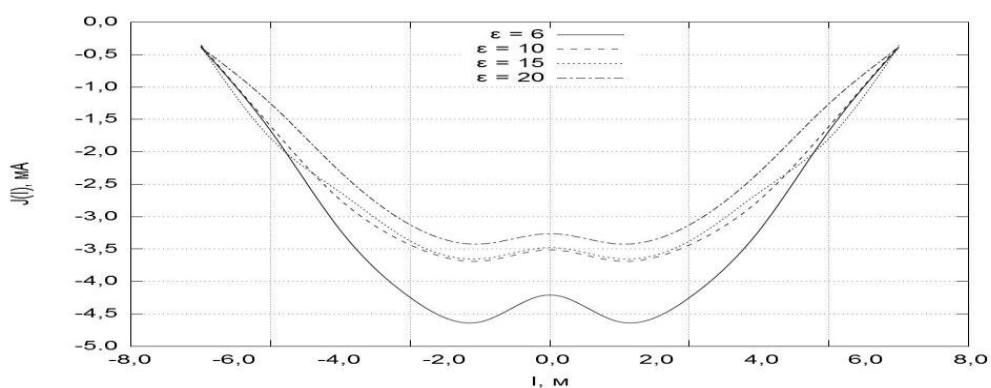
2.5 - сурет – Әр түрлі  $\epsilon$  және бекітілген  $l = 2$  м және  $\sigma = 0.01$  мәндеріндегі ток үлестірімінің координатаға тәуелділігінің нақты бөлігі



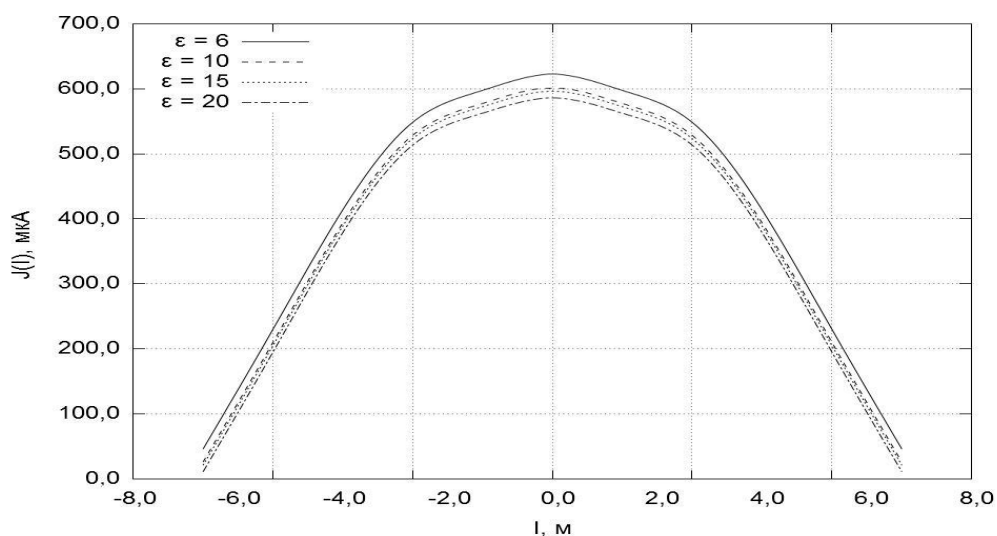
2.6 - сурет – Әр түрлі  $\epsilon$  және бекітілген  $l = 2$  м және  $\sigma = 0.01$  мәндеріндегі ток үлестірімінің координатаға тәуелділігінің ойдан шығарылған бөлігі



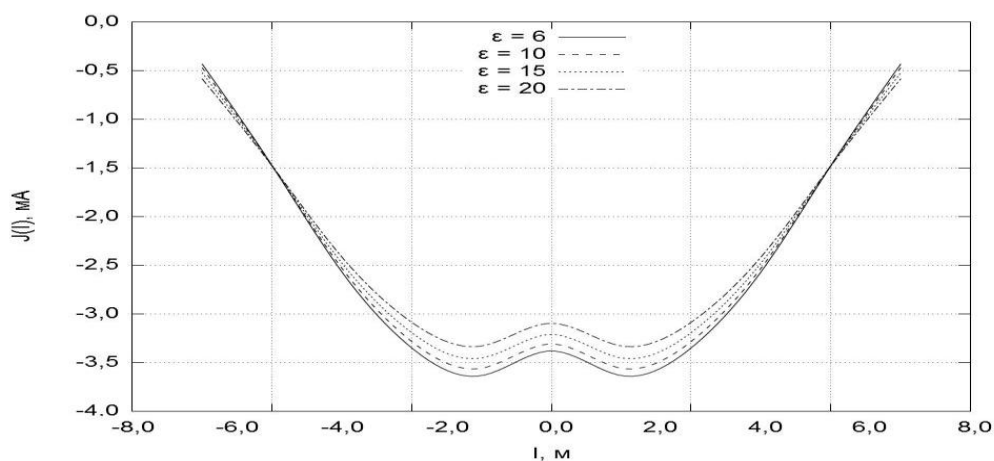
2.7 - сурет – Әр түрлі  $\epsilon$  және бекітілген  $l = 15$  м және  $\sigma = 0.001$  мәндеріндегі ток үлестірімінің координатаға тәуелділігінің нақты бөлігі



2.8 - сурет – Әр түрлі  $\epsilon$  және бекітілген  $l = 15$  м және  $\sigma = 0.001$  мәндеріндегі ток үлестірімінің координатаға тәуелділігінің ойдан шығарылған бөлігі



2.9 - сурет – Әр түрлі  $\epsilon$  және бекітілген  $l = 15$  м және  $\sigma = 0.01$  мәндеріндегі ток үлестірімінің координатаға тәуелділігінің нақты бөлігі



2.10 - сурет-әр түрлі  $\varepsilon$  және бекітілген  $l = 15$  м және  $\sigma = 0.01$  мәндеріндегі ток үлестірімінің координатаға тәуелділігінің ойдан шығарылған бөлігі

Бұдан әрі алынған нәтижелерді верификациялау мақсатында feko 7.0 бағдарламалық кешенінде орындалған вибратор (сынақ моделі) бойынша токтың таралу графиктері ұсынылатын болады.

2.7-2.8-суреттерде ортаның әртүрлі диэлектрлік өткізгіштігі және бекітілген электр өткізгіштігі және вибратордың ұзындығы ( $\sigma = 0.001$  және  $0.01$  вибратордың ұзындығы  $L = 2$  м) кезінде вибратордағы координатаға токтың таралуының тәуелділігі келтірілген.

2.9-2.10-суреттерде ортаның әртүрлі диэлектрлік өткізгіштігі және бекітілген электр өткізгіштігі және вибратордың ұзындығы ( $\sigma = 0.001$  және  $0.01$  вибратордың ұзындығы  $L = 15$  ( $\lambda/4$ ) м) кезінде жартылай толқынды вибратордағы координатаға токтың таралуының тәуелділігі келтірілген.

Ағымдағы функцияларды есептеудің жоғарыда келтірілген нәтижелері екі түбегейлі әртүрлі тәсілдерді қолдана отырып, жақсы келісімде. Атап айтқанда, алынған мәндердің сандық алшақтығы 10% – дан аспайды. Сонымен қатар, алынған нәтижелер жер асты антенналарының электрлік өнімділігі туралы жарияланған мәліметтерге жақсы сәйкес келеді.

Токтың таралу функциясын білу антенналардың қалған электрлік сипаттамаларын алуға мүмкіндік береді [20]. Осылайша, токтың таралу функцияларының жақсы сәйкестігі басқа есептік сипаттамалардың сәйкестігі туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

Есептеу нәтижелері жер асты антенналарының электрлік сипаттамаларын есептеудің ұсынылған әдістемесінің сәйкестігі туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Электрлік сипаттамаларды есептеу үшін сипатталған әдісті қолдану салыстырмалы түрде қарапайым антенналар жағдайында да, ерікті мәндері  $\sigma$  және  $\varepsilon$  болатын жартылай өткізгіш ортаға орналастырылған ерікті бағытталған оқшауланған өткізгіштер жиынтығынан тұратын күрделірек жағдайда да мүмкін. бұл өз кезегінде жер асты антенналарын жобалаудың тиімділігін арттырады.

## 2.2 Тұрақты электр өрісін қолдану арқылы диссипативті ортаның жергілікті көлемінің макроскопиялық параметрлерін басқару мүмкіндіктерін зерттеу

Жер асты антенналарының сипаттамаларын жақсарту үшін тұндыру ортасының макроскопиялық параметрлерін өзгерту мүмкіндіктерін талдаймыз.

Осылайша, біз қарастыратын білім саласы электродинамика мен жартылай өткізгіш (диссипативті) ортадағы электромагниттік толқындардың таралу теориясының қиылысына, яғни капиллярлық кеуекті коллоидты денелерге қатысты орталарда азаяды.

Ортаның макроскопиялық параметрлерін өзгерту мүмкіндігі онымен белгілі бір ұқсастығы бар және басқа авторлардың еңбектерінде сипатталған анықталған құбылыстармен жанама түрде расталады.

Қарастырылған дереккөздер мәлімделген жаңалыққа тек жанама қатысы бар. Дегенмен, олар электр өрісіне ұшыраған кезде әртүрлі орталардың электрофизикалық қасиеттерін өзгерту мүмкіндігін көрсетеді.

Теория тұрғысынан ортаның макроскопиялық параметрлерін өзгертуді қарастырыңыз.

Ортаның макроскопиялық параметрлері-макроскопиялық емес көлем бойынша орташа алынған диэлектрлік өткізгіштік мәні  $\epsilon$ , магниттік өткізгіштік, меншікті электр өткізгіштік  $\sigma$ .

$\Lambda$  тұрақты мәні үшін ену тереңдігі (тері қабатының шамасы) тек  $\epsilon$   $r$  және  $\sigma$  ортасының мәндерімен анықталады.

Жазық вибратордың бұл жетіспеушілігін жоюдың бір әдісі-саңылауға бөлінген қозуды қолдану, оған вибратордың иық жазықтығын антеннаның қуат бөлгіші(ДМ) арқылы үшінші тарап ЭҚК көзі (генератор) қоздыратын жеке бөлімдерге бөлу арқылы қол жеткізіледі.

Көлемді және жазықтық вибраторлардың иықтарын құрайтын өткізгіштер қоршаған ортадан оқшауланбаған (тікелей төсеу өткізгіштері) немесе ортадан диэлектрик қабатымен оқшауланған болуы мүмкін. Оқшауланған ПА және ПА тікелей орналасуы оларда қозған толқындардың түріне, қоршаған антеннаға энергия шығару механизмдеріне, талдау әдістеріне байланысты ерекшеленеді. Егер антеннаның қону орнындағы ортаны диэлектрлік деп санауға болатын болса ( $\epsilon \ll 60\sigma\lambda$ ) және ондамещысу токтары басым болса, онда энергетикалық тиімділік тұрғысынан өткізгіштің бір немесе басқа түрін таңдау маңызды емес және антеннаның ішкі электрлік сипаттамаларын қалыптастыру шарттары және оның пайдалану және технологиялық параметрлері бірінші орынға шығады. Басқа жағдайларда, өткізгіштік токтары ортада орын ауыстыру токтарымен қатар болған кезде, өткізгіштің оқшауланбаған бөлігі соңғы жерге тұйықтағыш рөлін атқаратын қоршаған ортадан оқшауланған немесе бөліктен оқшауланған өткізгіштерге артықшылық беру керек. Оқшауланған және оқшауланбаған бөліктердің ұзындықтарының арақатынасын таңдау арқылы Эмитенттің кіріс, оқшауланған бөлігінде токтың біркелкі бөлінуіне және оның соңғы, оқшауланбаған бөлігінде тез, экспоненциалды төмендеуіне қол жеткізіледі.

Жоғарыда келтірілген Ойлардан генератормен қанағаттанарлық сәйкестікті қамтамасыз етуді ескере отырып, антеннаны қоршаған ортадағы шығындарды азайту мақсатында кв диапазонының жерасты эмитенті ретінде квази-жазықтық тікбұрышты немесе секторлық (желдеткіш) симметриялы вибраторды ұсынуға болады, оның иықтары оқшауланған өткізгіштерден жасалған [6].

Қоршаған кеңістіктегі сызықтық симметриялы вибратор біркелкі таралатын цилиндрлік толқын жасайды. Жоғарғы жартылай кеңістікке ПА сәулеленуінің тиімділігі антеннаның бағыттылық диаграммасын қалыптастыру аймағында, Френель аймағында "жер-бос кеңістік" ортасының интерфейсіне жететін Сәулеленген энергияның бір бөлігімен ғана анықталады. Энергияның осы үлесін арттыру, яғни. антенна энергиясын жоғарғы жартылай кеңістікке сәулелендіру тиімділігін арттыру жер асты антенна жүйелерінде радиаторларды қолдану арқылы жүзеге асырылады, олардың бағыты орта интерфейсі бағытына бағытталған. Сәулеленудің қолайлы бағытын бұрыш түрінде симметриялы квази-жазықтық сектор вибраторын орындау арқылы алуға болады.

Интерфейс бағытына бағытталған сәулелену сипаттамалары тігінен орналасқан екі симметриялы вибратордан тұратын антеннаны пайдалану кезінде де жүзеге асырылады, олардың әрқайсысында үшінші тарап ЭМӨ генераторының көзі бар. Мұндай жұп, өздеріңіз білетіндей, тең амплитудалық қозу және тиісті фазалау кезінде ортаның интерфейсі бағытында максимумға бағытталған кардиоидтық бағыт диаграммасына ие.

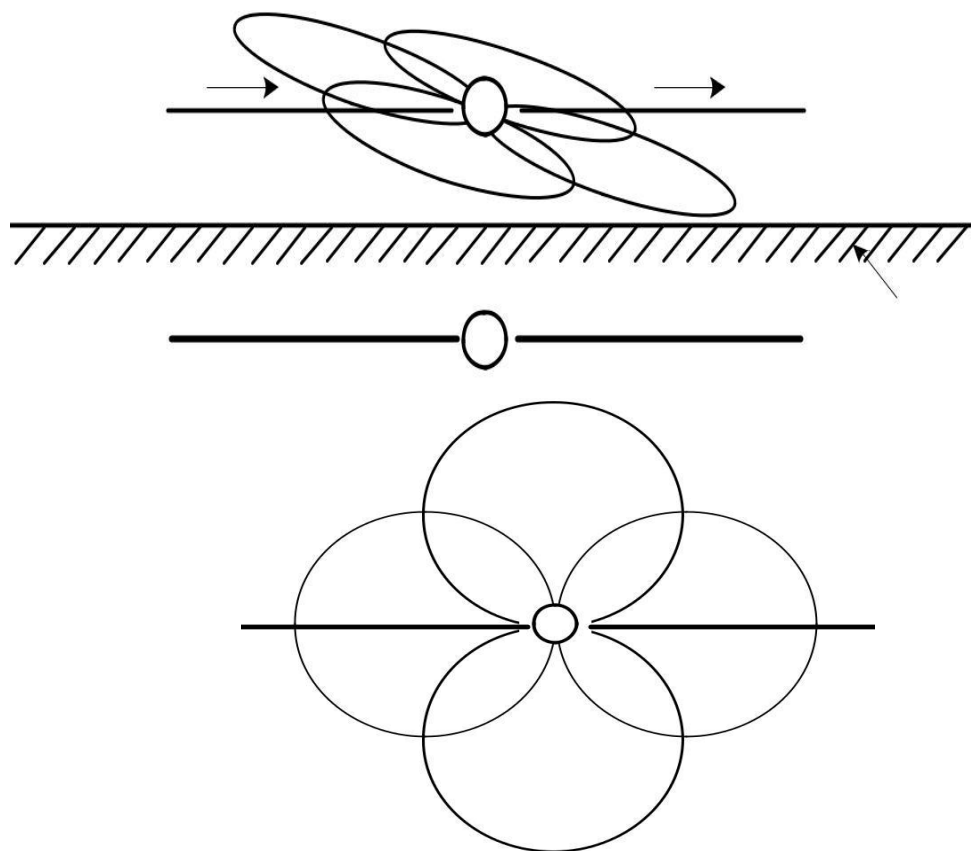
Сәулелену сипаттамаларының тәуелділігі, бұл нұсқада мәжбүрлі фазалауды қолданған кезде жиілік диапазонындағы фазалық сдсы тұрақтылармен қамтамасыз етіледі  $\varphi(\omega) = \varphi_{\text{порт}}$  және жиілік диапазонындағы вибраторлар арасындағы амплитудалық-фазалық таралу жақсы реттеледі.

Сәулеленген көлденең ПА энергиясы ортаның интерфейсіне жетеді және ішінара шағылысып, жоғарғы жартылай кеңістікке сынады, онда көлденең поляризацияланған электр өрісін қоздырады  $e_g$ , оның максимумы вибратор осіне перпендикуляр бағытта жасалады және тігінен поляризацияланған  $E_V$  өрісі, вибратор осі бағытында максимум.

Антеннаны диэлектрлік ортаға ( $\epsilon \gg 60\lambda\lambda$ ) интерфейсден электрлік маңызды қашықтықта орналастырған кезде өрістердің көрсетілген поляризациялық компоненттері энергиямен салыстырылады және радиобайланысты ұйымдастыру үшін көлденең және тігінен поляризацияланған радиотолқындарды бірдей пайдалануға болады. Алайда, берілген радио бағытта жұмыс істегенде, осы сызықтық поляризациялардың біреуін ғана қолдануға болады және өрістің ортогональды поляризацияланған компонентін қалыптастыруға жұмсалған Сәулеленген энергияның бір бөлігі шығындарға жатқызылуы керек.

Бұл жоғалтуларды сызықтық поляризацияланған антенналардан көлденең жазықтықта бағытталмаған (дөңгелек) сәулелену сипаттамасы бар айналмалы өрісті құрайтын дөңгелек поляризацияланған антенналарға өту арқылы болдырмауға болады. Квадратуралық фазалық сдсымен қозғалған екі

ортогональды симметриялы вибраторлардан құралған турникеттік антенна (та) жоғарғы жарты кеңістікте екі айналмалы өрісті - көлденең поляризацияланған ег толқындарын және көлденең жазықтықта дөңгелек бағытталған диаграммалары бар тігінен поляризацияланған E толқындарын жасайды.



2.11 - сурет – Бос кеңістікте көлденең және тігінен поляризацияланған электр өрістерінің таралуы

Егер компланарлы екі қабатты сызықтық вибраторлық антеннаны жазықтықты турникетпен бір конструкцияда біріктіретін болсақ, онда алынған көлемді турникеттік антенна екі Эмитенттің де артықшылықтарына ие болады, орталар интерфейсіне бағытталған сәуле шығарады және жоғарғы жартылай кеңістікте екі поляризациялық компоненттер үшін жиынтық ег және EV көлденең жазықтықта айналмалы бағыт диаграммасы бар E0 айналмалы өрісін құрайды (сурет 2.11).

Жоғарыда келтірілген ойлардың нәтижесі екі қабатты вибраторлық ПА болып табылады, оның қоршаған антеннаны сіңіретін ортадағы шығындарының минималды деңгейі, сондай-ақ бағытталмаған сәулелену мен паразиттік поляризация салдарынан болатын шығындар. ПА көлденең жазықтықта дөңгелек бағыт диаграммасына ие және асимметриядан босатылған. Құрылымдық жағынан, мысалы, құрылыстың шахталық нұсқасы үшін мұндай антенна 2.11-суретте көрсетілген түрге ие.

Жер асты антеннасы тігінен орналасқан және ортогональды бағытталған симметриялы вибраторлардың (SV) бірінші және екінші деңгейлерінен тұрады. SV иықтары диаметрі  $2a$  және ұзындығы  $L$  өткізгіштер түрінде жасалады, олардың әрқайсысы диаметрі  $2R$  ұңғымада, сондай-ақ макроскопиялық параметрлері бар жартылай өткізгіш топырақта бұрғыланған  $l$  ұзындығы: салыстырмалы диэлектрлік өткізгіштік  $\epsilon_r$  және меншікті электр өткізгіштік  $\sigma$  [См/м]. Ұңғыманың суретін жеңілдету мақсатында көрсетілмеген.

Оларға симметриялы вибраторлардың бірінші қабатының 1 өткізгіштерін орналастыру үшін ұңғымалар жартылай өткізгіш топырақта орналастырылған бункердің бүйір қабырғалары арқылы көлденең жазықтықта бұрғыланады. Ұңғымалар 2 ұңғымалар оларға ұңғыманың екінші қабатының өткізгіштерін орналастыру үшін бункер қоймасы арқылы бұрғыланды 4 сәйкесінше бұрыштарда орналасқан екі жазықтықта  $+\alpha$  және  $-\alpha$  бірінші қабаттың иықтарының орналасу жазықтығына қатысты, яғни көлденең жазықтыққа қатысты.

Екінші деңгейлі өткізгіштердің проекциялары бірінші деңгейлі өткізгіштерге перпендикуляр. Бұл бірінші және екінші деңгейдегі иықтардың кеңістіктік квадратурасын қамтамасыз етеді. SV-нің әр қолында өткізгіштер әр топтағы өткізгіштердің  $N$  тобына топтастырылған. 2.14-суретте, атап айтқанда, SV әр қолында көрсетілген  $N=4$  және  $K=5$ .

Әр топта өткізгіштер бір-бірінен  $dv$  қашықтықта орналасқан. Ал қатар орналасқан екі өткізгіш тобына жататын іргелес өткізгіштер арасындағы қашықтық  $d$  гр.

Әр топтың 1 өткізгіш кірістері біріктірілген. Демек, әрбір SV қолында  $N$  кірісі бар. Орналастырудың технологиялық жағдайларын ескере отырып, бірінші және екінші деңгейлердің иықтарының кірістері биіктігі бойынша антеннаның шамасына бөлінеді, бірінші және екінші деңгейлердің квадратуралық фазалық қозуы жүзеге асырылады, яғни тиісті кірістер арасында  $90^\circ$  фазалық сдәсу қамтамасыз етіледі.

Өткізгіштер  $\epsilon_r$  макроскопиялық параметрлерінің мәндеріне, антеннаның орналасу ортасына және жұмыс толқынының максималды ұзындығына байланысты  $\lambda_{\max}$  әр түрлі жолмен жүзеге асырылуы мүмкін. Егер  $\epsilon_r > 60$   $\sigma < \lambda_{\max}$  шартын орындау кезінде өткізгіштерді оқшауланбаған, мысалы, диаметрі  $2a$  мырышталған құбырлар түрінде, ал  $\epsilon_r < 60$   $\sigma > \lambda_{\max}$  шартын орындау кезінде ортадан оқшауланған, мысалы, тығыздығы төмен 153-09к полиэтиленді қолдану ұсынылады. мұндай өткізгіш ретінде сегментті қолдануға болады коаксиалды кабель.

Эксперименттік зерттеулер көрсеткендей, TGR про-су тобының ені TGR = (0,3 – 0,4)  $l$  болуы керек. Өткізгіштердің  $N$  топтарының әрқайсысындағы өткізгіштердің саны, олардың арасындағы  $dv$  арақашықтығы, сондай-ақ іргелес өткізгіштер топтары арасындағы DGR арақашықтығы да әр топтың өткізгіштері бойынша ток амплитудасының біркелкі таралуына және оның жалпы фазасына қол жеткізу шарты (яғни антеннаның күшейту коэффициентін максимизациялау)

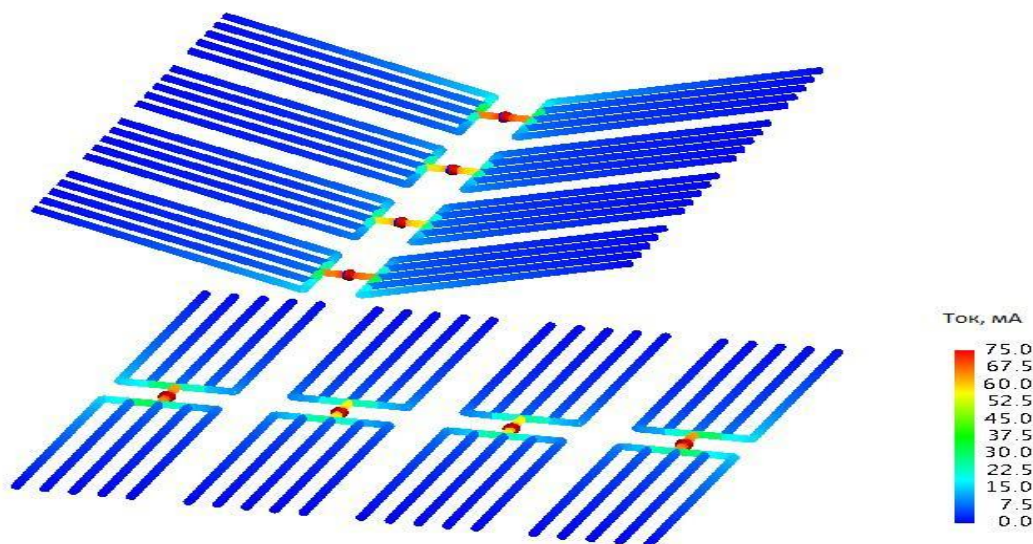


және объектінің қолайлы құнына қол жеткізу шарты негізінде эксперименталды түрде анықталады.

Сипатталған ПА-ның электрлік сипаттамаларына талдау жасайық. 2.14-суретте ПА электродинамикалық моделі көрсетілген.

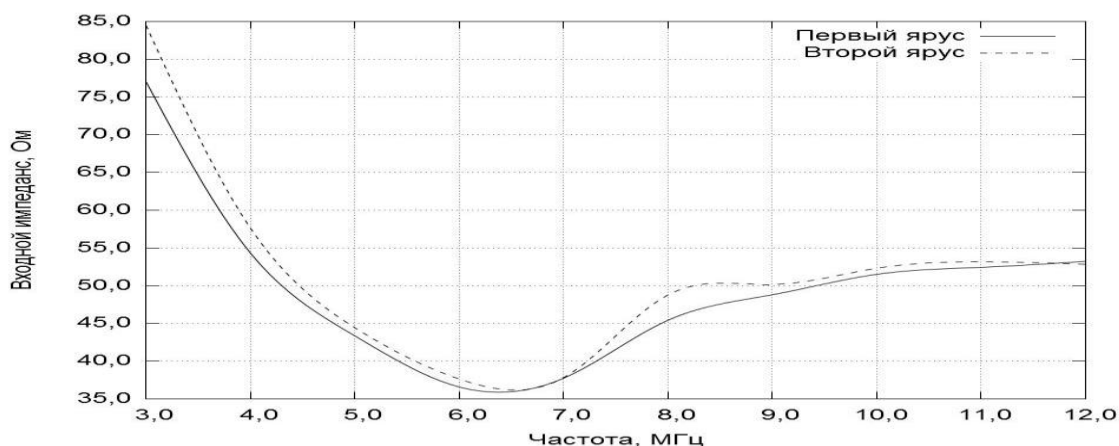
Есептеулерде келесі модель параметрлері қолданылды:

$\lambda_{\max} = 30$  м. есептеулер 3-12 МГц жиілік диапазоны үшін жүргізілді.

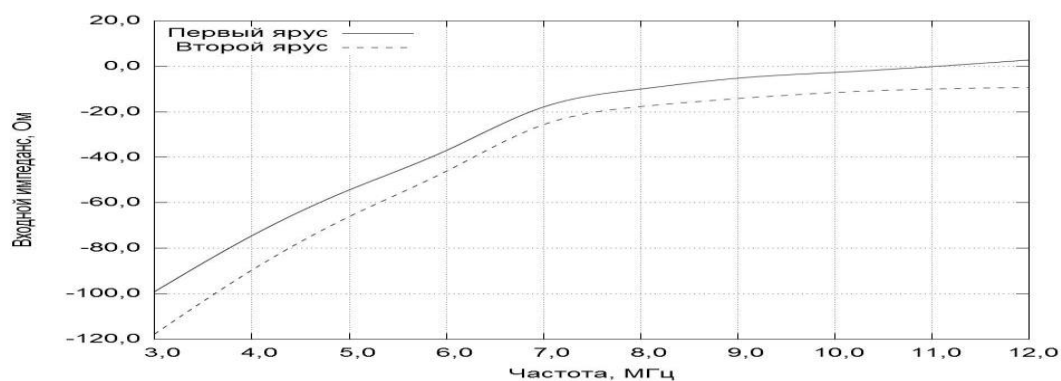


2.12 - сурет – Жер асты антеннасының электродинамикалық моделі

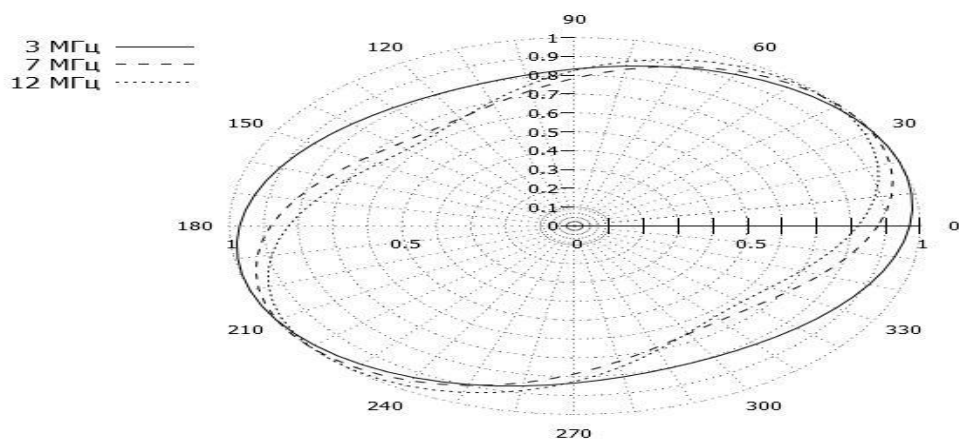
2.11, 2.12-суреттерде бірінші және екінші деңгейдегі антенна вибраторларының кедергі жиілігінің тәуелділігі көрсетілген. 2.13, 2.14-суреттерде 3 МГц, 7 МГц және 12 МГц жиіліктерінде есептелген азимутальды ( $\Theta = 600$ ) және тік ( $\Theta = 00$ ) жазықтықтардағы ДН көрсетілген, олардың бағытталған әрекет коэффициенті сәйкесінше -20 дБ, -10 дБ және -5 дБ құрайды. Сонымен қатар, А қосымшасында ұсынылған тік және азимутальды жазықтықтардағы және басқа жиіліктердегі, атап айтқанда 4, 6, 10 МГц және 5, 8, 11 МГц үшін бағытталған диаграммалар есептелді.



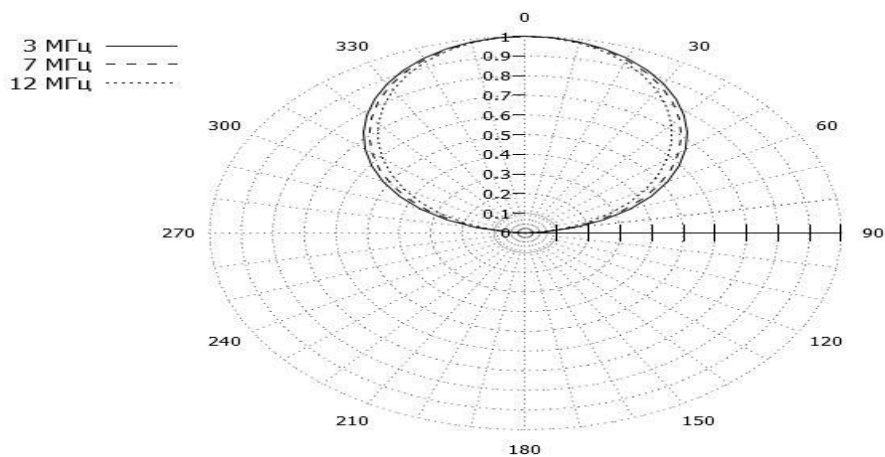
2.13 - сурет – Бірінші және екінші деңгейдегі симметриялы вибраторлар кедергісінің нақты бөлігінің жиілікке тәуелділігі



2.14 - сурет – Бірінші және екінші деңгейдегі симметриялы вибраторлардың импедансының ойдан шығарылған бөлігінің жиілікке тәуелділігі



2.15 - сурет – 3, 7 және 12 МГц үшін азимутальды жазықтықтағы жер асты антеннасының бағытталу диаграммалары



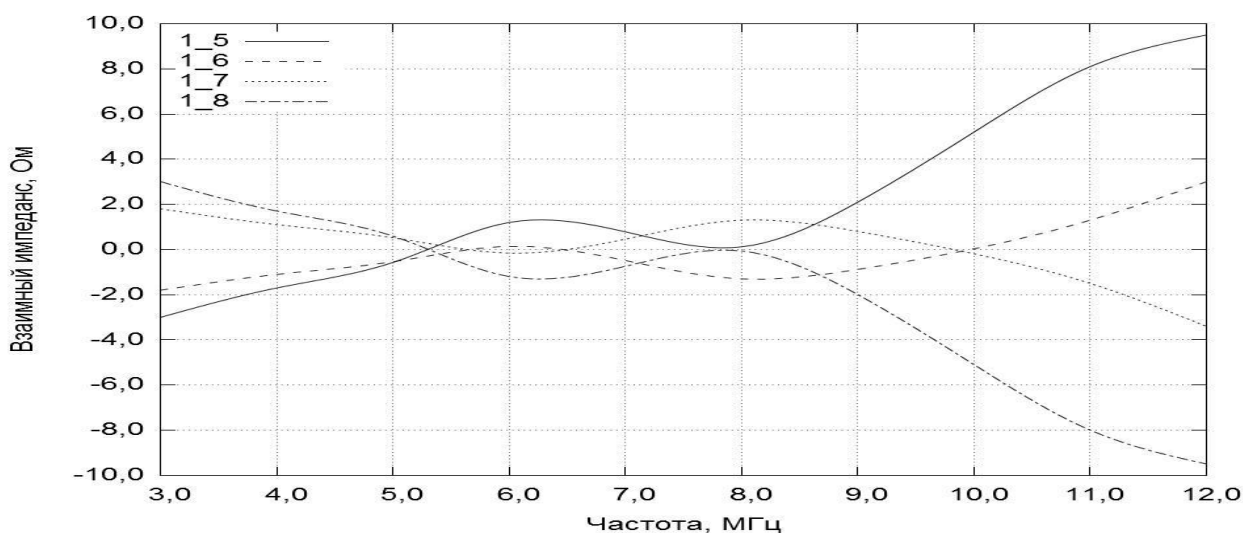
2.16 - сурет – 3, 7 және 12 МГц үшін тік жазықтықтағы жер асты антеннасының бағытталу диаграммалары

Кейбір жағдайларда қысқа мерзімде көбірек ақпарат беру қажет болатын жағдай туындауы мүмкін. Немесе күрделі кедергі жағдайында, байланыс арнасының сенімділігін арттыру қажет болғанда, бұл тағы да жоғары өткізу қабілеттілігін қажет етеді.

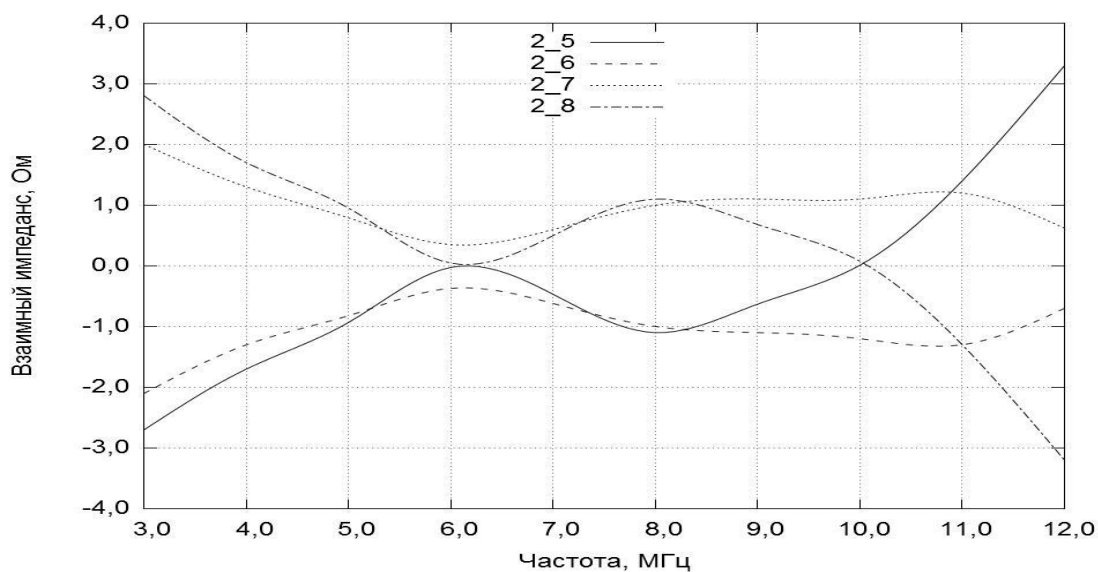
ДКМ диапазонында байланыс арналарының өткізу қабілетін арттыру кіші арналардың поляризациялық таралуына негізделген mimo (multi in-put Multi Output) технологиясын қолдану арқылы мүмкін болатындығы көрсетілген. Осыған байланысты таратушы және қабылдаушы антенна жүйелеріне қосымша талаптар қойылады [10, 13]. Атап айтқанда, антенналар поляризация бойынша бөлінген сигналдарды бір уақытта қабылдау немесе беру мүмкіндігіне ие болуы керек, яғни өзара ортогональды сәулелену элементтері болуы керек. Мұндай антенна жүйелерін жобалау кезінде сәулелену элементтері арасындағы өзара әсерді ескеру өте маңызды, өйткені бұл өте күшті, өткізу қабілеттілігіне әсер етеді. Өзара әсерді бағалау ретінде бір антеннаның сәулелену элементтері арасындағы өзара кедергі қолданылады.

3.16-3 суреттерінде. 19 берілген, зерттелетін жер асты антеннасы үшін өзара кедергінің жиілікке тәуелділігі көрсетілген. Бұл графиктерге "1\_5...1\_8" және "2\_5...2\_8" белгілері енгізілген. Бұл белгілеу жоғарғы және төменгі деңгейлердің қай екі элементінің өзара әсерін зерттейтінін көрсетеді. Осы электродинамикалық модельдің сәуле шығаратын элементтерінің барлық порттары 1-ден 8-ге дейін нөмірленген. 1-ден 4-ке дейінгі нөмірлеу төменгі деңгейдің сол жақ шетінен, ал 5-тен 8-ге дейінгі нөмірлеу жоғарғы деңгейдің алыс элементінен басталады. Мысалы, "1\_5" белгісі төменгі деңгейдің сол жақ сәулелену элементі мен жоғарғы деңгейдің алыс элементі арасындағы өзара кедергі көрсетілгенін білдіреді.

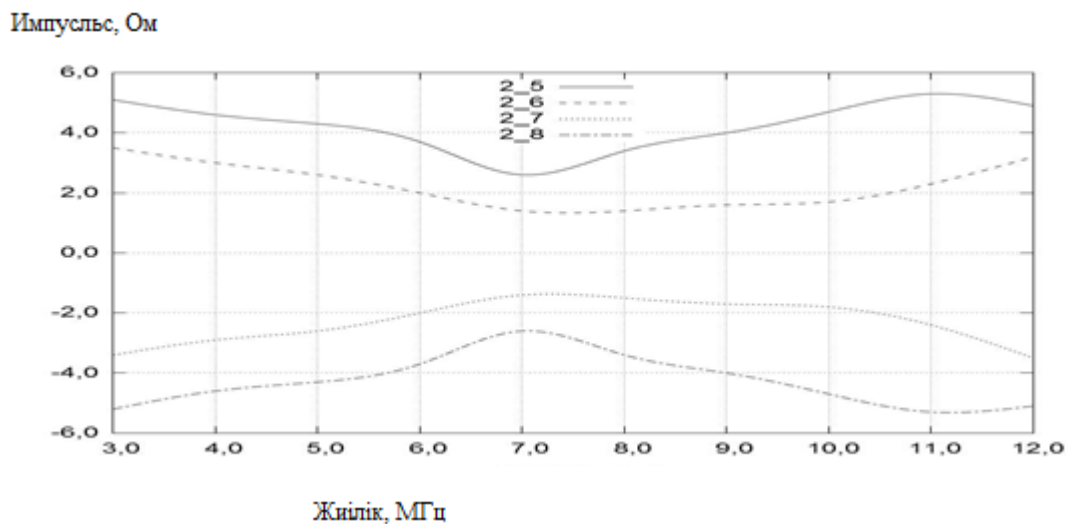
2.18, 2.19 графиктерінен көріп отырғанымыздай, кейбір жиіліктердегі өзара кедергінің нақты бөлігі теріс мәндерді қабылдайды, бұл сәулелену элементтеріндегі фазаға қарсы токтар туралы айтады.



2.17 - сурет – Өзара кедергінің нақты бөлігі



2.18 - сурет – Өзара кедергінің нақты бөлігі



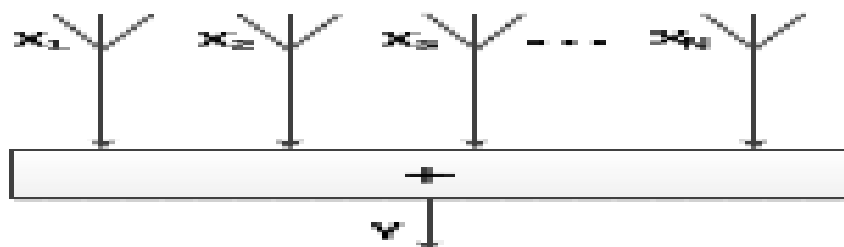
2.19 - сурет - Өзара кедергінің ойдан шығарылған бөлігі

Осылайша, графикалық деректерді талдай отырып, өзара импеданс мәндері өте аз екенін көруге болады, бұл өз кезегінде сәулелену элементтері арасындағы өзара әсердің аз екендігін көрсетеді.

### 2.3 Жер асты антенна жүйелерінің техникалық шешімдерін зерттеу және әзірлеу

Антенналық тор және фазалық антенналық тор (фаралар) ұғымдарын қысқаша қарастырайық.

Антенна торы (AR) - бұл белгілі бір жолмен кеңістікте орналасқан  $n$  жеке антенналардың (эмитенттердің) жиынтығы, олардың шығуларынан сигналдар  $x_1, \dots, x_N$  антенна жүйесінің (as)  $y$  шығыс сигналын қалыптастыру арқылы жинақталады. Антенна торының мысалы 3.20-суретте келтірілген.



2.20 - сурет – Антенна торы мұндай антенна жүйесінің бағыты диаграммасы ашылу үшін максималды нормаға ие

Еркін бағытта антенна жүйесінің бағыттылық диаграммасын қалыптастыру үшін фазалық ауыстырғыштар эмитенттердің трактаттарына енгізіледі, олар тербелістерді қалыптыдан басқа бағыттардан қабылдаған кезде фазалық рейдтерді өтейді. Мұндай жүйе фазалық антенна торы деп аталады. Фаралардың шығу сигналы келесідей ұсынылады:

$$y = \sum x_i \exp(j\phi_i) \quad (2.2)$$

Егер күтілетін пайдалы сигналды қабылдау бағытында бағыттылық диаграммасының максимумын қалыптастырумен қатар кеңістіктік сүзу (басқа бағыттардан өтетін кедергілерді басу) міндеті тұрса, онда адаптивті фазалық антенна торлары қолданылады. Адаптивті фаралар фазалық жүйенің фазалық ауыстырғыштарын реттелетін  $W_i$  салмақ коэффициенттеріне ауыстыру арқылы қарапайым алынады, жалпы жағдайда күрделі. Осылайша, адаптивті жиынтық сигналдарды фазада да, амплитудада да өзгерту мүмкіндігі пайда болады.

Бұл жүйенің бейімделуі  $w_1, K, w_N$  оңтайлы салмақ коэффициенттерін табуға дейін азаяды. Салмақ векторының бейімделу алгоритмдері (2.3) сигнал/(кедергі + Шу) қатынасын максимизациялау критерийі бойынша.

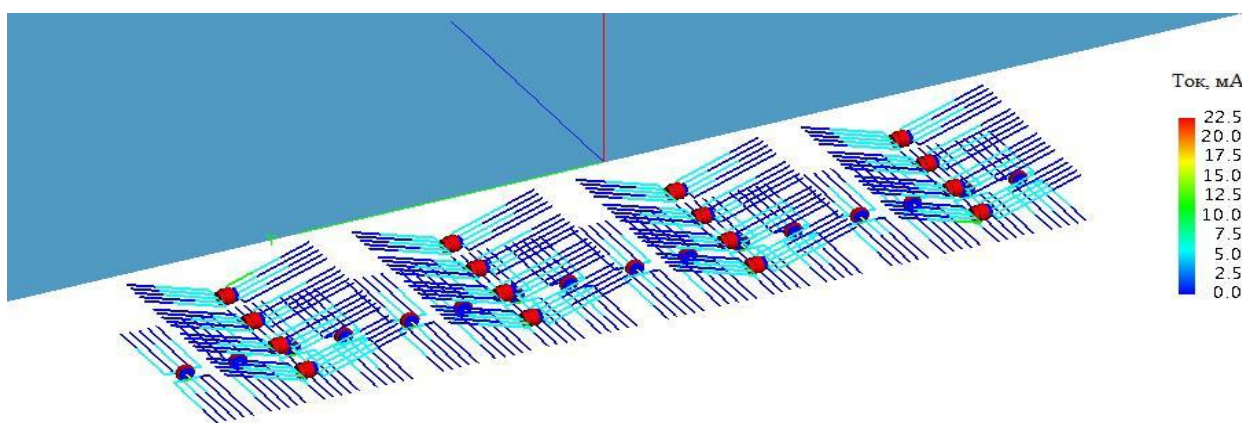
Осы абзацта және одан әрі антенна жүйесі деп біз қабылдауға да, беруге де қабілетті фараларды түсінеміз.

Жер асты антенна құрылғылары механикалық әсерлерге (діріл, жел және сейсмикалық жүктемелерге) және кейбір мамандандырылған пайдалану сипаттамаларына төзімділігімен ғана емес, сонымен қатар шектеулі аумақта көп элементті антенна жүйелерін, фазалық антенна торларын (фараларды) құру мүмкіндігімен де назар аударады.

Жер асты антеннасының торының бір элементі тиімсіз, бірақ оның төмен тиімділігі бір жағынан антенна жүйесінің тор мультипликаторымен өтеледі, ал екінші жағынан, жер асты антенналарының сәулелену сипаттамаларын қалыптастырудың кейбір ерекшеліктерін ескере отырып, азайтылуы мүмкін.

2.1-тармақта зерттелген базалық эмитенттердің жиынтығынан тұратын фараларды құрудың нұсқалары мен мүмкіндіктерін қарастырыңыз. Фараларды құрудың мақсаты-базалық эмитенттерді жартылай өткізгіш топыраққа салу жағдайында берілген энергетикалық әлеуетке қол жеткізу үшін қажетті параметрлері бар бір немесе бірнеше радиоарналарды қалыптастыру мүмкіндігі, радиотолқындардың таралу жолында сіңіру жағдайлары өзгерген кезде, сондай-ақ бағыты өзгерген немесе корреспонденттерді бір уақытта алып тастаған кезде радиолинияның энергетикалық әлеуеті деңгейімен тұтастай маневр жасау мүмкіндігі антенна жүйесінің соққы және діріл жүктемелерінен жоғары тұрақтылығын қамтамасыз ету. Бұл бөлімде сәулелену жүйесін құрудың нұсқаларын қарастырамыз. Соңғы жабдықты әзірлеу мәселелері, оларға қойылатын талаптар 4-бөлімге арналған.

Сызықтық антенна торының конфигурациясын қарастырыңыз. Электродинамикалық модель 3.21-суретте көрсетілген.



2.21 - сурет – 4 негізгі эмитенттен тұратын сызықтық антенналық тордың электродинамикалық моделі

Лар антенналық торындағы негізгі Эмитенттер арасындағы қашықтық = 6м. 3.22-суретте 3, 7, 12 МГц жиіліктерінде есептелген тік жазықтықта күн көрсетілген. 3.23-суретте азимут жазықтығындағы сызықтық тордың түбі көрсетілген ( $\Theta = 450$ ). Сәулелену максимумы бағытындағы КХД диапазонның тиісті жиілігі үшін -17 дБ, -4.7 дБ, -2.5 дБ мәніне ие. Сонымен қатар, басқа жиіліктерде, атап айтқанда, А қосымшасында ұсынылған 4, 6, 10 МГц және 5, 8, 11 МГц үшін бағытталған диаграммалар есептелді. Барлық жиіліктерде негізгі элементтер арасындағы қашықтыққа негізделген бағыт диаграммалары да есептелді. А қосымшасында фазаланған жерасты антенна торларының бағыттылық диаграммалары көрсетілген, олардың элементтері арасындағы қашықтық сәйкесінше 5 және 7 метр.

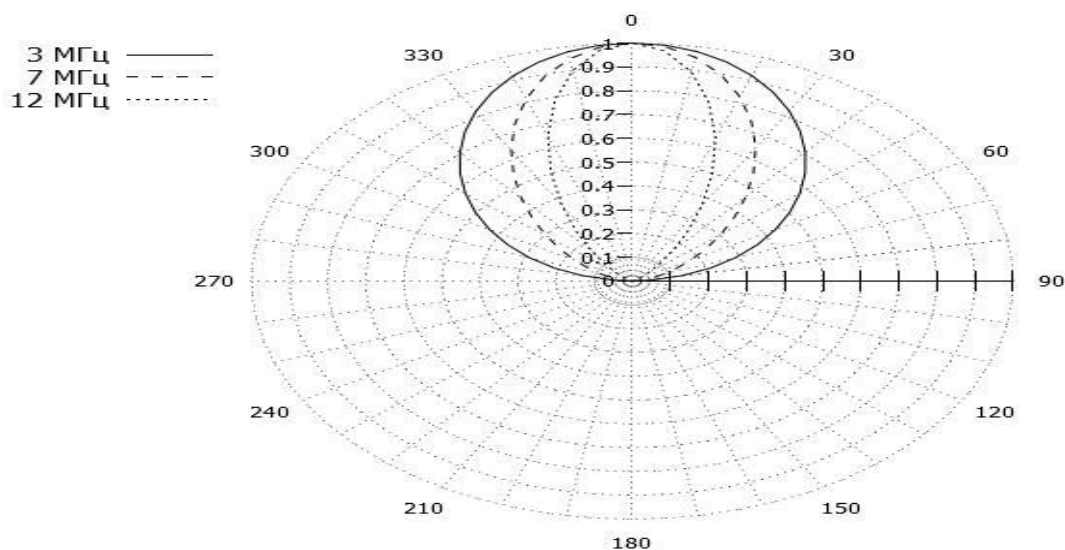
DN-ді жедел өзгерту үшін екі өлшемді антенна торы ұсынылады, ол жоғарыда қарастырылған екі сызықтық антенна торлары болып табылады,

олардың осьтері 900 бұрышта орналасқан. Мұндай тордың электродинамикалық моделі 3.24-суретте көрсетілген.

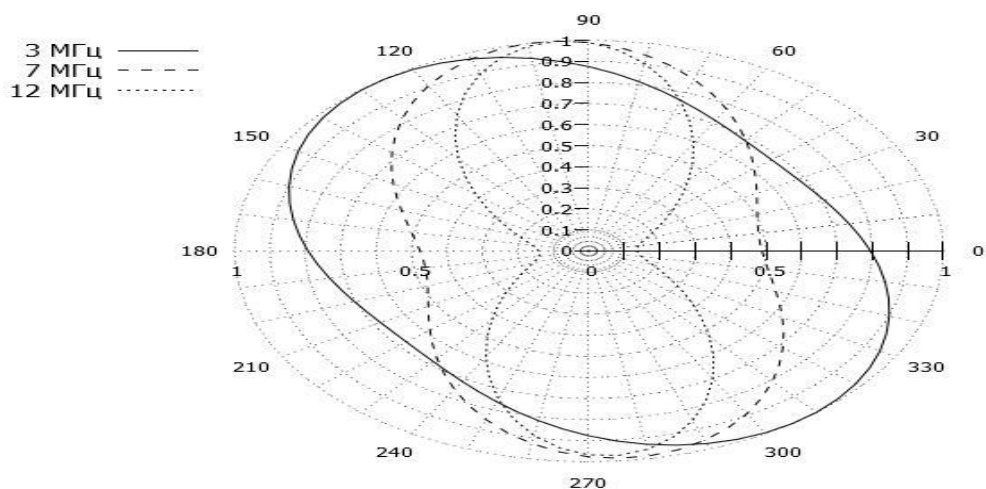
Екі өзара перпендикуляр тор тігінен 0.38 м қашықтықта орналасқан.

3.22-суретте 3, 7, 12 МГц жиіліктерінде тік жазықтықта күн көрсетілген. 3.26-суретте азимут жазықтығындағы сызықтық тордың түбі көрсетілген ( $\Theta = 450$ ). Сәулелену максимумы бағытындағы КУ диапазонның сәйкес жиілігі үшін -13 дБ, -4.8 дБ, 0 дБ мәніне ие. Сонымен қатар, басқа жиіліктерде, атап айтқанда, А қосымшасында ұсынылған 4, 6, 10 МГц және 5, 8, 11 МГц үшін бағдарлау диаграммалары есептелді.

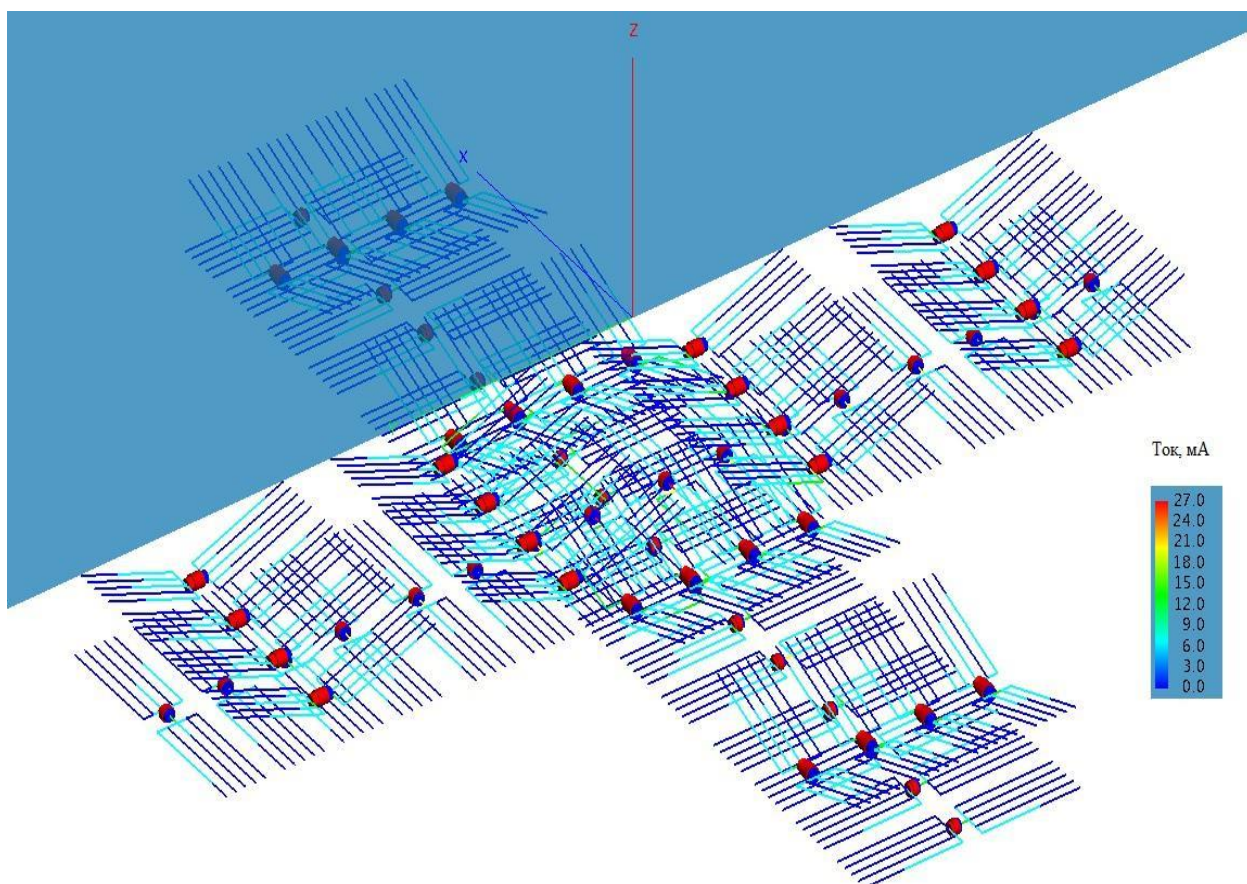
Жоғарыда қарастырылған фазалық сызықтық және екі сызықты антенна торлары сигналды қабылдауға да, беруге де мүмкіндік беретінін атап өткен жөн.



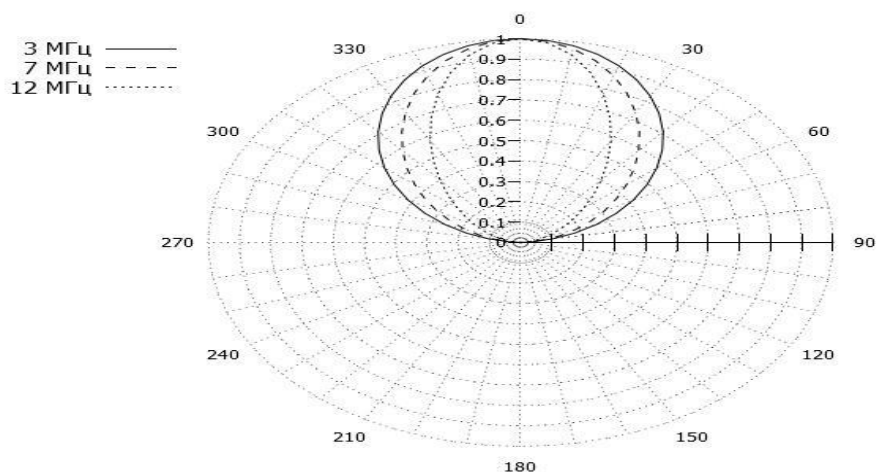
2.22 - сурет – 3, 7, 12 МГц жиіліктерінде есептелген тік жазықтықтағы сызықтық тордың бағыттылық диаграммасы



2.23 - сурет – 3, 7, 12 МГц жиіліктегі азимуттық жазықтықтағы сызықтық тордың бағдарлану диаграммасы

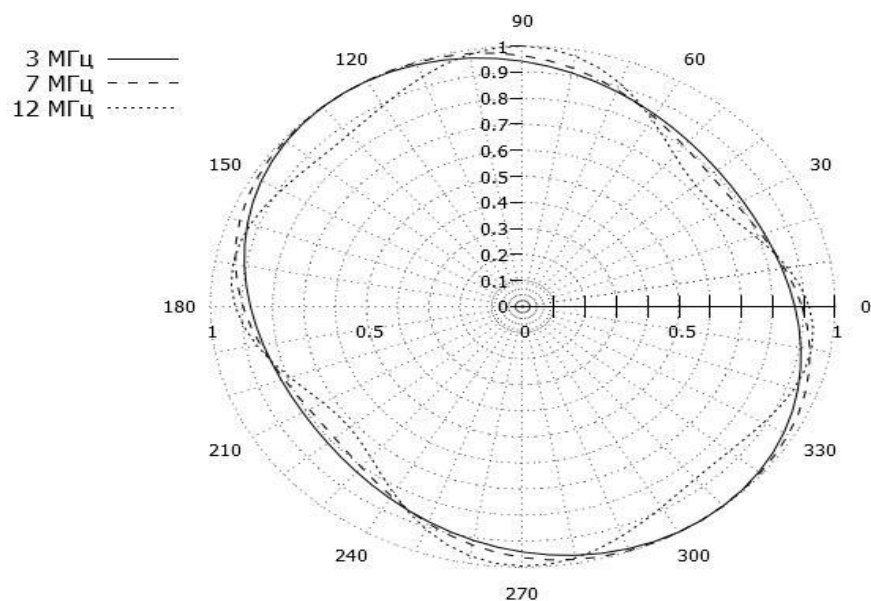


2.24 - сурет – 8 негізгі эмитенттен тұратын екі өлшемді антенналық тордың электродинамикалық моделі



2.25 - сурет – 3, 7, 12 МГц жиіліктердегі тік жазықтықтағы екі өлшемді тордың бағытталу диаграммасы





2.26 - сурет – 3, 7, 12 МГц жиіліктегі азимуттық жазықтықтағы екі өлшемді тордың бағытталу диаграммасы

Берілген әдістеменің әр қадамын қарастырыңыз. Тактикалық және техникалық талаптарды талдау жобаланған антенна жүйесінің қажетті сипаттамаларын таңдауды қамтиды, атап айтқанда:

- жұмыс жиіліктерінің диапазоны;
- номиналды кіріс кедергісі;
- келісу деңгейі (жүгіру толқынының коэффициенті – кбв немесе кернеу бойынша тұрақты толқынның коэффициенті-КСВН);

- максималды сыйымдылық;
- бағыт диаграммасының түрі (нысаны);
- бағытталған әрекет коэффициенті (КХД);
- күшейту коэффициенті;
- сәулеленетін (қабылданатын) толқындардың поляризация түрі;
- құрамдас бөліктердің параметрлеріне қойылатын талаптар
- шекті рұқсат етілген жүктемелер;

Сондай-ақ, жер асты антенналары мен объектілеріне оптикалық, радиолокациялық және басқа да көрінуді азайту үшін талаптар жиі қойылады, осылайша объектіні анықтау, тіпті одан да көп анықтау авиациялық, ғарыштық, агенттік немесе радиоэлектрондық барлау құралдарымен мүмкін болмады.

Бұл талаптар құрастырылған АС-қа техникалық тапсырманы әзірлеу кезеңінде қалыптасады.

Тактикалық және техникалық талаптарды талдау негізінде қолданыстағы номенклатурадан Эмитент түрін таңдау жүзеге асырылады. Бұл жағдайда сәулелену жүйелерінің типтік шешімдері жұқа сымдар негізінде конструктивті түрде жасалған азды-көпті күрделі вибраторлық антенналар болып табылады. Сонымен қатар, шунттық вибраторларға негізделген салыстырмалы түрде кең

жолақты шешімдер кейбір жағдайларда олар үшін жарамдылықты ағымдағы бақылауды жүзеге асырудың жоғары күрделілігіне байланысты қолайсыз болып табылады. Антенна кірісінде кедергіні басқаратын шунтталмаған вибраторлар жиі қолданылады [5]. Бұл бақылау антенна жүйесінің орналасу ортасы қатты өзгерістерге, соның ішінде оның электрофизикалық қасиеттерінің өзгеруіне ұшыраған жағдайларда қажет, мысалы, жер асты сулары пайда болған немесе диэлектрик бұзылған жағдайда.

Ионосферадан шағылысқан сигналды тұрақты қабылдау үшін поляризацияның әртүрлі түрлерін қолдану қажет болған жағдайларда (әдетте поляризациялық бейімделумен бірге), жалпы толқын орталығы және сәйкес фазалық сдәсуы бар айқасқан вибраторларға негізделген антенна жүйелері қолданылуы керек.

Генератормен қанағаттанарлық сәйкестікті қамтамасыз етуді ескере отырып, антеннаны қоршаған ортадағы шығындарды азайту мақсатында КВ диапазонының жерасты эмитенті ретінде квази-жазықтықты тікбұрышты немесе секторлық (желдеткіш) симметриялы вибраторды ұсынуға болады, оның иықтары оқшауланған немесе оқшауланбаған өткізгіштерден жасалған. Бұл жағдайда Эмитенттер екі деңгейде орналасуы керек, осылайша көлемді турникеттік антенна пайда болады, ол ортаның интерфейсіне бағытталған сәуле шығарады және жоғарғы жартылай кеңістікте оның екі поляризациялық құрамдас бөлігі үшін жиынтық түзеді. Е және Е көлденең жазықтықта дөңгелек бағытталған диаграммасы бар эллиптикалық поляризациясы бар өріс.

Сонымен қатар, осы кезеңде сәулелену жүйесінің құрамында келісетін құрылғыларды қолдану қажеттілігі туралы шешім қабылданады. Мұндай құрылғыларды диссертациялық зерттеудің бірінші тарауында көрсетілгендей N-контурлар немесе T-контурлар негізінде жасауға болады [6, 12].

Үшінші кезең орналастыру ортасына қойылатын талаптарды нақтылау болып табылады және қол жетімді аумақтарды талдауды, сондай-ақ әзірленіп жатқан АС-да сипатталған және осы Әдістеменің бірінші кезеңінде белгілі Шекті қол жеткізуге болатын жүктемелерге төтеп беру мүмкіндігін қамтамасыз етуге қабілетті жабын материалының қолда бар материалдарының ішінен таңдауды қамтиды.

Жабын материалын таңдаумен бірге ол анықталады электрофизикалық сияқты сипаттамалар диэлектрлік өткізгіштік  $\epsilon_r$  және өткізгіштік  $\sigma$ .  $E_r = \epsilon_r + 60\sigma \lambda$  диэлектрлік өткізгіштігінің күрделі мәнімен жұмыс істеу ыңғайлы.

Жабын материалының электрофизикалық параметрлерін анықтағаннан кейін негізгі Эмитенттің құрамына кіретін симметриялы I вибраторларының иық ұзындығын бағалау жүргізіледі. Иықтың ұзындығы материалдық ортадағы қысқаруды ескере отырып, қызмет көрсетілетін диапазонның максималды толқын ұзындығымен анықталады (Әдістеменің бірінші кезеңінде берілген) (3-кезеңде анықталған  $\epsilon_r$  және  $\sigma$  параметрлеріне байланысты).

Күрделі диэлектрлік өткізгіштіктің нақты және ойдан шығарылған бөліктері арасындағы қатынасқа байланысты өткізгіштерді оқшаулау немесе оның болмауы опциясын таңдау жүзеге асырылады.  $E_r > 60 \sigma \lambda$  макс шарттарын

орындау кезінде өткізгіштерді оқшауланбаған, мысалы, диаметрі  $2a$  мырышталған құбырлар түрінде, ал  $\epsilon r < 60\sigma\lambda$  макс шарттарын орындау кезінде ортадан оқшауланған, мысалы, тығыздығы төмен полиэтиленді қолданған жөн.

Эмитент пакетіндегі өткізгіштердің санын және осындай эмитенттердің санын таңдау қажетті сыйымдылық пен максималды шығындарды, сондай-ақ экономикалық талаптарды талдау арқылы жүзеге асырылады. Жартылай өткізгіш ортадағы шығындарды азайту шаралары Эмитенттің дизайнын оңтайландырумен байланысты. Сәулеленген ПА энергиясын жоғалтудың ең үлкен қарқындылығы оның бетіне жақын жерде болады, онда Сәулеленген антенна энергиясының ағынының тығыздығы ең жоғары болады. Антенна өткізгіштеріндегі ток тығыздығының төмендеуі оған берілген қуат деңгейін сақтай отырып және сәйкесінше вибратор пакетіндегі Эмитенттер санының артуы көрсетілген "жақын" шығындардың төмендеуіне әкеледі, бұл құрылымның қымбаттауына әкеледі. Ас жобалау кезінде осы көрсеткіштер арасындағы тепе-теңдікке қол жеткізу керек. Зерттеулер көрсеткендей, TGR өткізгіштер тобының ені берілген бағыттағы антеннаның TGR  $k_u$  болуы керек, бұл жартылай өткізгіш қабаттағы шығындарға байланысты, демек, бұл қабаттың қалыңдығына байланысты, сондықтан келесі кезең талаптарды қанағаттандыру мақсатында сәулелену жүйесінің жартылай өткізгіш ортаға батыру тереңдігін анықтау болып табылады.  $k_u$  және құрылымның берілген беріктігіне қол жеткізу. Айта кету керек, жер асты антеннасының сыртқы әсерлерге төзімділігін анықтау белгілі әдістермен жүзеге асырылады, оларды қарау осы жұмыстың шеңберінен шығады.

Төртінші кезең алдыңғы кезеңдерде анықталған параметрлері бар жобаланған антенна жүйесінің моделін құруды және 2.1-тармақта сипатталған әдісті қолдана отырып есептеулер жүргізу арқылы модельді талдауды қамтиды. Естеріңізге сала кетейік, мәселені шешу үшін бір вибраторларды, осындай вибраторлардың қосылуына негізделген күрделі базалық элементтерді, сондай-ақ диссипативті ортада орналастырылған әр түрлі конфигурациядағы фазалық антенна торларын талдауға жарамды электрлік сипаттамаларды есептеу әдісі ұсынылған. Әдістеме диссипативті ортада орналастырылған өткізгіштердің гетерогенді, оқшауланған сегменттерінен түзілген сызықтық антенналар жағдайында дамыған моменттердің белгілі әдісін қолдануға негізделген, ал өткізгіштердің бағыты (сызықтық питомниктің конфигурациясы), жалпы айтқанда, ерікті. Бұл тәсілді іске асыру диссипативті ортаға (жер асты антеннасына) батырылған антеннаның электромагниттік өрісін табудың электродинамикалық міндетін диэлектрлік орталардың интерфейстеріндегі жағдайларды ескеретін эквивалентті токтардың табылған үлестірімдері бойынша бос кеңістіктегі өрісті табу міндетіне дейін төмендетуге мүмкіндік береді. Осылайша, екі ортаның интерфейсінде пайда болатын әсерлер қарастырудан шығарылады.

Диссипативті диэлектрлік ортада орналасқан өткізгіш моделінің негізінде нақты көздерден көздердің локализация аймағын шектейтін бетіндегі

эквивалентті токтар жүйесіне өтуге мүмкіндік беретін эквивалентті токтар принципі жатыр.

Бұл жағдайда оқшауланған вибратор үшін эквивалентті токтар жүйесіне көшу оларды вибратордың диэлектрлік жабынының бетіне енгізу арқылы жүзеге асырылады, ал эквивалентті ЭҚК көздерінің амплитудасы мен фазалары нақты токтың таралу функциясына байланысты - антенна өткізгішінде.

Осы Әдістемеге негізделген есептеулерді жүргізу нәтижесінде негізгі Эмитенттің электродинамикалық параметрлері мен сипаттамалары анықталады, мысалы, токтың таралу функциясы, эмитенттердің кіріс кедергісі, KSVN, бағыт диаграммасы, берілген бағыттағы  $k_d$ , сонымен қатар шығындардың жалпы қуаты.

Әдістеменің бесінші кезеңі-геометриялық параметрлерді нақтылау. Бұл кезең АС параметрлерінің оңтайлы конфигурациясына қол жеткізу және әзірленіп жатқан жер асты антеннасына қойылатын тактикалық және техникалық талаптарды жақсы қанағаттандыру үшін өзгеруін білдіреді.

Антенна жүйесінің күрделі конфигурациясына және көптеген талаптарға байланысты осы кезеңдегі әрекеттерді итеративті әдіспен жүргізу керек, яғни әр түрлі параметрлердің біркелкі өзгеруімен есептеулер сериясын жүргізу керек (вибратордың иық ұзындығы, өткізгіштердің қалыңдығы, бір қабаттағы Эмитенттер арасындағы қашықтық, әр иықтағы өткізгіштер арасындағы қашықтық, АС батыру тереңдігі, әр түрлі параметрлердің арасындағы қашықтық). геометриялық параметрлерді анықтау, би-нің Белгілі бір электродинамикалық сипаттамаларына неғұрлым әсер ететін және сәулелену жүйесіне қойылатын талаптарды (кедергі, күн, пайда) неғұрлым толық қанағаттандыратын геометриялық конфигурацияны таңдау туралы шешім қабылдау.

Егер шығындарды одан әрі азайту қажет болса, бірақ материалдардың өзгеруі және АС геометриялық сипаттамалары орынды болмаса, тұрақты сыртқы электр өрісін қолдану арқылы шығындарды азайту мүмкіндігі бар.

Жартылай өткізгіш ортада қозғалған толқындық процестің жоғалу шамасы оның макроскопиялық параметрлерінің мәндерінің қатынасына пропорционалды: ег салыстырмалы диэлектрлік өткізгіштігі және  $\sigma$  меншікті өткізгіштігі. Басқаша айтқанда, жартылай өткізгіш ортада қозған электромагниттік өрістің (ЭМӨ) ыдырау дәрежесі  $i_{pr} / I_{cm} = 60\sigma\lambda / \epsilon r$  қатынасының шамасына байланысты, мұндағы  $i_{pr}$ -ортадағы өткізгіштік токтары,  $I_{cm}$  – орын ауыстыру токтары.

Бұл тәуелділік тікелей. Демек, ортаның өткізгіштігі неғұрлым аз болса, сол ортаға орналастырылған электродинамикалық жүйенің шығыны соғұрлым аз болады.

Антенна жүйесі салынған жерде сыртқы тұрақты электр өрісінің қабаттасуы антеннадан алыс бос кеңістіктік зарядтың локализациясына әкелетіні анықталды, бұл өз кезегінде Орта өткізгіштігінің жергілікті төмендеуіне (антеннаның маңында) және сәйкесінше шығындардың төмендеуіне әкеледі. Бұл тәсіл диссертациялық зерттеудің 2.3 тармағында егжей-тегжейлі сипатталған.

Сыртқы электр өрісін қолдану туралы шешім қабылдағаннан кейін, жобаланған АС моделіндегі өзгерістерді ескере отырып, есептеу жүргізіліп, антенна жүйесінің барлық электродинамикалық сипаттамалары техникалық талаптарға сәйкес келетініне көз жеткізу керек.

Сыртқы электр өрісін қолдану қажеттілігі туралы шешім қабылдау (немесе мұндай шешімнен бас тарту) жер асты антенна жүйелерінің базалық эмитенттерін жобалау бойынша әзірленіп жатқан Әдістеменің соңғы кезеңі болып табылады.

### **3 Жерасты антенна жүйелерінің құрамдас бөліктерін практикалық іске асыру және зерттеу**

#### **3.1 Жерасты антенна жүйелерін жобалау әдістемесін әзірлеу**

Жер асты антенналарының негізгі эмитенттерін жобалау әдістемесі жасалғаннан кейін, біз жер асты антенна жүйелерін жобалау әдістемесін жасауға кірісеміз. Бұл әдістеменің Блок-схемасы төменде егжей-тегжейлі қарастырылатын кезеңдерден тұрады.

Жер асты антенна жүйелерін жобалау әдістемесі, базалық эмитенттерді жобалау әдістемесі сияқты, тактикалық және техникалық талаптарды талдаудан басталады, бұл талаптар мұнда бүкіл жерасты антенна жүйесіне қойылатын айырмашылықпен. Жер асты антенна жүйелеріне қойылатын талаптар егжей-тегжейлі қарастырылып, 1.1-бөлімде талданды, сондықтан олардың бірнешеуін ғана қысқаша тізімдейміз.

Біріншіден, ең маңызды талап-антенна жүйелерінің әртүрлі механикалық, термиялық, химиялық, радиациялық, электромагниттік және басқа сыртқы әсерлерге төзімділігі.

Екіншіден, бұл радиотолқындардың сәулелену (қабылдау) қабілеті мағынасында жер асты антенналарының жұмысын сипаттайтын мақсатқа қойылатын талаптар. Бұл талаптардың көпшілігі базалық эмитенттерді жобалау әдістемесінде келтірілген, алайда базалық эмитенттерге негізделген жер асты антенна жүйелеріне ғана тән қосымша талаптар бар. Мұндай талаптарға, мысалы, тиісті амплитудалық-фазалық үлестіруді (АФР) қалыптастыру арқылы өлшенген жиынтықтау әдісін қолдану арқылы берілген бағытта радиотолқындардың берілуін (қабылдануын) қамтамасыз ету жатады.

Үшіншіден, 3.3-кіші бөлімде айтылғандай, жер асты антенна жүйелеріне көбінесе камуфляж, оптикалық, радиолокациялық және басқа көрінуді азайту талаптары қойылады.

Осы талаптардан басқа, жерасты антенна жүйелеріне қол жетімді, бірақ кем дегенде қорғалған баспаналарда келісу, фазалау, басқару, индикатор және басқа да осындай құрылғылар сияқты жерасты антенна жүйесінің құрамдас бөліктерін орналастыруға байланысты техникалық қызмет көрсету және жөндеу талаптары қойылады.

Осылайша, тактикалық және техникалық талаптарды талдау нәтижелеріне сүйене отырып, біз негізгі эмитенттердің түрі мен конфигурациясын таңдауға байланысты осы Әдістеменің келесі кезеңіне көшеміз.

Жерасты антенна жүйелерінің базалық эмитенттерінің түрі мен конфигурациясын таңдау 3.3-кіші бөлімде көрсетілген әдістемеге сәйкес жүзеге асырылады. Негізгі эмитенттерді жобалау әдістемесі берілген тактикалық және техникалық талаптарға, сондай-ақ тұндыру ортасының ерекшеліктеріне сүйене отырып, эмитенттердің құрылымдық шешімдерін таңдауды қамтиды. Сонымен қатар, бұл әдіс 2.1-бөлімде көрсетілген электродинамикалық талдау әдісін қолдану арқылы жер асты антенна жүйелерінің негізгі эмитенттерінің электрлік

сипаттамаларын есептеуді де қамтиды. Алынған антенна сипаттамаларына талдау жүргізгеннен кейін, қажет болған жағдайда базалық эмитенттердің геометриялық параметрлерін түзету жүргізіледі. Сондай-ақ, бұл әдістемеді жер асты антенналарының электрлік сипаттамаларын жақсарту мақсатында төсеу ортасының макроскопиялық параметрлерін басқару мүмкіндігі негізделген. Жоғарыда сипатталған жерасты антенна жүйелеріне қойылатын тактикалық-техникалық талаптарды ескере отырып, базалық эмитенттерді жобалаудың осы әдістемесін қолдану нәтижесінде жерасты антенна жүйесі негізделетін базалық сәулелену элементтерінің түрі мен конфигурациясы таңдалады.

Жер асты антенна жүйелерін жобалау әдістемесінің келесі кезеңі-осы антенна жүйесін орналастыру үшін қол жетімді аймақтарды талдау. Жоғарыда айтылғандай, тактикалық-техникалық талаптарды талдау кезеңінде жер асты антенналарына, ең алдымен, әртүрлі сыртқы әсерлерге жоғары төзімділік, сондай-ақ камуфляж талаптары сияқты талаптар қойылады. Осыған байланысты мұндай антенналардың географиялық орналасуы да, антенна деректері тікелей орналастырылатын диэлектрлік материалды таңдау да сұрақтар туындайды. Соңғысы, өз кезегінде, жер асты антенна жүйелерін электродинамикалық талдау кезінде оның макроскопиялық параметрлерін, мысалы,  $\epsilon$   $r$  диэлектрлік өткізгіштігін және  $\sigma$  өткізгіштігін ескеруді қамтиды. Айта кету керек, диэлектрлік материалды таңдау антенна жүйелерінің салыстырмалы түрде жақсы электрлік сипаттамаларын қамтамасыз ету үшін, берілген беріктігін сақтай отырып жасалады. Айта кетейік, жер асты антенна жүйесінің сыртқы әсерлерге төзімділігін анықтау белгілі әдістермен жүзеге асырылады, оларды қарау осы жұмыстың шеңберінен шығады.

Бұл әдістеменің келесі кезеңі жобаланған жерасты антенна жүйесінің энергетикалық көрсеткіштерін талдауды қамтиды. Жер асты антеннасының электрлік сипаттамаларына қойылатын талаптарға, сондай-ақ оларды орналастыру шарттарына сүйене отырып, берілген қуаттың мәні таңдалады. Атап айтқанда, осы антенна жүйелерінің пайда болу ортасы неғұрлым "нашар" болса (диэлектрлік өткізгіштік пен өткізгіштіктің жеткілікті жоғары мәндері), қолайлы электр өнімділігін қамтамасыз ету үшін соғұрлым көп қуат қажет болады. Жарияланған зерттеулердің нәтижелері көрсеткендей, толқындарды бір секірісті ионосфералық жолдар арқылы тарату арқылы аймақтық байланысты, сондай-ақ байланысты қамтамасыз ету үшін әдетте 5 кВт немесе одан да көп қуат деңгейі қажет. Жеткізу қуаты деңгейінің толық мәнін алу үшін жер асты антенна жүйесінің құрамына кіретін барлық негізгі эмитенттерді ескеру қажет екенін ескеріңіз.

Базалық сәулелену элементтерінің нақты санын және олардың өзара орналасуын таңдауды негіздейтін жерасты антенна жүйелерін жобалау әдістемесінің бұл кезеңі алдыңғы екеуімен тікелей байланысты, атап айтқанда, бұл Антенналарды қол жетімді жерлерде орналастыру талаптары және энергетика талаптары. Кейбір жағдайларда, мысалы, қуаттың шектеулі деңгейінде үлкен бағытталған әсер ету коэффициентін қамтамасыз ету қажет болған жағдайда, сфазаланған базалық эмитенттердің жиынтығын пайдалану

мүмкін болады деп болжанады. Сонымен қатар, базалық эмитенттердің шектеулі аумақта белгілі бір өзара орналасуы барлық қызығушылық тудыратын бағыттарды жабуға мүмкіндік береді. Негізгі эмитенттердің нақты санын, сондай-ақ жер асты антенна жүйесінің конфигурациясын таңдау (мысалы, сызықтық бір өлшемді немесе екі өлшемді тор түрінде) осы талаптарды қанағаттандыру мақсатында туындайды. Бұл кезеңде тор кезеңі де бағаланады.

Бұл әдістеменің келесі кезеңі алдыңғы кезеңдерде анықталған барлық параметрлерді ескеретін жобаланған жерасты антенна жүйесінің электродинамикалық моделін құруды қамтиды. Мұндай параметрлерге негізгі эмитенттердің геометриясы, олардың саны және кеңістіктегі өзара орналасуы, тұндыру ортасының макроскопиялық параметрлері (диэлектрлік өткізгіштік және өткізгіштік) және қоршаған антенна жүйесі диэлектрлік материал жатады. Сонымен қатар, бірқатар энергия параметрлерін ескеру қажет, мысалы, антенна жүйесіне берілген қуат деңгейінің мәні. Жобаланған жерасты антенна жүйесінің осы электродинамикалық моделінің электрлік сипаттамаларын есептеу электродинамикалық талдау әдісімен жүзеге асырылады.

Бұл әдістің ерекшелігі-барлық шекаралық жағдайларды ескере отырып, диссипативті ортаға батырылған оқшауланған антенна жүйесінің электромагниттік өрісін табу туралы электродинамикалық есепті антенна жүйесінің электромагниттік өрісін бос кеңістікте табудың электродинамикалық мәселесіне дейін азайту. Осылайша, бұл әдістің маңызды артықшылықтары оның есептеу ресурстарына салыстырмалы түрде төмен сұраныспен тапсырмалар класының осы түріне бейімделуі болып табылады.

Бұл кезең жобалаудың бастапқы кезеңінде қойылатын тактикалық және техникалық талаптарға сүйене отырып, оңтайлы конфигурацияға қол жеткізу үшін жобаланған жерасты антенна жүйесінің параметрлерін өзгертуді білдіреді.

Нәтижесінде оңтайлы антенна сипаттамаларын алу процесінде жер асты антенна жүйелерінің геометриялық және энергетикалық параметрлері нақтыланады.

Келесі кезең осы жерасты антенна жүйесіне қызмет көрсету бағыттарын анықтауды талдауды қамтиды. Жоғарыда айтылғандай, антенна жүйесінің әр түрлі бағытта жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін сызықтық бір өлшемді немесе екі өлшемді фазалық антенна торларын қолдану қажет. Бұл ретте қажетті бағыттылық диаграммаларын қалыптастыру тиісті амплитудалық-фазалық үлестірулерді іске асыру есебінен жүзеге асырылады.

Қазіргі уақытта келесі әдістер кеңінен қолданылды [10] қажетті бағыт диаграммаларын қалыптастыру:

- негізінде қалыптасқан ДН-нің берілген ДН-ден ауытқуын азайту;
- берілген бағыттағы күшейту коэффициентін (КХД) максимизациялау шешімі негізінде;
- бақылау нүктелерінде қалыптасқан және берілген күн сәйкес келеді;
- Дольф-Чебышев сызықтық торларының синтезі негізінде.

Осы Әдістеме шеңберінде қызмет көрсетілетін бағыттарға сәйкес амплитудалық-фазалық үлестірулерді қалыптастыру ұсынылады,



электродинамикалық модельдеу негізінде, бағытталған әрекет коэффициентін максимизациялау әдісімен жүзеге асырылады, оның мәні берілген бағыттан жазық толқын түскен кезде антенна жүйесінің элементтеріндегі амплитудасы мен фазасының индукцияланған мәндерін анықтаудан тұрады. Фазалық инверсиядан кейін алынған коэффициенттер берілген бағыттағы ішінара өрістердің жалпы фазалық қосылуына сәйкес келетін амплитудалық-фазалық үлестірімді береді.

Қажетті амплитудалық-фазалық таралуы бар сигналдар ансамблі антенналық тор элементтерін қоректендіруді іс жүзінде іске асыруды диаграмма құраушы жүйе (ДОС) жүзеге асырады. Қазіргі уақытта диаграмма құраушы жүйелердің техникалық шешімдері ең кең таралған:

- сызық сегменттері;
- фазалық ауыстырғыштар;
- LC торлар;
- Баттлер матрицалары.

LC торы-электромагниттік толқындардың екі өлшемді таралу арнасы болып табылатын қатты ортаны модельдейтін құрылғы. Басқаша айтқанда, LC торы Максвелл линзасының екі өлшемді аналогы болып табылады. Мұндай ДОС АС құрылымын қайталайтын секторлардан тұрады. Әр сектор төменгі жиілікті сүзгі түріндегі ұяшықтардан тұрады. LC торларына негізделген dos құру кезінде әртүрлі өлшемдер мен пішіндегі ұяшықтармен қамтамасыз етілетін фазалық сдсуларды анықтау қажет. LC торларына негізделген dos артықшылықтары амплитудалық-фазалық үлестірімдердің жоғары дәлдігін қамтамасыз ету, жеткілікті жоғары өнімділік болып табылады. Алайда, диаграмма құраушы жүйелердің осындай техникалық шешімін қолдану сақиналы антенна торларының құрамында ғана мүмкін болады, бұл айтарлықтай кемшілік. Сондықтан, жер асты антенна жүйелерінің деректері үшін, әдетте, жедел басқарылатын фазалық ауыстырғыштарға негізделген техникалық шешімдер қолданылады. Бұл ретте жерасты антенна жүйесінің бағдарлану сипаттамаларын жедел басқару мүмкіндігі қамтамасыз етіледі.

Соңғы кезең антенна жүйесін әртүрлі параметрлерге бейімдеу мүмкіндігін қамтиды. Ең алдымен, бұл бағдарлау сипаттамаларын жедел өзгерту қажеттілігімен байланысты, бұл өз кезегінде диаграмма құраушы жүйелердің күрделі конструкцияларын қолдануды қамтиды. Екіншіден, кейбір жағдайларда поляризациялық сипаттамаларды жедел басқару қажет, мысалы, ионосфералық жолдардың күйіне байланысты сол жақ эллиптикалық поляризацияны оңға және керісінше өзгерту. Сонымен, бұл жиілікті жылдам өзгерту мүмкіндігі, осыған байланысты жедел қалпына келтірілетін антеннаны сәйкестендіру құрылғысын пайдалану қажет [6, 12].

Антенна жүйелерін жобалаудың осы әдісінің көмегімен сызықтық бір өлшемді және екі өлшемді фазалық антенна торларының нақты техникалық шешімдері жасалды. Көрсетілген торлар үшін бағдарлау диаграммаларын есептеу нәтижелері А қосымшасында келтірілген.

Жер асты антенна жүйелерінің базалық эмитенттерінің техникалық шешімдерін зерттеу және әзірлеу орындалды.

Симметриялы вибраторларды іске асырудың негізгі нұсқалары, соның ішінде жұқа біртекті өткізгіштерге негізделген қарапайым жартылай толқынды вибратор, көлемді симметриялы вибратор, квази-жазықтықты тікбұрышты симметриялы вибратор, секторлық вибратор, оқшауланған соңғы Жерге тұйықталған вибратор, секторлық оқшауланған (желдеткіш) вибратор қарастырылады.

Қарастырылған симметриялы вибраторлар негізінде деңгейлі және турникеттік құрылымдардың қалыптасу мүмкіндіктері талданады. Бір конструкцияда жазықтықты турникетпен компланарлы екі қабатты сызықтық вибраторлық антеннаны біріктіру негізінде жүзеге асырылатын көлемді турникет антеннасы түріндегі жерүсті сәулелену жүйесін құру ұсынылды.

Зерттеу нәтижелері бойынша екі қабатты вибраторлық құрылым түріндегі жерасты турникеттік антеннасының базалық эмитентінің техникалық шешімі ұсынылды, оның қоршаған антеннаны сіңіретін ортадағы шығын деңгейі, сондай-ақ бағытталмаған сәулелену және паразиттік поляризация есебінен шығын азаяды. Эмитенттің негізгі электрлік өлшемдері үшін алдын ала бағалаулар алынды.

Автор әзірлеген электродинамикалық талдау әдістемесі бойынша жүргізілген Эмитенттің электрлік сипаттамаларының есептеулері импеданс сипаттамаларының өте қолайлы мәндерін көрсетті (табиғи келісу деңгейі АнСУ көмегімен толық келісу мүмкіндігі қамтамасыз етілетіндей), сондай-ақ азимуттық жазықтықтағы бағыттылықтың дөңгелек диаграммасына жақын (біркелкі  $\pm$ стігі  $\pm 2,6$  ДБ аспайды) және меридиандық жазықтықтағы бағыттылық диаграммасының жеткілікті ені (полярлық бұрыш нөлден  $75^\circ$  - қа дейін).

Жер асты антенна жүйелерінің техникалық шешімдерін зерттеу және әзірлеу жүргізілді.

Ұсынылған базалық эмитенттердің жиынтығынан тұратын фараларды құрудың нұсқалары мен мүмкіндіктері қарастырылады. 4 базалық эмитенттерге және 8 базалық эмитенттерден тұратын екі өлшемді (екі сызықты) торға негізделген сызықтық антенна торының конфигурациясы негізделген.

Автор әзірлеген әдістеме бойынша жүргізілген торлардың сипаттамаларын есептеу қажетті бағыттылық диаграммаларын қалыптастыру, оларды жедел басқару (Екі өлшемді тор үшін) және салыстырмалы түрде жоғары күшейту коэффициентін (минус 2,5 мин минус 4,5 дБ-ден кем емес) жүзеге асыру мүмкіндігін көрсетті.

Жерасты антенна жүйелерінің базалық эмитенттерін жобалау әдістемесі әзірленді, оған мыналар кіреді: тактикалық-техникалық талаптарды талдау; жабын материалын таңдау; жабын материалының электродинамикалық сипаттамаларын анықтау; симметриялы вибраторлардың иық ұзындығын таңдау; өткізгіштерді оқшаулау қажеттілігі туралы шешім қабылдау және олардың сипаттамаларын анықтау; пакеттегі вибраторлардың санын және әр деңгейді құрайтын пакеттердің санын таңдау; тереңдікті анықтау есептеулер

нәтижелері бойынша эмитенттің геометриялық параметрлерін нақтылау; тұрақты электр поляысу өрісін қолдану арқылы Эмитент орналасқан жерде диссипативті ортаның жергілікті көлемінің макроскопиялық параметрлерін басқару құралдарын қолдану қажеттілігін талдау. Критерийлер тұжырымдалып, әр кезең үшін қажетті есептік қатынастар алынды.

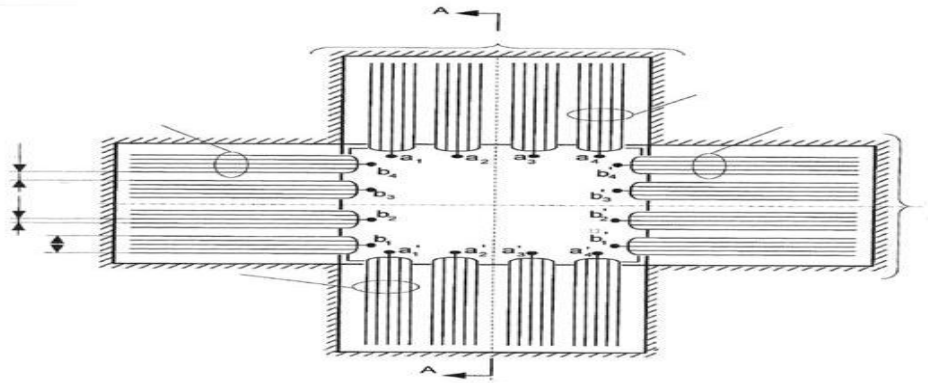
Жерасты антенна жүйелерін жобалау әдістемесі әзірленді, оған мыналар кіреді: базалық Эмитенттің конфигурациясын таңдау; антенна жүйесін орналастыру үшін қол жетімді аудандарды талдау; энергетикалық көрсеткіштерді талдау; базалық эмитенттердің санын және олардың өзара орналасуын таңдау; есептеу нәтижелері бойынша эмитенттің геометриялық параметрлерін нақтылау; қызмет көрсету бағыттарын талдау, қажетті амплитудалық-фазалық үлестірімдерді анықтау; антенна жүйесінің бейімделуі туралы шешім қабылдау. Әр кезеңнің мазмұны және тиісті критерийлер негізделген.

Қажетті амплитудалық-фазалық үлестіруді қамтамасыз ететін диаграмма құраушы жүйені іске асырудың негізгі нұсқалары қарастырылған.

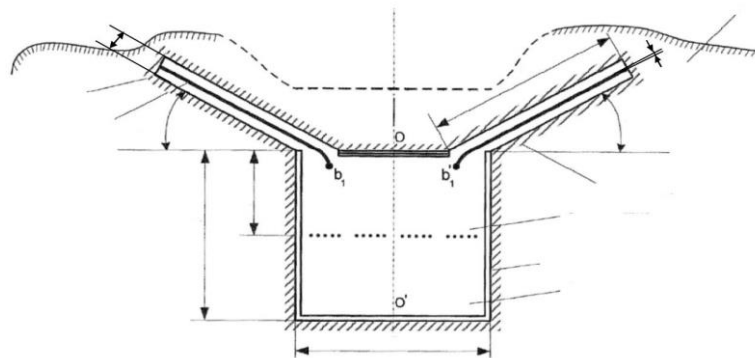
### **3.2 Дипломдық жұмыс нәтижелерін енгізу шеңберінде жерасты антенна жүйелерінің құрамдас бөліктерін іс жүзінде іске асыру**

3.1-суретте көрсетілген жер асты антеннасы симметриялы вибраторлардың (SV) бірінші және екінші деңгейлерінен тұрады. SV иықтары диаметрі 1 А және ұзындығы 1 өткізгіштер түрінде жасалады, олардың әрқайсысы диаметрі 2R болатын 2 ұңғымада, сондай-ақ макроскопиялық параметрлері бар жартылай өткізгіш топырақта бұрғыланған 1 ұзындығы 3: салыстырмалы диэлектрлік өткізгіштік  $\epsilon$  және меншікті электр өткізгіштік  $\sigma$  (См/м). 3.1-суретте 2-ұңғыманың суретін жеңілдету мақсатында көрсетілмеген. Ұңғымалар 2, оларға симметриялы вибраторлардың бірінші қабатының 1 өткізгіштерін орналастыру үшін, бункердің бүйір қабырғалары арқылы көлденең жазықтықта бұрғыланды 4, сондай-ақ жартылай өткізгіш топырақта орналастырылды 3. 4-Бункер  $B \times L \times H$  өлшемдері бар 5 металл экранмен қоршалған. Ұңғымалар 2 оларға СВ екінші қабатының 1 өткізгіштерін орналастыру үшін св бірінші қабатының иықтарының орналасу жазықтығына қатысты, яғни көлденең жазықтыққа қатысты тиісінше  $+\alpha$  және  $-\alpha$  бұрыштарында орналасқан екі жазықтықта бункер қоймасы арқылы 4 бұрғыланды. Екінші деңгейдің 1 ст өткізгіштерінің проекциялары бірінші деңгейдің 1 ст өткізгіштеріне перпендикуляр. Бұл бірінші және екінші деңгейдегі иықтардың кеңістіктік квадратурасын қамтамасыз етеді. SV-нің әр қолында өткізгіштер әр топтағы өткізгіштердің N тобына топтастырылған. 3.1-суретте, атап айтқанда, SV әр қолында көрсетілген  $N = 4$  және  $K = 5$ . Әр топта 1 өткізгіштер бір-бірінен d қашықтықта орналасқан. Ал қатар орналасқан екі өткізгіш тобына жататын іргелес өткізгіштер арасындағы қашықтық  $d_{gr}$ .

Әр топтың 1 өткізгіш кірістері біріктірілген. Демек әр иық



3.1 - сурет – Жоспардағы жер асты антеннасының түрі



3.2 - сурет – Жер асты антеннасының көлденең қимасының түрі

Симметриялы вибраторлардың әр қолында  $i$ -ші топты құрайтын өткізгіштердің осьтері арасындағы қашықтық  $(0,1-0,15)$  шегінде таңдалады. Бір-біріне іргелес  $I$ -ші және  $(I + 1)$ -ші вибраторлар тобының өткізгіштері арасындағы қашықтық  $(0,2-0,25)$   $l$  шегінде таңдалады.

Орналастырудың технологиялық жағдайларын ескере отырып, бірінші және екінші деңгейлердің иықтарының кірістері биіктігі бойынша  $h = (0,4 - 0,6)$   $h$  шамасына бөлінеді. Бірінші және екінші деңгейлердің иық кірістері бірінші және екінші деңгейлердің қуат бөлгіштерінің әр тобындағы  $N$  шығу бойынша шығудың тиісті екі тобына қосылған. 3.3-суретте бірінші және екінші деңгейлердің қуат бөлгіштерінің әр тобы сәйкесінше бірінші және екінші деңгейлердің қуат күшейткіштерінің шығыстарына қосылғаны көрсетілген. Патогеннің модуляциялық кірісіне сыртқы манипуляция (модуляция) сигналы беріледі. Бірінші деңгейдегі күшейткіштің кірісі аттенуатордың шығысына қосылған, оның кірісі фазалық ауыстырғыштың (FV) шығысына қосылған, оның кірісі қоздырғыштың бірінші шығысына қосылған. Патогеннің екінші шығысы екінші деңгейлі күшейткіштің кірісіне қосылған. Бірінші және екінші деңгейлердің қуат бөлгіштері бірдей және сәйкес деңгейдің иық жұбының

барлық (қарастырылып отырған нұсқада, сегіз) кірістері арасында берілген қуаттың бірдей амплитудалық бөлінуіне арналған. Бірінші және екінші деңгейлердің қуат бөлгіштері трансформаторларды коаксиалды фидерлердің сегменттеріне қоса отырып, екілік схема бойынша фидердің сегменттерінде іске асырылуы мүмкін. Мұндай қуат бөлгіштерді есептеу принциптері және фидер сегменттеріндегі сәйкес трансформаторлардың параметрлерін таңдау тәртібі белгілі және сипатталған. Фаза айналдырғыш бірінші және екінші деңгейлердің квадратуралық фазалық қозуын қамтамасыз етуге арналған, яғни А кірістері мен b1–b4 кірістері арасындағы 90° фазалық сдасуды қамтамасыз ету ; b1'–b4'. Фазалық ауыстырғышты коаксиалды кабельдің коммутацияланған сегменттерінде жасауға болады.

Аттенуатор бірінші және екінші деңгейдегі күшейткіштердің шығуындағы қуат теңдігіне қол жеткізуге арналған. Осы мақсаттағы аттенуаторлар – бұл тиісті қуатқа арналған реттелетін резистор, мысалы, С2-10 типті резисторлар.

Өткізгіштер 1 макроскопиялық параметрлердің мәндеріне байланысты  $\epsilon r$ ,  $\sigma$  антеннаның орналасу ортасы және жұмыс толқынының максималды ұзындығы  $\lambda_{\text{макс}}$  әр түрлі жолмен жүзеге асырылуы мүмкін. Егер  $\epsilon r > 60\sigma \lambda_{\text{макс}}$  шартын орындаған кезде өткізгіштер 1 оқшауланбаған, мысалы, диаметрі  $2a$  мырышталған құбырлар түрінде, ал  $\epsilon r < 60\sigma \lambda_{\text{макс}}$  шартын орындаған кезде ортадан оқшауланған, мысалы, тығыздығы төмен 153-09к полиэтиленді қолданған жөн. мұндай өткізгіш ретінде коаксиалды кабельдің бір бөлігін пайдалануға болады. 1 өткізгіштерді орындаудың басқа нұсқалары мүмкін, мысалы, белгілі РА-да жүзеге асырылғандай, шығарылған қуат нүктесі бар.

Зерттеулер көрсеткендей, TGR өткізгіштер тобының ені  $TGR = (0,3 - 0,4)$  1 болуы керек . Өткізгіштердің N топтарының әрқайсысындағы өткізгіштердің саны, олардың арасындағы d в қашықтығы, сондай-ақ іргелес өткізгіштер топтары арасындағы DGR қашықтығы да әр топтың өткізгіштері бойынша ток амплитудасының біркелкі таралуына және оның жалпы фазасына қол жеткізу шарты (яғни антеннаның күшейту коэффициентін максимизациялау) және объектінің қолайлы құнына қол жеткізу шарты негізінде эксперименталды түрде анықталады.

Қуат күшейткіштері ретінде өнеркәсіпте шығарылатын белгілі күшейткіштерді қолдануға болады, мысалы, 5 кВт шығыс қуаты бар Р - 631, 15E1389-6 қосындысы.

Патоген ретінде өнеркәсіп шығаратын белгілі үлгілерді қолдануға болады, мысалы, Р-170В, "Азур" және т. б.

Ұсынылған жер асты антеннасының жұмысын қарастырыңыз. Патоген оның шығуынан қосылған кезде төмен деңгейдегі қуат күшейткіштердің көмегімен және қажетті деңгейге дейін күшейтіледі. Сонымен қатар, трактілердің бірінде (қарастырылып отырған жағдайда фазалық ауыстырғыш пен аттенуаторды енгізу есебінен А1 – а 4 кірістері бойынша оларды жұмыс жиілігінде реттеу арқылы амплитудасы бойынша тең және фазасы бойынша 90° қозғаушы ЭҚК – ге ауысатын шығыстарда (a1 – а 4 ) және ( b1-b4 ) қамтамасыз

етіледі. Бұл SV бірінші және екінші деңгейлерінің иықтарының ортогональды орнатылуын ескере отырып, айналмалы сәулелену өрісін қалыптастырудың міндетті шарттарын жүзеге асырады: фазалық және кеңістіктік квадратура және жер асты антеннасының SV ортогональды деңгейлерінің қозуының тең амплитудасы. Осылайша, мәлімделген антенна айналмалы поляризация өрісін шығарады.

Шығарылған өрістің бұл құрылымы Зенитке бағытталған максимуммен тік жазықтықта бағыт диаграммасының қалыптасуын анықтайды. Мұндай антеннаның азимут жазықтығында радиолинаның жұмысы үшін маңызды ионосфералық толқындармен  $\theta$  биіктік бұрыштарындағы толық өріс бойынша амплитудалық бағыт диаграммасы іс жүзінде дөңгелек болады.

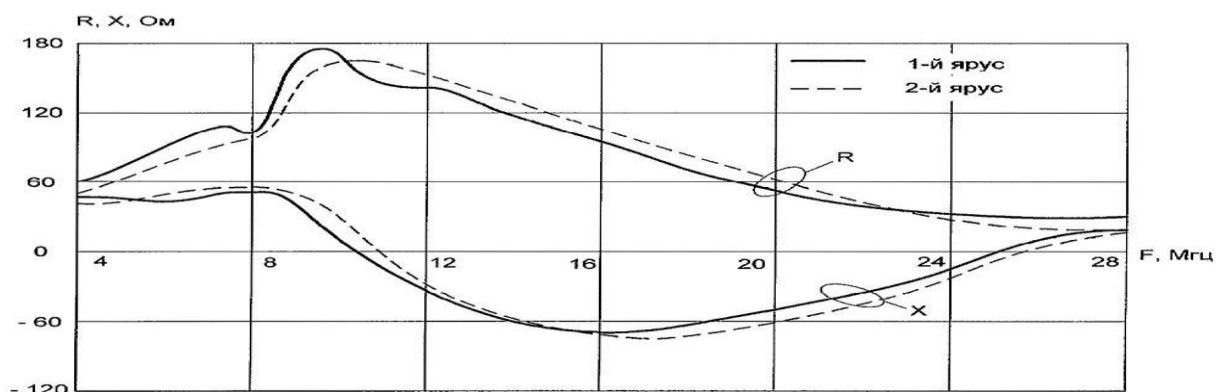
Деңгейлердің бірінің симметриялы вибраторының эквивалентті схемасы көрсетілген, ол бункердің металл экранын ескере отырып, екі қимада қозған жазықтық симметриялы вибратор болып табылады, олардың әрқайсысында N қозу нүктелері бар (қарастырылып отырған мысалда  $N = 4$ ). Иық өткізгіштері N топқа біріктірілгендіктен, олардың әрқайсысына өткізгіштерге шектеулі Сан кіреді ( $N = 4, K = 5$ ) және әр топ тиісті қуат бөлгіштің жеке шығысына қосылған, иықтың барлық өткізгіштері арқылы өтетін Жоғары жиілікті (жж) токтардың жалпы фазасы іс жүзінде бұзылмайды. Бір қолдың өткізгіш топтарының барлық қосылу нүктелері қоздырғыш ЭҚК фазасымен бірдей, ал TGR өткізгіштерінің жеке тобының ені, толқын ұзындығынан едәуір аз, токтардың таралуы маңызды емес. Демек, максималды шамада жалпы жж тогының амплитудасының ауданын бір уақытта максимизациялай отырып, ПА-ны орналастыру үшін рұқсат етілген аймақ қолданылады. Сонымен қатар, бункердің металл экранының ПА жалпы электр тізбегіне қосылуын ескере отырып, жж токтарының амплитудасының біркелкі бөлінуі қамтамасыз етіледі (4.4 б-сурет). Белгіленген белгілі жер асты антеннасымен салыстырғанда ұсынылған ПА-ның жоғары тиімділігін (КУ) анық көрсетеді [7].

Ұсынылған антеннаны тексеру  $\lambda_{\text{макс}} = 75 \text{ М}$  бастап жұмыс істеуге арналған прототипте орындалды. антенна  $\varepsilon_r = 6$  параметрлері бар жартылай өткізгіш топыраққа орналастырылды;  $\sigma = 10^{-4} \text{ См/м}$  және құрылымдық элементтердің келесі өлшемдері болды:  $l = 2,5 \text{ м}$ ;  $2A = 25 \text{ мм}$  (мырышталған металл құбырлар);  $2r = 30 \text{ мм}$ ;  $\alpha = 25^\circ$ ;  $d_v = 0,25 \text{ м}$ ;  $d_{gr} = 0,5 \text{ м}$ ;

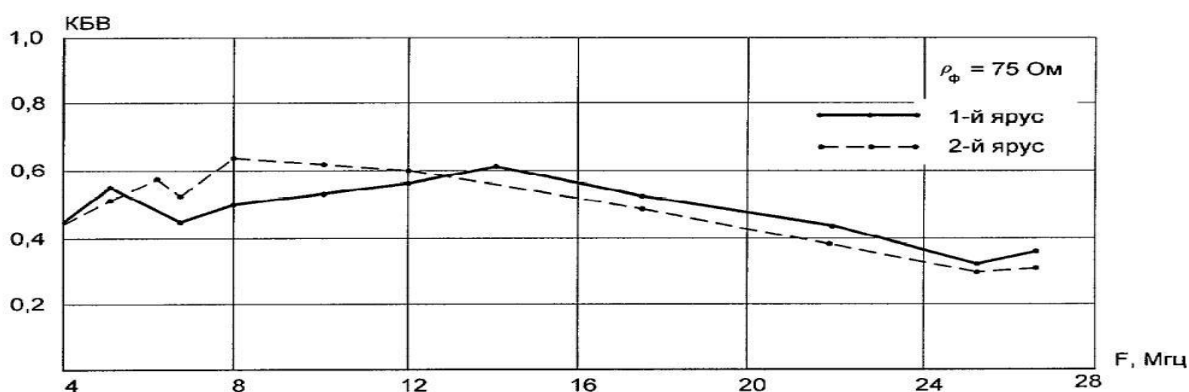
Эксперименттік зерттеулер барысында ПА-ның ішкі параметрлері өлшенді: бірінші және екінші деңгейдегі симметриялы вибраторлардың R, X кіріс кедергісі және қозғалмалы толқын коэффициенті (КБВ).

3.3-суретте ұсынылған па үшін де, белгілі ПА үшін де  $\theta$  биіктігінің әртүрлі бұрыштары үшін есептелген азимутальды түндер берілген. Алынған нәтижелер келесі қорытындыларға негіз береді: SV бірінші және екінші деңгейлері үшін кіріс кедергісі (R, X) және сәйкестендіру сапасы (CBV) іс жүзінде бірдей, бұл айналмалы сәулелену өрісін алу шарттарының бірін - бірінші және екінші деңгейлердің SV тең амплитудалық қозуын орындау мүмкіндігін растайды; ұсынылған ПА-да  $\theta = 20^\circ - 30^\circ$  биіктік бұрыштарының интервалындағы

азимутальды ДН біркелкілігінің коэффициенті 0,8-0,95 құрайды, бұл белгілі ПА-да бұл параметрден 1,6-2,0 есе асады.



3.3 - сурет – Бірінші және екінші деңгейдегі симметриялы вибраторлардың R, X кіріс кедергісі



3.4 - сурет – Толқын коэффициентінің жиілікке тәуелділігінің графигі

Осылайша, маңызды белгілердің жиынтығының арқасында айналмалы сәулелену өрісін қалыптастыру үшін шарттардың орындалуы қамтамасыз етіледі: симметриялы вибраторлардың бірінші және екінші деңгейлерінің фазалық квадратурасындағы амплитудалық қозу кеңістіктік квадратурада орнатылған кезде, кез-келген биіктік бұрышында изотропты азимутальды түн пайда болады.

РА ұсынған жерасты антенна жүйесінің негізінде жерасты таратушы модульдік белсенді фазалық антенна торы (PPM afar) түрінде құру мүмкіндігін қарастырыңыз. Мұндай антенна жүйесі эмитенттердің ықтимал соққы немесе діріл жүктемелеріне төзімділігін қамтамасыз ету мақсатында жер бағанына терең батыру жағдайында қысқа толқынды (КВ) немесе ультра қысқа толқынды (VHF) диапазондарда таратқыш ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Қазіргі уақытта фазалық антенна торлары (фаралар) түріндегі жер асты антенна жүйелері белгілі. Белгілі жер асты фаралары [9] жалпақ антенна Модульдер тобынан тұрады, олардың әрқайсысы қосқыштар, қуат бөлгіштер, кідіріс сызықтары (фазалық ауыстырғыштар) кіретін топтық тракт қалыптастыру блогына қосылған ортогональды симметриялы шунт эмитенттерінің жұбы ретінде жасалған. Оның кемшілігі - салыстырмалы түрде аз жұмыс диапазоны және әртүрлі механикалық кернеулерге төзімділігі төмен.

Белгілі сақиналы жерасты фарасы [5]. Белгілі фаралар жазықтық антенна модульдерінің тобынан тұрады. Әрбір антенна модулі ортогональды түрде орнатылған екі Эмитент түрінде жасалған. Антенна модульдері фидерлердің көмегімен фаралардың қажетті сыртқы параметрлерін қалыптастыруды қамтамасыз ететін топтық жолды қалыптастыру блогына қосылған. Бұл фаралардың кемшілігі салыстырмалы түрде төмен тиімділік (пайда - КУ) және фаралардың диафрагмасына механикалық әсерге төзімділігі төмен.

Техникалық мәні бойынша ұсынылғанға ең жақын жер асты фаралары болып табылады, ол негізгі антенна модульдерінің блогынан (ВВАМ) тұрады.  $N$  ( $N \geq 2$ ) базалық антенна модульдерінің (БАМ) әрқайсысы өз бетінше қозған ортогональды жазық симметриялы Эмитенттер жұбы түрінде жасалады. БАМ фаралар апертурасының ортасына қатысты жұп симметриялы түрде орнатылып, сақина торын құрайды. БАМ жердің қалыңдығына орналастырылған және тиісті фидерлерге қосылған, олар өз кезегінде прототиптің сипаттамасында радиоарнаны қалыптастыру блогының (БФРК) кірістеріне қосылған. ВФРК ортогональды симметриялы эмитенттердің қосқыштарынан, кідіріс сызықтарынан, инверторлардан және қосқыштан тұрады. Тиісті эмитенттерді ауыстыру және оларды фазалау арқылы бағыт диаграммасының максимумының пішіні мен бағытын басқару мүмкіндігіне қол жеткізіледі. Бұл белгілі антенна жүйесінің кемшілігі оның Бам-ны соққы және діріл жүктемелерінен қорғаудың қажетті дәрежесін қамтамасыз ететін тереңдікке қою кезінде оның төмен тиімділігі (КУ) болып табылады, бұл мұндай жағдайларда электромагниттік толқынның (ЭМВ) жоғарғы жартылай кеңістігіне шығатын энергияның айтарлықтай жоғалуына байланысты.

Ерікті азимуттық бағытта максимуммен бағдарлау диаграммасын (ДН) қалыптастыру мүмкіндігіне эмитенттердің сақиналы орналасуы кезінде ғана қол жеткізіледі, бұл эмитенттерді терең орналастыру қажет болған жағдайда негізсіз үлкен экономикалық шығындарға әкеледі.

Мұнда ұсынылған АФАР ППМ радиотолқындардың таралу жолының өзгермелі сипаттамаларына, корреспонденттер кеңістігіндегі сандар мен бағдарларға және азимутальды жазықтықта бір БАМ сәулеленуінің бағытталмаған сипаттамасын қалыптастыруға байланысты АФАР құрылымы мен сыртқы параметрлерін автоматты басқару есебінен жер бағанына терең енген кезде құрылыстың тиімділігін (КҚ) арттыруды және материалдық шығындарын төмендетуді қамтамасыз етуі тиіс.

Алға қойылған мақсатқа  $N \geq 2$  Бам блогы бар белгілі АФАР ППМ-де қол жеткізіледі, олардың әрқайсысы жер қалыңдығына орналастырылған



ортогональды симметриялы эмитенттердің (осьтердің) жұбын және БФРК-ны қамтиды, қосымша АФАР параметрлерін басқарудың автоматтандырылған блогы (БАУП),  $R \geq 2$  патогендерінің (BV) блогы және  $M \geq 1$  АФАР ППМ-нің тиісті  $M$  ақпараттық кірістері болып табылатын ақпараттық кірістермен жабдықталған ақпараттық сигналдар қосқышы (КАЖ).

Ұсынылған РРМ ағар жалпы құрылымдық схемасы ұсынылған. БВ 3 ақпараттық кірістеріне қосылған. R BV сигналдық шығыстары BFRK 2 тиісті R сигналдық кірістеріне қосылған. BFRK сигналының N шығысы ВВАМ 1 сәйкес N сигнал кірісіне қосылған.

БВАМ-ға қосымша 1.2 қуат өлшегіші және 1.3 кең жолақты қуат күшейткіші (СПУМ) енгізілді, оның N сигнал кірістері БВАМ-ға сәйкес N сигнал кірістері болып табылады. N сигнал шығысы СПУМ тиісті N сигнал кірісіне қосылған, оның N сигнал шығысы 1.11 – 1.1 N осінің сәйкес жұптарының кірісіне қосылған.

BFRK 2.1 аттенюатордан, 2.2 күшейткіш-түзеткіштен (У-К), 2.3 фазалық ауыстырғыштан және 2.4 жоғары жиілікті қосқыштан (НFC) тұрады, оның N сигнал шығысы фазалық ауыстырғыштың тиісті N сигнал кірісіне қосылған. R HCV сигналдық кірістері BFRK сигналдық кірістері болып табылады. Фазалық ауыстырғыштың N сигналдық шығысы У-К-нің тиісті N сигналдық кірісіне қосылған, У-К сигналдық шығысы у-К аттенюатордың тиісті N сигналдық кірісіне қосылған, оның N сигналдық шығысы БФРК-ның N сигналдық шығысы болып табылады. Аттенюатордың, У-К, фазалық ауыстырғыштың және ВЧК басқару кірістері сәйкесінше "әлсіреу", "сигнал деңгейін түзету", "фаза" және "радиоарна" bfrk басқару кірістері болып табылады. ВАМ өзара ортогональды осьтер бойымен Орталық симметриямен орнатылған.

$M \geq 1$  ақпараттық кірістер (и1, и2, и3,..., им) КИС 4 АФАР ППМ-нің тиісті M ақпараттық кірістері болып табылады. Кіс j-де ij ақпараттық шығысы бар, мұндағы  $j = 1, 2, 3, \dots, P$ , BV ақпараттық кірісіне қосылған, оның сигналдық шығысы BFRK сигналдық кірісіне қосылған.

Осылайша, ТМД кез-келгенінің коммутациясын қамтамасыз етуге арналған M кез-келген патогендердің ақпараттық кірісіне ақпараттық кірістер. Кіс-тің әрбір j-ші шығысы және оған сәйкес келетін BV-нің j-ші ақпараттық кірісі R-разрядты автобуспен қосылады.

БФРК-да сі-ші сигнал шығысы, мұндағы  $i = 1, 2, \dots, N$ , және  $N \geq 2$  bbam сигналдық кірісіне қосылған.

ВВАМ 1.1 ось жұптарының әрқайсысына берілген деңгейге дейін жеткізілетін қуатты күшейтуге, осы қуат деңгейін үздіксіз басқаруға және жоғары жиілікті (сағ.) токтардың энергиясын еркін таралатын электромагниттік толқындардың (ЭМВ) энергиясына айналдыруға арналған.

ВВАМ 1.11 - 1.1 N осінің N жұбынан тұрады. 1.1 I осінің I-ші жұбының кірісі сі-ші сигнал шығысына қосылған, оның сі-ші сигнал кірісі сі-ші сигнал шығысына қосылған. N сигнал кірістері (с1, с2, с3,..., сN) ШПУМ сәйкес N сигнал кірістері болып табылады ВВАМ. Әрбір I-ші сигнал шығысы тиісті осьтік жұпқа, бөлгіш арқылы қосылады, ол сі шығысынан 1.1 I осінің I-ші жұбын

құрайтын екі симметриялы вибратордың кірістеріне қуатты тең бөлуге арналған. әр жұптағы ортогональды симметриялы Эмитенттер фазалық квадратурада амплитудаға тең қозғалады, яғни.  $90^\circ$  фазалық ауысыммен.

СПУМ BFRK - да қалыптасқан тиісті радиоарнаның сигнал күшінің берілген деңгейіне дейін күшейтуге арналған. СПУМ р 631-2Б сом маркалы немесе реттелетін шығыс қуаты бар 15Э1389-6 маркалы өнеркәсіптік сериялы шығарылатын күшейткіштердің N жиынтығы түрінде жүзеге асырылуы мүмкін. Мұндай орындау кезінде сі-е сигналдық кіріс және шығыс ШПУМ қуат күшейткішінің I-ші жиынтығының кірісі мен шығысына сәйкес сигналға қосылған, оның басқару кірісіне "қуатты реттеу" шинасының I-разряды қосылған, бұл қуат күшейткіштің і-ші жиынтығының шығыс қуатын реттеуді қамтамасыз етеді.

Қуат өлшегіш тиісті ось жұбының кірісіне жеткізілетін қуат деңгейін үздіксіз өлшеуге және берілген қуатты бақылау және қажет болған жағдайда оны реттеу үшін басқару сигналын шығару үшін БАУП АФАРФА жіберілетін осы деңгейге сәйкес сигналды қалыптастыруға арналған. Қуат өлшегіші C1 - cN шығыстарында орнатылған ток пен Кернеу датчиктерінің жиынтығы ретінде жүзеге асырылуы мүмкін. Фидер арқылы берілетін жж сигналының қуатын басқаруға арналған ток және кернеу датчиктері белгілі және сипатталған.

1.11 - 1.1 J осінің әрбір жұбы фидер жолындағы жж токтарының энергиясын еркін таралатын ЭМВ энергиясына айналдыруға арналған. Осьтің типтік жұбы ретінде азимутальды жазықтықта сәулеленудің бағытталмаған сипаттамасына ие белгілі терең турникеттік эмитентті қолдануға болады. Осылайша, әрбір і-ші БАМ мыналарды қамтиды: I-1.1 I осінің жұбы, I-ші реттелетін күшейткіш жинағы және I-ші қуатты өлшеу құралы.

БФРК алдын ала берілген байланыс радиоарналарының әрқайсысының сигнал беру жолын қалыптастыруға арналған.

HCV BV сигналдық шығыстарын БАУП АФАРДАН "радиоарна" шинасы арқылы келетін басқару сигналдарының командалары бойынша берілген радиоарналарға жататын фазалық ауыстырғыштың тиісті сигналдық кірістеріне қосуға арналған.

Осылайша, HCV BV шығыстарын олардың кірістерін "араластыру" принципі бойынша фазалық ауыстырғыштың тиісті кірістеріне қосуды қамтамасыз етеді. "Араластыру" принципі белгілі. Демек, аталған функцияны жүзеге асыру үшін әрбір I-ый HFC шығысы және оған сәйкес келетін фазалық ауыстырғыштың і-ый кірісі R-разрядты шинамен қосылады.

Әрбір КЭ-бұл коммутатор, оның атқарушы контактілерінің орналасуы оның орамасына басқару кірісі арқылы берілетін басқару сигналына байланысты. Бөлгіш тиісті HCV кірісіне келетін сигналды бөлуге арналған және оны трансформатор схемасы бойынша жасауға болады.

Фазалық ауыстырғыш оның і-ші сигнал кірісіне I-ші разрядтан түсетін РЖ сигналының фазалық сдысуын қалыптастыруға арналған. Фазалық ауыстырғыш ретінде, мысалы, коаксиалды кабель сегменттерінде жүзеге асырылатын белгілі коммутацияланған дискретті тізбектерді пайдалануға болады. Бұл фазалық

ауыстырғышты құру кезінде оған  $N$  бірдей коммутацияланған реактивті тізбектер кіреді. Бұл жағдайда фазалық ауыстырғыштың I-E сигналдық кірісі мен шығысы сәйкесінше I-дискретті реактивті тізбектің сигналдық кірісі және шығысы болады, оның басқару кірісі фазалық ауыстырғыштың "фазасы" басқару кірістерінің  $N$ -разряд шинасының  $i$ -разрядына қосылған.

Аттенюатор U-K шығыстарынан тиісті ВВАМ кірістеріне келетін ЖЖ сигналдарының деңгейлерін реттеуге арналған. Аттенюатор ретінде көпір балансын реттегіштердің белгілі схемаларын қолдануға болады.

## ҚОРЫТЫНДЫ

Тақырып аясында жер асты антенна жүйелерінің құрылу принциптері мен негізгі сипаттамаларына талдау жасалды.

Жер асты антенна жүйелеріне қойылатын негізгі талаптарға талдау жасалды. ДКМВ диапазонының техникалық радиобайланыс құралдарының құрамында жерасты антенна жүйелерін қолдану шарттары мен негіздері нақтыланды, олардың негізгісі объектіге экстремалды сыртқы әсерлердің туындау мүмкіндігі болып табылады. Тиісінше, жер асты антенналарына қойылатын ең маңызды талап-жоғары төзімділік талабы.

Жұмыс жиіліктерінің диапазоны, номиналды кіріс кедергісі, минималды КБВ, максималды сыйымдылық, бағыт диаграммасының түрі, КХД, күшейту коэффициенті, поляризация түрі, құрамдас бөліктердің параметрлеріне қойылатын талаптар, бақылау, индикация және басқару талаптарын қамтитын мақсатқа қойылатын талаптардың минималды номенклатурасы нақтыланды.

Техникалық қызмет көрсету және жөндеу ыңғайлылығының талаптарына, сондай-ақ қауіпсіздік талаптарына байланысты шектеулер нақтыланды.

Математикалық модельдеудің жеткіліктілігінің, алынған нәтижелердің дәлдігі мен сенімділігінің жер асты антенналарын әзірлеу міндеттеріне қатысты ерекше маңыздылығы негізделген.

Антенналардың құрамына сәйкес келетін және симметриялы құрылғыларды қосу қажеттілігі көрсетілген. Қорғалған антенна жүйесінің шамамен құрамы, сондай – ақ сәулелендіру жүйесінің құрамында шунтсыз вибраторлық эмитенттерді, оның ішінде турникеттерді пайдалану перспективасы негізделген.

Қолданыстағы шешімдердің негізгі сипаттамаларына және ДКМВ диапазонының жерасты антенна жүйелерін құру принциптеріне талдау жасалды.

Физикалық оптика, геометриялық оптика, шеткі толқындар және дифракцияның геометриялық теориясы сияқты жалпы жуықтау әдістерінің ерекшеліктері мен қолдану салалары қарастырылады. Бұл жағдайда оларды қолдану перспективасы емес екендігі көрсетілген.

Жерасты антенна жүйелерін жобалау әдістемесі әзірленді, оған мыналар кіреді: базалық Эмитенттің конфигурациясын таңдау; антенна жүйесін орналастыру үшін қол жетімді аудандарды талдау; энергетикалық көрсеткіштерді талдау; базалық эмитенттердің санын және олардың өзара орналасуын таңдау; есептеу нәтижелері бойынша эмитенттің геометриялық параметрлерін нақтылау; қызмет көрсету бағыттарын талдау, қажетті амплитудалық-фазалық үлестірімдерді анықтау; антенна жүйесінің бейімделуі туралы шешім қабылдау. Әр кезеңнің мазмұны және тиісті критерийлер негізделген.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. MPLS – Технология и протоколы. – СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2005. – 304 с.
- 2 Одом, Уэндел. Официальное руководство Cisco по подготовке к сертификационным экзаменам CCNA ICND2 640-816, 3-е изд.: Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2013. – 752 с.
- 3 Базылов К.Б., Алибаева С.А., Бабич А.А. Методические указания по выполнению экономического раздела выпускной работы бакалавров для студентов всех форм обучения специальности 5В0719 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации – Алматы: АИЭС, - 2008. 19 с.
- 4 Multiprotocol Label Switching (MPLS). URL: <http://www.cisco.com/> (дата обращения 17.02.2015)
- 5 Manualslib – the ultimate manuals library: MPLS Working Principle. URL: <http://www.manualslib.com/> (дата обращения 17.02.15)
- 6 Network world – Сети. Введение в архитектуру MPLS. Искусство оптимизации трафика. URL: <http://www.osp.ru/> (28.02.2015)
- 7 Хабрахабр. Сети для самых маленьких. Часть десятая. Базовый MPLS. URL: <http://habrahabr.ru/> (дата обращения 3.03.2015)
- 8 Семенов Ю.А. 4.4.21 – BGP/MPLS VPN, RFC-2547, March 1999. URL: <http://book.itер.ru/> (дата обращения 3.03.15)
- 9 OpenNET. Организация VPN на базе MPLS. <http://www.opennet.ru/> (3.03.2015)
- 10 Принципы организации IP-телефонии на базе решений Cisco Systems. URL: <http://citforum.ru/> (дата обращения 20.03.2015)
- 11 Planetcalc – Онлайн калькуляторы. Расчет полосы пропускания для VoIP разговоров. URL: <http://planetcalc.ru/> (дата обращения 16.04.2015)
- 12 Расчет пропускной способности каналов связи для корпоративных сетей. URL: <http://ict4d.tj/> (дата обращения 22.04.2015)
- 13 GO Global Services international. URL: <https://www.gse.kz/> (дата обращения 23.04.2015)
- 14 Plus communications. URL: <http://www.pluscom.ru/> (дата обращения 23.04.2015)
- 15 Курсовая: расчетно-графическая работа по курсу БЖД. URL: <http://works.tarefer.ru/> (дата обращения 2.05.2015)
- 16 Ролич М. Л. Обеспечение качества обслуживания сетей на базе MPLS // Молодой ученый. — 2013. — №11. — С. 177-179.

## ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

Дипломдық жұмыс

Мұрымбай Нұрсәт Кенжеұлы

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering

Тақырыбы: «Жер асты антенна жүйелерін талдау»

Бұл дипломдық жұмыста жерасты антенналарын талдау, пайдаланудың негізгі талаптары, және құрылғылардың негізгі сипаттамасы, жерасты антенналары келтірілген.

Бұл дипломдық жұмыста «Жер асты антенна жүйелерін талдау» тақырыбы қарастырылды. Салыстырмалы талдау жүргізілді, сонымен қатар көптеген құрылғылардың сипаттамалары ұсынылды. Сондай-ақ, жұмыс істеу қабілетін едәуір арттыруға болатын нұсқалар ұсынылды.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер өте орынды.

Антенна қолдану нұсқалары, құрылғылар, компоненттері, заманауи аспаптарды көрсету өте орынды.


Жалпы, дипломдық жұмысқа «жақсы» (85 %) деген баға қойылып, ал студент Мұрымбай Нұрсәт Кенжеұлы 6B07104 «Electronic and Electrical Engineering» оқу бағдарламасы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

### Ғылыми жетекші

ЭТ және FT каф.

аға оқытушысы,

техн.ғыл.кандидаты

 Абдуллаев М.А.

(қолы)

«25» мамыр 2024 ж.

## РЕЦЕНЗИЯ

Дипломдық жұмыс

Мұрымбай Нұрсәт Кенжеұлы

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering

Тақырыбына: «Жер асты антенна жүйелерін талдау»

Орындалды:

- а) графикалық бөлім
- б) түсініктеме

парақ;  
бет.

### ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ

Берілген бітіру жұмысында Жер асты антенна жүйелерін талдау туралы ақпарат жиналған. Негізгі өлшемдер жүргізіп, параметрлері есептелген. Жерасты антенналарын қолдана отырып, энергияны пайдалануды азайту шаралары көрсетіліп, есептеулер жасалған. Жоба сұлба бойынша құрастырылған.

Жерасты антенналарын қолдануды жақсарту мәселелері қарастырылады. Жұмыста жалпы жерасты антеннасы жайында мағлұматтар қарастырылған және оларды қолданудың бірнеше әдісі айтылған.

Жерасты антенналарына талдау жасалып, осы өлшемдерде олардың тиімділігі анықталды. Сонымен қатар оларды одан әрі пайдалану және жетілдіру бойынша практикалық ұсыныстар беру. Дипломдық жұмыста антенна есептеулерін, құрылымы сызбасында студент өз тарапынан қандай жақсартулар енгізуі мүмкіндігін көрсете алмаған. Кейбір орфографиялық қателер кездеседі.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТҚ талабына сәйкес жазылған. Бұл дипломдық жоба жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғарғы дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер – антенна тиімді пайдаланудағы бағытқа жауап береді.

### ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

Жалпы, дипломдық жұмысқа "жақсы" (80%) деген баға, ал студент Мұрымбай Нұрсәт Кенжеұлын 6B07104 – Electronic and Electrical Engineering білім беру бағдарламасының «техника және технологиялар бакалавры» дәрежесіне лайықты деп санаймын.

Рецензент:

ҚазҰАУ қауымдастырылған профессоры,  
тех. ғыл. канд.  
А.Б. Токмолдаев  
2024 ж.

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Мұрымбай Нұрсәт Кенжеұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Жер асты антенна жүйелерін талдау

Научный руководитель: Сұңғат Марқсұлы

Коэффициент Подобия 1: 3.1

Коэффициент Подобия 2: 0.7

Микропробелы: 1

Знаки из здругих алфавитов: 23

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

Дата

Заведующий кафедрой



27.05.24





**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті  
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагияттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

**Автор: Мұрымбай Нұрсәт Кенжеұлы**

**Тақырыбы: Жер асты антенна жүйелерін талдау**

**Жетекшісі: Сұңғат Марқсұлы**

**1-ұқсастық коэффициенті (30): 3.1**

**2-ұқсастық коэффициенті (5): 0.7**

**Дәйексөз (35): 0.9**

**Өріптерді ауыстыру: 23**

**Аралықтар: 0**

**Шағын кеңістіктер: 1**

**Ақ белгілер: 0**

**Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :**

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

**Негіздеме:**

*Күні*

*Кафедра меңгерушісі*



27 05 24



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Мұрымбай Нұрсәт Кенжеұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Жер асты антенна жүйелерін талдау

Научный руководитель: Сұңғат Марқсұлы

Коэффициент Подобия 1: 3.1

Коэффициент Подобия 2: 0.7

Микропробелы: 1

Знаки из других алфавитов: 23

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата

Марқсұлы С  
проверяющий эксперт

27.05.24