

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ. И. Сәтбаев атындағы
Қазақ ұлттық техникалық университеті

А. Е. Құттыбаева

ҚАЗІРГІ ЗАМАНҒЫ РАДИОБАЙЛАНЫСТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР

Университеттің Ғылыми-әдістемелік кеңесі
оқу құралы ретінде ұсынған

Алматы 2015

ӘОЖ 621.39 (075.8)

КБЖ 32.84 я 73

Қ 78

Пікір жазғандар:

М. А. Абдуллаев, техн. ғыл. кандидаты, Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университетінің Қатты дене физикасы және сызықты емес физика кафедрасының доценті міндетін атқарушы.

А. А. Туякбаев, техн. ғыл. кандидаты, Алматы энергетика және байланыс университеті Электроника кафедрасының доценті.

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің 2015 жылғы басылым жоспары бойынша басылды.

Қ78

Құттыбаева А. Е.

Қазіргі заманғы радиобайланыстық жүйелер: Оқу құралы. – Алматы: Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ, 2015. - 160 б. Сурет – 49. Кесте – 3. Библиогр. 26 атау.

ISBN 978-601-228-725-7

Оқу құралында жерсеріктік, радиорелейлік, оптикалы талшықтық және ұялық радиобайланыстық жүйелер жөнінен көлемді мағлұмат берілген.

Қазіргі қатты дамып келе жатқан жерсеріктік байланыс жүйелері GLOBALSTAR, IRIDIUM, INMARSAT және т.б. туралы, сондай-ақ навигация жүйелері GPS NAVSTAR мен ГЛОНАСС жөнінен айтылып және олар ғарыштық аппараттары конструкциясы, ұшу орбиталары, көрсеткіштері, қолданылуы бойынша жан-жақты талданған. Қазақстан Республикасының «Kazsat -2» байланыстық жерсерігі туралы мәлімет берілген.

Тікелей көріністегі радиорелейлік байланыс жолын құру принциптері көрсетіліп, оның аппаратурасы функционалдық сұлбалары беріліп, жұмысы қаралған.

Қалалар арасында және қала ішінде соңғы кезде өзінің артықшылықтары арқылы кең қолданыс тапқан оптикалы талшықтық байланыс жолы құрылымы мен жұмысы кеңінен баяндалған.

Сонымен қатар қозғалмалы байланыс жүйесі құрылымы, технологиялары және сипаттамалары туралы айтылған.

ӘОЖ 621.39 (075.8)

КБЖ 32.84 я 73

ISBN 978-601-228-725-7

© Құттыбаева А. Е., 2015

© ҚазҰТУ, 2015

КІРІСПЕ

Қазіргі ғылыми-техникалық прогрестің дамуы ақпаратты таратудағы, өңдеудегі, түрлендірудегі, қорғаудағы және қолданудағы күрделі шапшаң өзгерістермен байланысты. Бұл өз кезегінде қоғамның жан-жақты өміріне айтарлықтай әсер етеді. Мұндай даму радиотехника, радиоэлектроника және байланыс теориясы, радиобайланыстық жүйелер сияқты ғылым салаларының жетістіктері нәтижесінде мүмкін болды.

Бүкіл әлемдік электрбайланыс желісінің өрістеу тенденциясы адамзат қоғамының дамуының индустриялық фазадан ақпараттыққа өтуімен байланысты және телекоммуникациялық желілердің интеграциясымен және конвергенциясымен сипатталады. Байланыстық және ақпараттық технологиялардың бірігуі орын алды, бұл өз кезегінде абоненттерге ұсынылатын қызмет түрлерінің әмбебаптығы бар желілер құрылымы мен байланыс жүйелерінің бір-бірімен бірігуіне және өзара араласып кетуіне жағдай тудырды. Байланыс технологияларының дамуы ақпараттың үлкен көлемдерін жоғарғы жылдамдықпен және сенімділікпен таратуға арналған жаһанданған желілерді құруға алып келді. Осының салдарынан байланыс жүйелері арасындағы халықаралық телекоммуникациялық трафиктің қайта таратылып үлестірілуі болды.

Глобалды және регионалды байланыс желілерін іске асырудың негізгі әдісі ретінде оптоалшықтық байланыс жолдары мен жерсеріктік байланыс жүйелерін қолдану болып табылады.

1. ЖЕР СЕРІКТІК БАЙЛАНЫС ЖҮЙЕСІ

1.1. Жер серіктік байланыс жүйелері дамуы және құру принципі

Жер серіктік байланыс жүйелері бүкіл дүниежүзінде кең қолданыс тапты. Олар негізгі екі сегменттен тұрады – ғарыштық және жерүстілік. Ғарыштық сегментке жататын байланысқа арналған жасанды жер серіктері (ЖЖС) әртүрлі хабарларды, мәліметтерді таратуда, теледидарлық хабар беруді, телефондық, телеграфтық және басқалай байланыс арналарын ұйымдастыруда кеңінен пайдаланылады.

1945 жылы «*Wireless World*» журналының қазан айындағы нөмірінде жарияланған «Жер сыртындағы ретрансляторлар» деген мақаласында ағылшын ғалымы, жазушы және өнертапқыш *Артур Кларк* жаһанданған байланыс жүйесін ұйымдастыруға мүмкіндік беретін геостационарлық орбиталардағы байланыс жер серіктері жүйесін құру идеясын ұсынды. Батыс Еуропа елдерінде азаматтық жерсеріктік байланыс аумағындағы алғашқы зерттеулер XX ғасырдың 50-жылдарының екінші жартысында жүргізіле бастады. АҚШ-та осыған трансатлантикалық телефондық байланысқа мұқтаждық түрткі болды. 1957 жылы ССРО-да бортында радиоаппаратурасы бар бірінші жасанды Жер серігі ұшырылды.

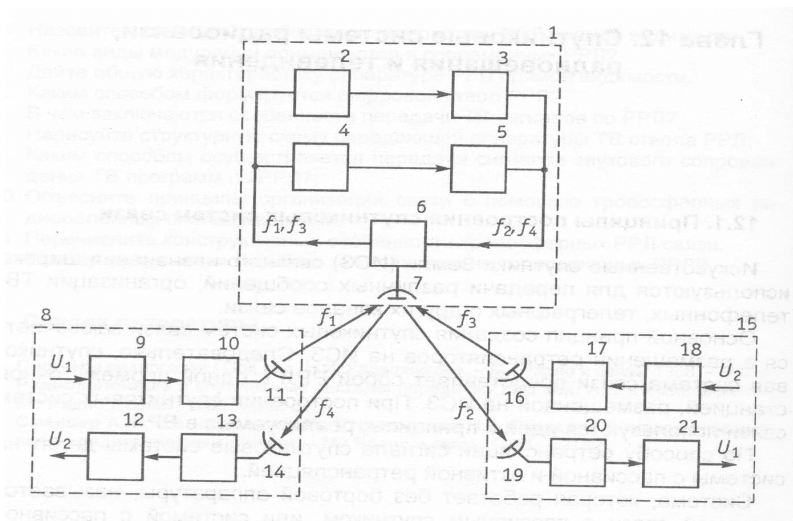
Жерсеріктік байланыс жүйелерін құрудың негізгі ұстанымы жасанды жер серіктерінде ретрансляторларды орналастыру болып табылады. Осыған сәйкес жерсеріктік байланысқа жер серігінде орналасқан біраралық станциясы бар радиорелейлік желі деп қарауға болады. Жерсеріктік байланыс жүйелерін ұйымдастырғанда радиорелейлік желілерді құрғанда іске асырылатын идеялар мен ұстанымдар пайдаланылады. Сигналды ретрансляциялау әдісіне байланысты жерсеріктік байланыс жүйесін пассивті және активті ретрансляциясы бар деп екіге бөледі. Борттық аппаратурасыз жұмыс істейтін жүйе пассивті жер серігі жоқ жүйе, немесе пассивті ретрансляциясы бар жүйе деп аталады. Бұл жағдайда Жер үстінен жіберілген сигналдар алдын ала күшейтілмей ЖЖС бетінен шағылысып кері қайтады. Пассивті Жер серіктері ретінде арнайы әртүрлі

формадағы (сферикалық баллондар, көлемді көп қырлы құрылымдар және т.б.) сәуле шағылыстырғыштар, сондай-ақ Жердің табиғи аспандағы серігі Ай пайдаланылады. Мысалы 12 тамызда 1960 жылы АҚШ мамандары 1500 м биіктіктегі орбитаға үрмелі шар шығарды. Осы ғарыштық аппаратты «Эхо-1» деп атаған. Оның металмен қапталған диаметрі 30 м сыртқы қабаты пассивті ретранслятор функциясын атқарды.

Жерүстілік антенналардың жеткілікті күшейтуінде және Жерүстілік станцияның (ЖС) қабылдағышының жоғары сезімталдығында радиобайланыстың мұндай әдісі кішкене өткізгіштік қабілеті бар жүйелерде қолданыс табуы мүмкін. Осындай байланыс жүйесінің қазіргі заманғы техника деңгейіндегі өткізгіштік қабілеті екі-үш телефондық хабардан аспайды. Сондықтан осындай жерсеріктік байланыс көп қолданыс таппады.

1964 жылы 20 тамызда 11 ел *Intelsat* (International Telecommunications Satellite organization) халықаралық жерсеріктік байланыс жүйесін ұйымдастыру туралы келісімге қол қойды, бірақ ССРО бұларға саяси себептерден қосылмады. 1965 жылы 6 сәуірде осы программа бойынша *COMSAT* корпорациясы шығарған бірінші коммерциялық жер серігі *Early Bird* («таңғы құс») ұшырылды. Қазіргі жағдаймен салыстырғанда *Early Bird (INTELSAT I)* жер серігінің мүмкіндіктері өте қарапайым еді, оның өткізу жолағы 50 МГц болды, ол байланыстың тек 240 телефондық арнасын қамтамасыз ете алды. Нақты уақыт сәтінде байланыс АҚШ-тағы жер үстілік станция мен Еуропадағы (Великобритания, Франция немесе Германиядағы) бір-бірімен кабелдік жолмен жалғанған үш жерүстілік станцияның біреуімен ғана орнатыла алатын. Әрі қарай жер серіктік технология қарыштап дамып, *INTELSAT IX* жер серігінің 3456 МГц өткізу жолағы болды. ССРО-да жерсеріктік байланыс тек қана ССРО Қорғаныс Министрлігі құзырында дамып отырды және ғарыштық бағдарламалар өте құпия болуынан социалистік елдердегі жерсеріктік байланыстың даму бағдарламасы батыс елдеріне қарағанда басқаша жүрді. Азаматтық жер серіктік байланыстың дамуы социалистік блоктың 9 елі арасында «Интерспутник» байланыс жүйесін құру туралы тек 1971 жылы қол қойылған жылы келісімнен басталды.

Борттық аппаратуралы радиобайланыс жүйесі сигналдың активті ретрансляциясы бар жүйе, немесе активті жерсеріктік жүйе деп аталады. Бұл жағдайда борттық ретранслятордың энергиямен қоректендірілуі ЖЖС-да орналастырылған күн батареяларынан іске асырылады. Қазіргі Жер серіктерінің бәрі де активті болып табылады. Активті ретрансляторлар сигналды қабылдауға, өңдеуге, күшейтуге және ретрансляциялауға арналған аппаратурамен жабдықталған. Жерсеріктік ретрансляторлар *регенеративті емес* және *регенеративті* болуы мүмкін. Регенеративті Жер серігі бір Жер станциясынан сигналды қабылдап, оны басқа жиілікке түрлендіреді, күшейтеді де басқа Жерүстілік станцияға жібереді. Жер серігі осы операцияларды іске асыратын бірнеше тәуелсіз арналарды пайдаланады, олардың әрқайсысы спектрдің белгілі бір бөлігімен жұмыс істейді (осы өңдеу арналары транспондерлер деп аталады).



1.1-сурет. ЖЖС арқылы радиобайланыстың құрылымдық сұлбасы

Жерсеріктік байланыс стационарлы да, қозғалмалы да болатын жерүстілік станциялар арасында байланысты жүзеге асырады.

Енді сигналдың активті ретрансляциясындағы Жерүстілік екі станция арасындағы дуплекстік байланыстың сұлбасын қарайық (1.1-сурет). Бұл жағдайда бір бағытта берілетін сигнал U_1 жерүстілік станция (ЖҮС 8) модуляторына жіберіледі, осының нәтижесінде тасымалдаушы жиілігі f_1 тербелістер модуляциясы іске асырылады. Осы тербелістер таратқыштан (10) антеннаға (11) беріледі де, жасанды жер серігіне (ЖЖС) қарай сәулелендіріліп жіберіледі. Онда 1 ретрансляторының борттық антеннасымен (7) қабылданады. Әрі қарай тербелістер f_1 жиілігімен ажыратқыш сүзгіге (6) келіп түсіп, қабылдағыш 2-мен күшейтіліп, f_2 – жиілікке түрлендіріліп, борттық ретранслятордың 3-қабылдағышына келіп түседі. 3-қабылдағыштың шығысынан жиілігі f_2 тербелістер радиодифер (РФ) арқылы борттық антеннаға беріледі де, Жер бетіне қарай сәулелендіріліп шығарылады. Осы тербелістер Жерүстілік станцияның (15) антеннасы 19-бен қабылданып, қабылдағыш 20-ға және детектор 21-ге келіп түседі, оның шығысында U_1 сигналы бөлініп шығады. ЖҮС 15-тен ЖҮС 8-ге U_2 сигналы f_3 жиілікте осыған ұқсас түрде өтеді және де борттық ретрансляторда тасымалдаушы жиілігі f_3 тербелістердің f_4 жиілікті тербеліске түрлендірілуі іске асырылады. 4.3-суретте 4 – ретранслятордың екінші қабылдағышы; 5 – ретранслятордың екінші таратқышы; 12 – ЖҮС 8 детекторы; 13 – ЖҮС 8 қабылдағышы; 14 – ЖҮС 8 қабылдағыш антеннасы; 16 – ЖҮС 15 таратқыш антеннасы; 17 – ЖҮС 15 таратқышы; 18 – ЖҮС 15 модуляторы.

ЖҮС байланыс желісі коммутация тораптарымен (мысалы, халықаралық телефон станциясы ХТФ-мен), теледидар және хабар тарату программалары көздерімен және пайдаланушыларымен жерүстілік жалғаушы жолдар көмегімен байланысады.

Теледидар мен радиохабар таратуды ұйымдастырғанда бір-бірімен байланысқан ЖЖС-ін пайдалану кең таралғанын және экономикалық жағынан тиімді екенін атап өткен жөн. Қазіргі уақытта жер серіктік теледидар мен радиохабар тарату деп теледидарлық және радио бағдарламаларын қалыптастыру орталықтарымен байланысқан бір немесе бірнеше жерүстілік таратқыштардан ЖЖС арқылы жер үстілік қабылдағыш қондырғылар желісіне беріп, осы бағдарламаларды абоненттерге жерүстілік байланыс құралдары (эртүрлі қуаттағы ретрансляторлар,

СКТВ, жекелей және коллективті қабылдау құралдары) көмегімен теледидарлық сигналдарды (дыбыстық ілеспе жүруімен) таратумен қатар радиохабарлық дыбыстық сигналдарды да таратуды айтады. Жер серіктік байланыс жүйелерінде ЖҮС пен ЖЖС арасындағы аса үлкен қашықтықтардан қабылданатын теледидарлық және дыбыстық сигналдардың жоғарғы сапасын қамтамасыз ету үшін келесі шараларды қолданады:

- 1) ЖҮС таратқышы қуатын 5... 10 кВт-қа дейін ұлғайтады;
- 2) ЖҮС қабылдау-тарату антенналарын күрделендіреді;
- 3) аз шуылдайтын күшейткіштерді (қабылдағыштар кірісінде араластырғыштар қоюмен) пайдаланады;
- 4) жиілік девиациясын үлкейту есебінен жиіліктік модуляциямен қабылдау тиімділігін арттырады.

ЖҮС типіне байланысты және жер серіктік байланыс жүйесінің арналуына қарай келесі радиобайланыс қызметтерін ажыратады:

- бекітілген (фиксацияланған) жерсеріктік қызмет (ФСС) – бір немесе бірнеше жер серіктерін пайдаланумен, белгілі бекітілген мекендерде орналасқан ЖҮС арасындағы радиобайланыс қызметі;
- қозғалмалы жерсеріктік қызмет - бір немесе бірнеше ЖЖС қатысуымен қозғалмалы ЖҮС арасындағы қызмет көрсету;
- радио хабар тарату жер серіктік қызметі (РВСС) – жер серіктік ретрансляторлар сигналдары тұрғындардың тікелей қабылдауына арналған радиобайланыс қызметі. Бұл жағдайда тікелей қабылдау деп абоненттік сапасы бар салыстырмалы қарапайым және арзан қондырғылар арқылы жекелей және де ұжымдық қабылдауды есептейді. Ресейде ФСС-ға «Орбита – 2», «Экран» және «Москва» жатады. РВСС жаңа жаракталып жатыр.

1.2. Жерсеріктік байланыс жүйелері құрылысы мен сипаттамалары

Қазіргі уақытта Жерсеріктік байланыс жүйелері бүкіл әлемде кең қолданыс тапты. Олар екі негізгі сегменттен тұрады – ғарыштық және жерүстілік. Ғарыштық сегмент деп әдетте жер серіктері – ретрансляторларды және де оларды орбитаға шығару жабдықтары мен жерүстілік басқару кешендерін айтады. Жер

серіктері – ретрансляторлар екі негізгі блоктан тұрады: ғарыштық платформадан және борттық ретранслятордан. Борттық ретранслятор Жерүстілік станциялар сигналдарын қабылдап, оларды күшейтіп, қайта Жерге таратады. Борттық антенналар көмегімен Жер серігі тарататын сигнал бір немесе бірнеше сәулелерге фокустеліп, Жер үстіндегі қажетті қызмет көрсету аймағын қалыптастыруды қамтамасыз етеді. Байланыс жер серіктерінің негізгі сипаттамалары: радиожиліктік арналар (ретрансляторлар) немесе бағандар саны, әрбір бағандағы таратқыштар қуаты (әдетте ол эквивалентті изотропты сәулеленетін қуат немесе ЭИСК), қызмет көрсету аймақтары саны және аумағы. Өзара бөгеуілдерді төмендету үшін жер серігінен сигналды беру (Downlink), сигналды Жерден жер серігіне беру (Uplink) жиілігінен басқа жиілікте жүргізіледі. Әдетте Downlink жиілігі Uplink жолына қарағанда кіші. Жер серіктік байланыс жүйелері үшін анықталған жиіліктер диапазоны бөлінеді, олардың әрқайсысының өзіндік ерекшеліктері бар. Қызмет көрсету аймақтарының саны, өлшемдері және түрлері антенналардың конструкциясымен анықталады. Гравитациялық күштер әсерінен жер серігі анықталған орбитадан ауытқып кетеді, сондықтан периодты түрде жер серігі ішінде орналастырылған арнайы реактивтік қозғалтқыштарды пайдаланып, орбитаны ретке келтіріп тұру керек. Сондықтан геостационарлық жер серіктерінің салмағының біраз бөлігін қозғалтқыштық қондырғы салмағы мен реттеуші қозғалтқыштар жанармайы салмағы құрады. Жер үстілік басқару кешені (ЖҮБК) телеметрикалық бақылау және жер серігі орбитасы көрсеткіштерін өлшеу нәтижесі бойынша жер серігіне орбитасын реттеуге және борттық аппаратураны басқару жөнінен командалар береді. Жер үстілік сегмент, пайдаланушыларда орнатылған жер серіктік байланыс абоненттік станциялар желісінен, сондай-ақ желіні басқару орталығынан (қажет болған жағдайда оны пайдалану үшін) тұрады. Абоненттік станциялар стационарлық та, қозғалмалы да болуы мүмкін. Бекітілген жер серіктік байланыс жүйесінің (БЖБЖ) типтік жер үстілік станциясы (ЖҮС) келесі негізгі түйіндерден тұрады:

- ғарыштық байланыс станциясы (ҒБС);
- арнақұрушы аппаратура (АҚА);
- ақырғы жабдық;
- жалғаушы жолдар аппаратурасы.

Ғарыштық байланыс станциясы жер серіктік арна бойынша ақпаратты қабылдауды және таратуды қамтамасыз етеді. Оның құрамында антенналық жүйе, қабылдау-тарату жабдығы және жиілік түрлендіргіштер бар. Антенна өлшемдері және таратқыш қуаты жерсерігінің ЭИСҚ-мен және оның қабылдаушы антенналары сапасымен, сондай-ақ таратылатын сигналдың жиіліктік жолағымен анықталады.

Арнақұрушы аппаратура модуляциялаушы сигналды қалыптастырады және өңдейді, көпстанциялық қатынас процедурасын (сигналдарды мульти-плекстеу/демультиплекстеу), сигналдарды кодтау және декодтау, олардың модуляциясы – демодуляциясын. Арнақұрушы аппаратураның ҒБС-мен байланысы аралық жиілікте, әдетте 70 МГц-те, кейде – 140 МГц-те. Жалғаушы жолдардың аппаратурасы жерүстілік станцияларды жер үстілік байланыс жолдарымен және пайдаланушылар аппаратурасымен үйлестіруге арналған.

Байланыс жер серіктерінің орбиталары

Ғарыштық сегментте жүйенің арнаулына сәйкес Жер айналасындағы әртүрлі орбиталарда орнасқан жер серіктері – ретрансляторлар орналасқан:

- геостационарлық орбита (радиусы шамамен 36 000 км);
- орташа биіктіктегі орбиталар (радиусы 5 000-нан 20 000 км-ге дейін);
- төменгі биіктіктегі орбиталар (радиусы 500-ден 1500 км-ге дейін).

1.1-кестеде әртүрлі орбиталардың кейбір сипаттамалары берілген, ал 1.2-суретте жер серіктері ұшып жүретін орбиталары көрсетілген.

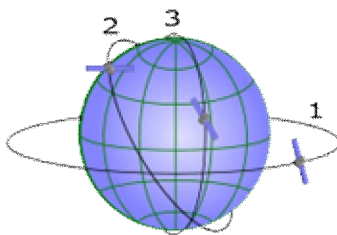
Өртүрлі орбиталардың сипаттамалары

Айталу периоды (сағат)	Сөткедегі Жерді айталу саны	Шеңберлік орбита биіктігі (км)
4	6	6750
6	4	10750
8	3	14250
12	2	20325
24	1	35875

Жер серіктік байланыс құрғанда ең танымал көп тарағаны геостационарлық орбиталар. Геостационарлық орбитадағы жер серігінің айналу периоды сөткесіне 24 сағат, Жерүстінен бақылаушыға ол қозғалмай тұрған сияқты болады. Шындығында, геостационарлық орбитаға (ГСО) математикалық есептеумен дәл жіберілген жер серігі Жердің эллиптикалық қисықтығынан, кедергі келтіретін сыртқы күштердің әсерінен анықталған нүктеден баяулап ығысады да, бойлық және ендік бойынша периодты (сөткелік) тербелістер жасайды. Сондықтан жасанды жер серігінде автоматты тұрақтандыру және оны ГСО берілген нүктесінде ұстап тұру жүйесі болуы керек. Жер серігінің аспанда қозғалмай тұрғандай болуы, жер серігімен байланыс үшін өте жоғары тиімді бекітілген үшкір бағытталған антенналарды пайдалануға мүмкіндік береді. Геостационарлық жер серігінің көріну аймағы Жер үстінің үштен төрт бөлігін қамтиды, бұл дегеніңіз үлкен аймақтарға қызмет көрсетуге мүмкіндік береді. Іс жүзінде барлық Жерүсті құрлығына қызмет көрсету үшін үш геостационарлық жерсерігі жеткілікті. Осы жерсерігімен жұмыс істейтін жерүстілік станциялардың арасындағы қашықтық бірнеше мыңдаған шақырымға жетуі мүмкін. Геостационарлық орбитаның кемшілігі жерсерігі мен жерүстілік станция арасындағы үлкен қашықтық. Осының нәтижесінде жер – ғарыш жолындағы сигналдың күшті өшуі болады, бұл қабылдағыштардың сезімталдығына және таратқыштардың шығыс қуатына қатаң талаптар қояды.

Сонымен қатар, мұндай қашықтықтарда, бір секірісте (жер-ғарыш-жер жолында) сигнал таралғанында шамамен 0,25 сек. болатын кідірісі айтарлықтай білінеді.

Бекітілген (фиксацияланған) жерсеріктік қызметтер қозғалмайтын жерүстілік станциялармен байланысты ұйымдастыруға арналған, олар әдетте геостационарлық орбитаға ұшырылатын жерсеріктері-ретрансляторлар негізінде құрылады. Орбитасының өте үлкен биіктігінен және осыған байланысты ғарыш-жер жолындағы сигналдың айталықтай шығындары болуынан, геостационарлық жерсеріктерімен байланысты орнатқанда, борттық ретрансляторлардың сипаттамаларына тәуелді түрде айна диаметрлері 60 см-ден 12 метрге дейінгі, тіпті одан үлкен үшкір бағытталған параболикалық антенналар («тарелкалар») пайдаланылады.



1.2-сурет. Жерсеріктері орбиталары:
1 – экваторлық, көлбеулік, 3 – полярлық

Жерсеріктерінің төменгі орбиталары Жер бетіне жеткілікті жақын өтеді, сондықтан арзан кіші габаритті терминалдар және кішкене антенналарды қолдануға мүмкіндік туады. Және де жерсерігі мен жерүстілік станцияның арасындағы кішірейген қашықтық есебінен жолдағы шығындар мың еседей аз болады, бұл таратқыштар қуатына және қабылдағыштар сезімталдығына талаптарды төмендетуге мүмкіндік береді. Екінші жағынан, қызмет көрсету аймағы диаметрі шамамен 500 км-ге тең және де әрбір жерсерігі жерүстілік станцияның көріну аумағында 15-20 минут болады. Сондықтан үздіксіз байланыс жасау үшін төменгі орбиталды жерсеріктерінің үлкен тобын пайдалану қажет (саны 48-ден кем емес). Сонымен қатар, төмен ұшып жүретін жерсеріктерімен жұмыс істегенде не тиімділігі нашар

кең бағытты антенналарды немесе жерсеріктерін қадағалайтын күрделі жүйелері бар үшкір бағытталған антенналарды пайдалану керек.

Төмен және орта орбиталарға көшу тек геостационарлы орбиталардың артық жүктелу проблемаларын ғана шешіп қоймай, сонымен қатар тұтынушыларға телефондық тұтқа тәрізді терминалдың көмегімен глобалді арнайы байланыспен қамтамасыз ете отырып, телекоммуникациялық қызмет көрсету сферасын айтарлықтай кеңейтеді. Төменгі орбиталды байланыс жүйесі бірнеше құрылымдық ерекшеліктерге және жұмыс істеу принциптеріне ие. Соның ішіндегі негізгілері:

- көп жерсеріктік орбиталды топтардың аркасында өзінің радиокөріну аймағымен қызмет көрсету территориясын аймақтық немесе глобалді жабынмен қамтамасыз ету мүмкіндігі бар;

- жерүстілік ұялық радиобайланыс желілеріне қосымша қозғалмалы радиобайланыс құралы ретінде қолданыс тауып, қызмет көрсетілетін аумақтарда берілген байланыс жүйесімен сүйемелдеу;

- шалғайдағы қолданушылар арасында жерсеріктік аралық байланыс жолы, жер станциялары түйіндестерінің (шлюз-станциялар) немесе электрондық почта режиміндегі жұмыс көмегімен хабарды қайта таратумен қамтамасыз етеді;

- іскерлік ақпаратпен алмасуды іске асыру;

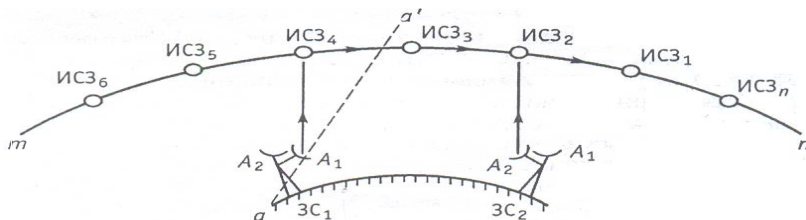
- дербес радиошақыру байланысын орнату;

- қозғалмалы нысандардың орнын анықтау үшін және олардың орналасу орны туралы ақпаратты беру;

- Жерүстің экономикалық, өнеркәсіптік және ғылыми мониторингте қолданылады.

Төменгі орбиталды жерсеріктерінің жұмыс істеу ерекшеліктерін анықтау үшін олар арқылы сигналдардың таралып берілуін қарайық. 1.3-суретте төменгі орбитадағы бірнеше жерсеріктерімен байланыс жүйесі көрсетілген. Осындай жүйеде әрбір жерүстілік станцияда (ЗС) екі антенна орнатылуы тиіс, олар өзара байланыс аймағында болатын жерсеріктерінің біреуі көмегімен сигналдарды таратуды және қабылдауды жүзеге асыра алады. Суретте бір төменгі орбитада, оның бір бөлігі *mn* доғасы түрінде көрсетілген, сағат тілі бағытымен қозғалып жүрген жасанды жерсеріктері (ИСЗ)

бейнеленген. Талданып отырған жерсеріктік байланыс жүйесі келесідей жұмыс істейді. ЗС₁-ден сигнал A_1 антенна арқылы ИСЗ₄ –ке келіп түседі де, ИСЗ₃, ИСЗ₂, ИСЗ₁ арқылы ЗС₂-нің қабылдағыш A_1 антеннасына ретрансляция жасайды.



1.3-сурет. Төменгі орбитадағы бірнеше ЖЖС-і арқылы байланыс жүйесі

Сөйтіп бұл жағдайда сигналдың ретрансляциясы үшін A_1 антеннасы мен ИСЗ₄ – ИСЗ₁-ден тұратын орбита сегменті пайдаланылады. ИСЗ₄-тің aa' көкжиек сызығынан сол жақта жатқан аймақтан шыққанында, сигналды тарату және қабылдау A_2 антеннасы мен ИСЗ₅ – ИСЗ₂-ден тұратын орбита сегменті арқылы жүргізіледі. Содан кейін сигналдарды тарату және қабылдау A_1 антеннасы мен ИСЗ₆ – ИСЗ₃-ден тұратын орбита сегменті арқылы жүргізіледі және т.с.с.

Орташа орбиталар геостационарлық және төменгі орбиталар арасында өткінші орын алады да, осы екі жүйе аралығында әлдебір екі жақты да келістіретін шешім береді.

Жер станциясы мен ғарыш станцияларының негізгі сипаттамалары

Телекоммуникациялық жүйенің глобальді мәселелерін шешуде жерсеріктік байланыс маңызды рөл атқарады, өйткені қиын қатынастағы, шалғай және аз қоныстанған аудандарды радиобайланыспен қамтуға мүмкіндік береді. Дәстүрлі еңсіз жолақты радиотелефон, деректерді тарату, телекс сияқты телекоммуникациялық қызмет көрсетумен қатар, перспективті жерсеріктік байланыс жүйесінде видеодеректерді, мультимедиялық хабар және интерактивті теледидарлық бағдарламаларды таратуды іске асырады.

Қабылдау мен таратудағы жиілік диапазоны

Диапазонның (аралықтың) аты	Жиілік жолағы, ГГц
L - диапазон (аралық)	1,452-16550 және 1,610-1,710
S – диапазон (аралық)	1,93-2,70
C – диапазон (аралық)	3,40-5,25 және 5,725 - 7,075
X – диапазон (аралық)	7,25-8,40
Ku – диапазон (аралық)	10,70-12,75 және 12,75-14,80
Ka – диапазон (аралық)	15,40-26,50 Ғ/ж және 27,00-30,20 ж/Ғ
K – диапазон (аралық)	84,0-86,0

Жерсеріктік байланыс жүйесі үшін бөлінген жиілік диапазондары (ГГц) 1.2-кестеде берілген.

Мұндағы Ғ/ж – ғарыштан жермен байланысуды, ал ж/Ғ – жерден ғарышпен байланысуды көрсетеді.

Көптеген ЖСБЖ-с қабылдауда 4 пен 11 ГГц жиілігінде, ал таратуда 6 және 14 ГГц жиілік диапазонында жұмыс істейді, бұған C мен Ku бекітілген жиілік диапазондары сәйкес келеді.

Байланыстың және хабар таратудың жерсеріктік жүйелеріне арналған негізгі жиіліктер диапазоны мынадай:

1. 0,24 – 0,4 ГГц. Әскери арнаулы бар мобильді байланыс жүйелеріне арналған жиіліктер диапазоны, бірінші кезекте әскери – теңіз флоты және әскери әуе күштері үшін.

2. 1,5/1,6 ГГц. Бұл диапазонда 29 МГц мобильді нысандарымен байланыс жүйелеріне арналған. Осы жиіліктер диапазонындағы ең ірі жүйе геостационарлық жерсеріктерін пайдаланатын INMARSAT байланыс жүйесі.

3. 1,9/2,1; 1,6/2,5 ГГц. Ені шамамен 30 МГц жиіліктер жолағы төменгі және орташа орбиталды мобильдік пен дербес байланыс жүйелеріне бөлінген.

4. 4/6 ГГц. Осы жиіліктер диапазоны геостационарлық ғарыштық аппараттар негізіндегі байланыс желілері үшін бөлінген.

5. 7/8 ГГц. 500 МГц жолағы бар жиіліктер диапазоны әскери байланыс жүйелерінде пайдаланылады.

6. 11/14 ГГц. 800 МГц жолағы бар жиіліктер диапазоны стационар станциялары бар байланыс желілерін құруға бөлінген.

7. 12 ГГц. 800 МГц жолағындағы «Ғарыш – Жер» арналары стационарлық дербес қабылдағыштарға тікелей теле- және радиохабар таратудың геостационарлық жүйелері үшін бөлінген.

8. 20/30 ГГц. Жолағы 2,5 ГГц жиіліктер диапазоны геостационарлық және геостационарлық емес байланыс жүйелерін құруға бөлінген.

Түрлі радиобайланыс қызмет көрсетуінде жиілік жолақтарын бөлумен Халықаралық Электрбайланыс Одағы айналысады (ХЭО). Қазіргі уақытта мұндай жиілік жолақтарын бөлу 9 кГц-тен 275 ГГц-ге дейінгі аралықта орындалған. Жиілік жолағын бөлу кезінде радиоқызметтен басқа Жер шарын 3 ауданға бөлу қарастырылған:

1-ші аудан: Еуропа, Африка, Ресей, Қазақстан, Моңғолия және т.б.;

2-ші аудан: Солтүстік және Оңтүстік Америка;

3-ші аудан: Азия, Океания, Австралия.

Қабылдаудағы станцияның сапалылығы GA/T_(дБ/К-мен өлшенеді).

Мұнда GA – қабылдағыш антеннаның күшейту коэффициенті, T – қабылдау күрежолының эффективті шуыл температурасы. ЖҮС үшін қабылдаудағы сапалылық мәні 20...40 дБ/К шектерінде болады.

Антеннаның диаметрі DA. ЖҮС-ның өлшемі мен бағасын және жиілік жолағы бойынша кеңістіктік таңдаушылығын анықтайды.

Антенна диаметрі өлшемдері айтарлықтай үлкен мәндер аралығында жатыр (шамамен 0,45 м-ден 32 м-ге дейін).

Диаметрінен басқа антеннаның поляризациялық сипаттамаларын, бүйірлік сәулелену жапырақшалар сипаттамасын білу керек, сондай-ақ антенна түрлерін білу керек: кез келген аспан нүктесіне бағыттауға болатын толық айналмалы антенна ма, әлде толық айналмалы емес (шектелген аймаққа бағытталуы бар) антенна ма немесе қозғалмайтын антенна ма (геостационарлық ЖЖС-мен жұмыс істеу үшін).

Қазіргі уақытта VSAT (Very Small Aperture Terminal - өте кішкене апертуралы терминал) типті ЖҮС-лар – кішкентай диаметрлі антеннасы бар терминалдар кеңінен тараған.

Эффективті сәулеленіп шығатын изотропты қуат (ЭСИҚ)

- таратқыштың қуатының, толқынжолдық күрежолдың пайдалы әсер коэффициентінің (ПӘК) және антеннаның күшейту коэффициенті көбейтіндісі (тарату жолағында).

Әртүрлі Жерсеріктік байланыс жүйелері үшін осы көрсеткіштің мәні 50 – 95 дБВт шамасында болады.

Ғарыштық станциялардың сипаттамалары. Орбиталды ғарыш станциясы

Мир орбиталды ғарыш станциясы (ОФС) орбиталды ғарыштық басқарылатын үшінші ұрпақ станциясы. Үшінші ұрпақтың басқарылатын станцияларының артықшылығы онда алты базалық байланыс түйіні бар. Ол орбитада біртұтас үлкен ғарыштық комплексті ұйымдастыруға мүмкіндік береді (1.4-сурет). Базалық блокта ОФС Салют-7-нің орнына 10-шы ОФС Мир орбитаға 1986 жылы 20 ақпанда Протон ББ ракета тасығышымен жеткізілген. ОФС негізінен герметикалық жұмыс бөлмесінен, орталықтан басқару пунктінен тұрады және байланыс құралдарымен жабдықталған. Жұмыс бөлмесінің үстіңгі қабатында айналатын 2 күн батареялары панельдері және 3-ші қозғалмайтын күн батареясы орналастырылған.

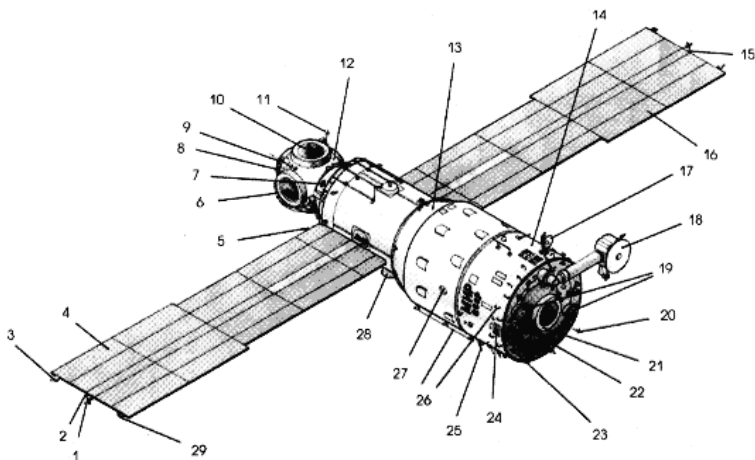
Біз станцияның борттық ретрансляторларының (БР) сипаттамаларына тоқталайық.

Бұл сипаттамалар ЖҮС-не ұқсас, бірақ көрсеткіштерінің сандық мәнінде айтарлықтай өзгешеліктер бар:

- қабылдауда сапалылық төмен (минус 10...плюс 6 дБ/К), өйткені антенна диаметрлері кішкентай және АШК қарапайым;
- ЭСИҚ-та төмен, әдетте (23...45 дБВт), бірақ ЖЖС-мен теледидарлық хабар таратуда 52...58 дБВт-қа дейін жетеді.

Борттық ретранслятордың тағы да бір маңызды сипаттамаларының бірі - бағандар саны («баған» терминінің орнына көбіне ағылшын термині “транспондер” қолданылады). Ретранслятор бағанын қабылдап-тарату күрежолы деп атайды, онда радиосигналдар әлдебір ортақ жиілік жолағынан өтеді. Әртүрлі ЖЖС-де діңгектер саны 6...48 шегінде ауытқып

тұрады. Сондай-ақ бағандардың жиілік жолағының ені әртүрлі болады (27; 34; 36; 40; 72; 77; 112; 120 МГц және т.б.).



1.4-сурет. Орбиталды ғарыш станциясы (ОФС) құрылысы:

- 1-жақындату жүйесінің антеннасы, 2-қызыл бортық от,
3-командалық радиожелісінің антеннасы, 4-күн батареясының сол жақ панелі, 5-қосылатын бөлік, 6-ұстағыш, 7- иллюминатор, 8-осьтік баланс агрегаты, 9-манипулятор ұяшығы, 10-біржақты баланс агрегаты, 11-жақындату жүйесінің антеннасы, 12-өтетін блок, 13-жұмыс істейтін блок, 14-агрегат бөлігі, 15-жасыл бортық от, 16-күн батареясының оң жағы, 17- жақындату жүйесінің антеннасы, 18- тік бағытталған байланыс антеннасы, 19-маршты қозғалтқыштар, 20-байланыс бөлігі, 21-осьтік баланс агрегаты, 22-өтетін камера, 23-оптикалық тіркегіш, 24-бағдарлау қозғалтқыштары, 25-радиобайланыс антеннасы, 26-ұстағыштар, 27- иллюминатор, 28-оптикалық бағдарлау аспабы, 29-радиотелеметрия антеннасы

Көпстанциялық қатынас әдісі (КҚ) — FC бортық ретрансляторының ортақ бағанынан өтуі үшін әртүрлі ЖҮС-дан сәулененіп шығатын сигналдарды біріктіру әдісі болып табылады. Сигналдарды жиілік бойынша бөлуі бар КҚ

қолданады (ЖБҚ- мұнда жер станцияларына белгілі бір жиілік жолағын бөледі), уақыт бойынша сигналдарды бөлу (УБҚ- станциялар үшін ортақ жиілік жолағын бөледі, бірақ белгілі бір уақыт аралығында), қалпы бойынша сигналдарды бөлуді (кодтық бөлу).

Өткізу қабілеттілігі (БР арқылы ұйымдастыруға болатын арналар саны немесе сигналдарды таратудың максималды жылдамдығы) көптеген факторларға тәуелді: радиожол энергетикасына, өткізу жолағына, модуляция әдістеріне (ЖМ, ФМ), КҚ әдістеріне. Соңғысы бірсигналды қатынаспен салыстырғанда міндетті түрде шығындар енгізеді (қазіргі заманғы УБҚ-ы бар жүйелер ең аз шығындарды 0,5...2дБ қамтамасыз етеді).

Көп функционалды жерсеріктерінде негізінен антеннаның 4 түрі қолданылады:

- глобальды (бағытталу диаграммасы ені $17^\circ \times 17^\circ$);
- жартылай глобальды ($8,7^\circ \times 8,7^\circ$);
- аймақтық ($5^\circ \times 5^\circ$; $5^\circ \times 11^\circ$; $3,5^\circ \times 7^\circ$);
- үшкірлі бағытталғандар ($1...2^\circ$).

Антенналар таратушы, қабылдаушы немесе қабылдап-таратушы болуы мүмкін, сәуленің орта нүктесін қайта бағыттау мүмкіндігіне ие, немесе зауыттың ішіндегі жағдайда берілген жер бетіндегі анықталған нүктеге көзделуге бапталған болуы мүмкін. Транспондерлердің антеннаға жалғау сұлбасы айтарлықтай әртүрлі болады. Мысалы, “Экспресс-6А”, 80Е ЖЖС үшін (“Ғарыштық байланыс” Үкіметтік кәсіпорын, Ресей) жалғау сұлбасы мынадай болады:

- транспондерлер 5,7,9,15,17 → А6, А8 (антенналар);
- транспондер 6 → А2, А3, А8;
- транспондерлер 12,20,22,24,26 → А9 және т.б.

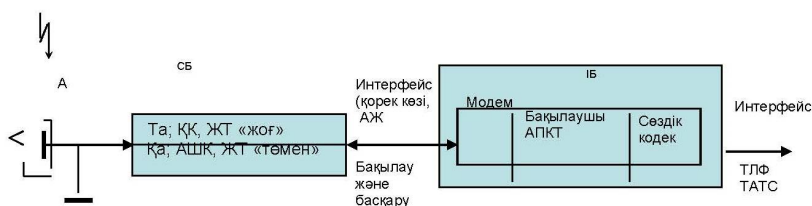
ЖЖС көріну аймағы деп, әлдебір рұқсатты мәннен үлкен ЖЖС орын бұрышы (ЖЖС-ға қарай бағыт пен Жерге жанама жазықтық арасындағы бұрыш) астынан көрінетін Жер бетін айтады (әдетте көріну аймағы шекарасын 5° және 10° бұрыштарымен анықтайды). ЖҮС белгілі көрсеткіштерінде анықталған байланыс сапасы қамтамасыз етілетін көріну аймағының бөлігін қамту аймағы деп атайды (негізінде бұл қызмет көрсету аймағы болып табылады, оның шегінде басқа

жұмыс істеп тұрған радиожабдықтармен электрмагниттік үйлесімнің міндетті шарты орындалуы тиіс). ЖЖС-нің қызмет көрсету мерзімі 10...15 жыл (элементтерінің жоғары сенімділігі, резервтеудің икемділіктілігі және тармақталған сұлбасы).

Жер және ғарыштық станциялардың радиожабдықтық құрамы

VSAT - ТЛФ ЖСБЖ (жерүстілік жерсеріктік байланыс жүйесі) қарапайым функционалдық (құрылымдық) сұлбасын (1.5-сурет) қарайық. Мұнда кіші габаритті апертуралық терминал (VSAT – very small appertura terminal) мен телефон желісіне (ТЛФ) дейінгі байланыс жабдығы құрамы, соның ішінде оның бөліктері көрсетілген.

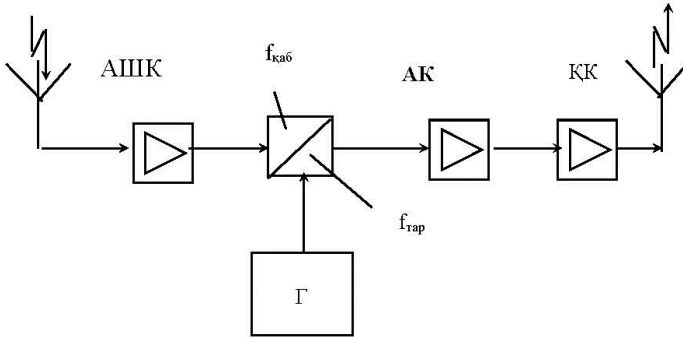
Борттық ретранслятор бағандарының жалпы күшейтуі, ережеге сәйкес, 100...125 дБ-ға жетеді. Қарастырылып отырған функционалдық сұлбада кіріс жиіліктегі күшейту 40...45 дБ-ге тең (одан үлкен күшейту техникалық жағынан қиындықтар туғызады), ал негізгі күшейту шығыс жиілікте іске асырылады (85..90 дБ), бұл да өздігінен қозуды болдырмау үшін шаралар қарастыруды талап етеді.



1.5-сурет. VSAT-ТЛФ станциясының функционалдық сұлбасы:

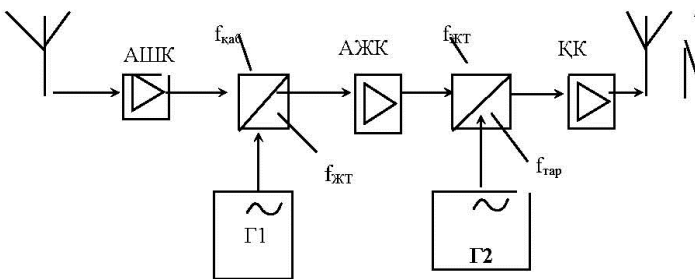
АПКТ-аппаратура ПКТ; АШҚ-аз шуылды күшейткіші; Та-тарату; Қа-қабылдау; ЖТ-жиілікті түрлендіргіші; АЖ-аралық жиілік; ТЛФ-телефон; ҚҚ-қуат күшейткіші; TATC – торптық АТС; А – антенна; СБ – сыртқы блок; ҚҚ – қуат күшейткіші; ЖТ – жиілікті түрлендіргіші; АШҚ – аз шуылды күшейткіші; ІБ – ішкі блок; МД, ДМ – модем; Б – бақылаушы, СК – сөздік кодек (қателерді түзейтін кедергіге тұрақты код, мысалы, үйірткілі код)

Енді борттық ретранслятордың радиожабдығын қарайық. 1.6-суретте жиілікті тікелей (бір реттік) түрлендіруі бар борттық ретранслятор құрылымдық сұлбасы көрсетілген.



1.6-сурет. БР-дің тура (бір реттік) жиілікті түрлендіру құрылымдық сұлбасы:
 $f_{каб}$ – қабылдау жиілігі; $f_{тар}$ – тарату жиілігі; АК – арналық күшейткіші; КК – қуат күшейткіші; Г – гетеродин

БР діңгектерінің жалпы күшейтуі 100...125 дБ құрайды. Бірінші сұлбада кіріс жиіліктегі күшейту 40...45 дБ, ал негізгі күшейту шығыс жиілікте болады (85...90 дБ), бұл сонымен қатар өздік қозуды болдырмау әдістерін де талап етеді. БР-дің екінші сұлбасы, жиілікті түрлендіргіште қосымша күшейту арқылы күре жолдың жалпы үлкен күшейтуін алуға болатын бұрынғы жобаларда қолданылған.



1.7-сурет. Гетеродин типті БР-дің құрылымдық сұлбасы:
 (аралық жиілікті күшейткішпен)

1.3. Жерсеріктік және жер байланыс жүйесінің электрмагниттік үйлесімділігі

Электрмагниттік үйлесімділік – нақты анықталған нормалардан аспайтын өзіндік әсерлері байланыс сапасының төмендеуіне әкелмейтініне кепілдік бере отырып түрлі радиобайланыс құралдарын қолдануға мүмкіндік беретін жағдай.

Электрмагниттік жағдай – белгілі бір нүктеде орналасқан немесе берілген географиялық ауданда орналасқан барлық электрмагниттік сәулелену көздерінің жиынтығы.

Арналуына қарай әртүрлі радиоэлектронды құралдардың (РЭҚ) дамуы радиоспектрдің артық жүктелуіне алып келеді. Сол себептен де барлық радиоқұралдардың қалыпты функция атқаруы мақсатында радиоспектрді тиімді қолдану маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Ол ғылыми негізде жүргізілуі тиіс, ал оның құрамдас бөлігі РЭҚ электрмагниттік үйлесімділігін қамтамасыз ету болып табылады, яғни кез келген радиоэлектронды құрылғы:

- 1) басқа радиоэлектрондық құрылғылардың қалыпты жұмыс жасауына әдейі емес бөгеуілдер келтірмеуі қажет;
- 2) іске қосылған басқа радиосигналдар көздерінің кезінде қалыпты жұмыс атқаруы тиіс.

Халықаралық шеңберде электрмагниттік үйлесімділік РЭҚ жиіліктік және территориялық бөліп ажырату шеңберінде Халықаралық электробайланыс одағымен өткізіледі. Бұл одақпен жасалған регламент 10 кГц пен 275 ГГц диапазонын қамтиды және 38 Жер және ғарыштық радиоқызметтерге жиілік жолақтарын бөлуді және олардың территориялық бөлінуін қарастырады. Әрбір мемлекетте сәйкесінше радиожиіліктер бойынша Мемлекеттік комиссия құрылады, ол РЭҚ жиіліктерін бөліп үлестіреді. Бұл комиссия шешімі міндетті түрде орындалуы қажет, орындалмаған жағдайда Заңмен қудаланады.

Бөгеуілдер көзі сипатына қарай радиобөгеуілдер табиғи және техникалық (индустриалдық) болып жіктеледі.

Біріншісіне атмосфералық электрлік, ғарыштық шуылдар, ғаламшарлардың радиосәулеленулері жатады. Екінші түрі кеңжолақты және таржолақты болуы мүмкін.

Кеңжолақтыларға мыналар жатады:

- ұшқындық, доғалық және тәждік разряд.

Таржолақтыларға:

- техникалық құралдар әсерінен туындаған сәуле шығару.

Оларға жолақтан тыс сәуле шығару, яғни жұмыстық жиіліктер жолағынан тыс сәуле шығару және жанама сәуле шығару, яғни негізгі сәуле шығарғыш гармоникаларына сәйкес келетін сәуле шығару жатады.

Сипаты бойынша бұл бөгеуілдер импульсті және үзіліссіз болуы мүмкін. Сосын олар сәулелендірудің алыс аумағында орналасқан сәуле шығаратын көздерден антенна мен фидерлік жол арқылы әсер ететін сыртқы және жақын жерде орналасқан сәуле шығару көздерінен шығатын ішкі бөгеуіл болып бөлінеді, яғни ішкі жүйелік.

Өзара байланысты бөгеуілдерді ортақ жиіліктер жолағында және әртүрлі жиіліктер жолағында жұмыс жасайтын РЭҚ тудыратын бөгеуілдер деп бөледі. Соңғы жағдайда олармен күрес бөгеуілдер шығару жерінде жанама сәуле шығаруды жою мақсатында аппаратураны жетілдіру және бөгет жасаушы сигналдарды сүзгілеу әдісі арқылы жүргізілуі керек.

Бірінші жағдайда бұл әдістерді қолдану нәтиже әкелмейді, олармен тек қабылдағыш сезімталдығын төмендету арқылы ғана күресуге болады.

ЭМУ жағынан көзқарас бойынша РЭҚ критерийлеріне мыналар жатады:

- жиілік тұрақтылығы;

- жолақтан тыс және жанама сәуле шығарудың қарқындылығы;

- қабылдау кезінде жұмыс жиілігінен басқа барлық жиіліктер жолағында сигналдарды басып тастау дәрежесі;

- бөгет жасаушы сигналды әлсірету коэффициенті (БЖК), ол қабылдағыш кірісінен оның шығысына дейін осы сигналдың әлсіреуін сипаттайды.

ЭМУ теориясында арнайы терминдер тізімі қолданылады, олардың негізгілері мыналар:

- қажетті жиіліктер жолағы ені – берілген жылдамдық пен сападағы ақпаратты таратуға жеткілікті минималды жиіліктер жолағы;

- негізгі сәуле шығару – қажетті жиіліктер жолағындағы сәуле шығару;

- жолақтан тыс спектрлер – қажетті жиіліктер жолағынан тыс жатқан сәулелену қуатының спектралдық тығыздығының бөлігі;

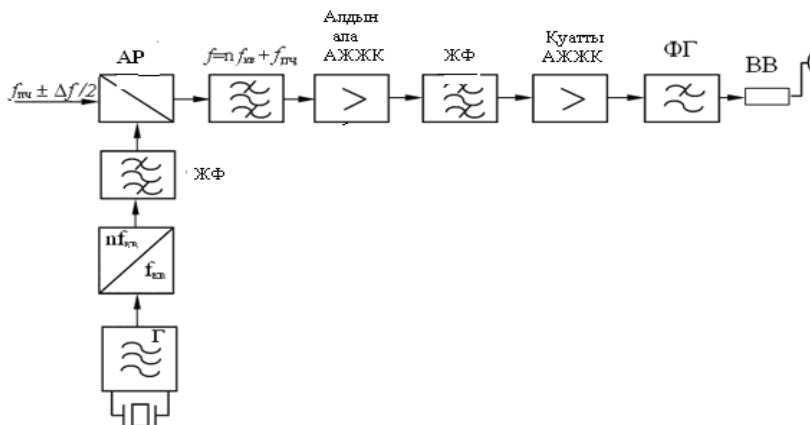
- жолақтан тыс сәуле шығару - жолақтан тыс спектр жиіліктерінде сәулеленетін барлық қуат;

- қамтитын жиіліктер жолағының ені – оның шегінде орташа сәулеленетін қуат шамаларының әрқайсысы барлық сәулелену орташа қуатының белгілі бір пайызына тең.

- X дБ деңгейіндегі спектр жиіліктері жолағының ені – оның шегінен тыс қуаттың спектралдық тығыздығы немесе дискретті құрастырушысы берілген бастапқы деңгейге қарағанда X дБ -ден кем емес әлсіреуге ие болады.

Аса жоғары жиіліктегі таратқыштың жанама және жолақтан тыс сәуле шығару көздері.

Таратқыштың жанама және жолақтан тыс сәуле шығару көздерін түсіндіруге арналған таратқыш сұлбасы 1.8-суретте берілген. Жолақтан тыс сәуле шығарудың туындау себептері:



1.8-сурет. Жанама және жолақтан тыс сәуле шығару көздерін түсіндіруге арналған таратқыш сұлбасы

1. Тасымалдаушы тербелісті жиілік бойынша модуляциялау процесі кезінде ЖМ сигнал қалыптасады. Бұл сигналдың спектрі шексіз және жұмыс жиілігінен тыс шығатын құраушылар жолақтан тыс сәуле шығарулар болып есептеледі.

2. Қайта модуляциялау нәтижесінде де жолақтан тыс сәуле шығарулар пайда болады.

3. Сигналды түрлендіру кезінде сүзгіш құрылғылардың жетілдірілмегендігінен және күрежолдағы сызықсыздықтың бар болуына байланысты гармоникалық құраушылар пайда болады. Олар да жолақтан тыс сәуле шығару көзі болып табылады.

Жанама сәуле шығарудың пайда болу жолдары:

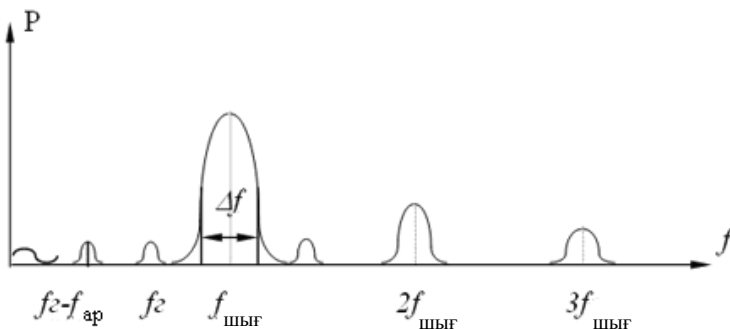
1. Максималды қуатты алу үшін шығыс күшейткіш сызықты емес режимде жұмыс жасайды. Нәтижесінде негізгі жиіліктің гармоникалары пайда болады. Олар сүзгіштер әсерінен әлсірейді, бірақ сүзгіштердің жетілмегендігінен олардың бір бөлігі шығысқа өтіп, сәулеленіп шығады.

2. Таратқыш ішінде жанама жиіліктердегі өздігінен қозу кездейсоқ пайда болуы мүмкін.

3. Бір антенна мен бірнеше таратқыш жұмыс жасағанда, басқа таратқыштың тербелістері әсерінен бір таратқыштың қуатты каскады көрсеткіштері өзгеруінен интермодуляция пайда болуы мүмкін.

4. Таратқыштың шуылдық сәуле шығарулары жолақтан тыс және жанама сәулеленудің негізгі себебі болып табылады. Шуылдық сәуле шығарудың көзі - беруші автогенераторлар және көбейткіштер. Олардың спектрі кеңжолақты.

1.9-суретте жолақтан тыс және жанама сәуле шығару нәтижесінде таратқыш шығысындағы сигнал жиілігінің жалпы сипаттамасы көрсетілген.



1.9-сурет. Жолақтан тыс және жанама сәулелену кезіндегі таратқыш шығысындағы сигнал жиілігінің жалпы сипаттамасы

Қалған жиіліктер жолағында жолақтан тыс және жанама құрастырушылар сәулеленеді. Халықаралық Электрбайланыс Комитеті ұсыныстарына сәйкес жолақтан тыс және жанама сәулеленулердің шамасы регламенттеледі. Осы сәуле шығарулардың деңгейін арнайы қызмет қадағалап отырады.

Мұндағы Δf – негізгі сәуле шығару жинақталатын қажетті жиіліктер жолағы

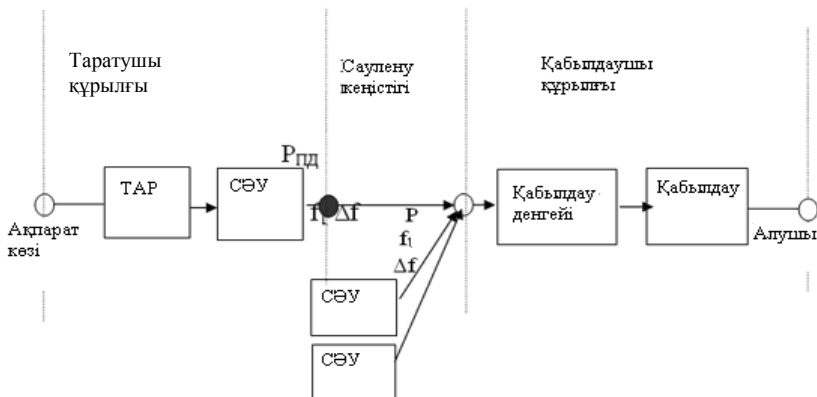
РЭҚ электромагниттік үйлесімділігін қамтамасыз ету.

Бір жиілік жолағын әртүрлі РЭҚ пайдаланса, онда олардың қалыпты жұмысы үшін олар кеңістік бойынша таратылып бөлінуі керек. Бұл кеңістікте әрбір жүйе өзіне сәйкесті көлемге ие болады. Ол таратқыш қуатымен, жиіліктер жолағымен, антенна сипаттамасымен, радиотолқындардың таралу шарттарымен, жергілікті рельефпен және т.б. сипатталады (1.10-сурет).

Берілген байланыс жүйесі сәуле шығару кеңістігінде орналасқан және $P_{\text{тар}}$ қуатпен, Δf жолағымен, f тасымалдаушы жиілікпен және тасымалдаушысы f_i , жолағы Δf_i және қуаты P_i бөгеуілдер қатарымен сипатталады. Қабылдағыш құрылғы сәулеленуді қабылдау кеңістігімен сипатталады, ол антенна қасиеттерімен, негізгі және негізгі емес арналар бойынша қабылдау сезімталдығымен және де қабылдағыштың қажетсіз сигналдарды басып тастау қабілетімен анықталады. Егер де Жерді тегіс сфералық бет деп есептейтін болсақ, онда бағытталмаған антенна жағдайында $P_{\text{кос}}$ -қа тең қуат сызығы шеңбер болып табылады, оның радиусы былай анықталады:

$$r = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{\text{тар}}}{P_{\text{кко}}}}.$$

Осы формуланы қолдана отырып және $P_{\text{кос}}$ берілген болса, жалпы жиілік жолағында жұмыс жасайтын РЭҚ қандай қашықтықта орналасатынын есептеп шығаруға болады. Нақты шарттарда (Жер беті тегіс емес, антенналар бағытталған және т.б.) есеп қиындай түседі, бірақ үлкен қиыншылықты тудырмайды және жеткілікті түрде жетілдіріліп шешіледі.



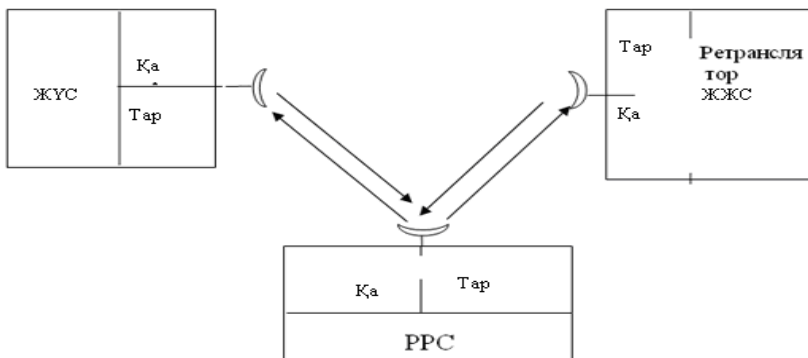
1.10-сурет. РЭҚ-дың кеңістік бойынша таратылып бөлінуі

Радиорелейлік жолдар (РРЖ) мен жерсеріктік байланыс жүйесінің (ЖСБЖ) электромагниттік үйлесімділігі (ЭМУ).

Жиіліктерді бөлу бойынша Халықаралық Электрбайланыс Комитеті (ХЭК) шешіміне сәйкес 1-10 ГГц диапазонында ЖСБЖ РРЖ-мен үйлесімді ету оңай. Сол себептен де 1963 ж. Осы мәселе жөнінен шешім қабылданған болатын. Бұл жағдайда өзара бөгеуілдердің пайда болуының төрт жолы қарастырылған (1.11-сурет).

Жерсеріктік байланыстың Жердегі станцияларының РРЖ-ға қарағанда электрлік көрсеткіштерінің шамасы үлкен, сонымен қатар жерсеріктік байланыс сәуле шығару арқылы өте кең территорияларды қамтитындықтан, жиілік жолақтарын бірге пайдаланғанда станциялардың орналасуы мен техникалық параметрлеріне төмендегідей шектеулер қойылады:

1. Жерсеріктік байланыс жүйесінің Жер станцияларының бағытталуы мен қуатын шектеу. Жер станцияларының 1-15 ГГц диапазонында ені 4 кГц болатын кез келген жиілік жолағында антеннаның сәуле шығару орны бұрышы $\delta \leq 0$ болғанда эквивалентті сәуле шығаратын изотропты қуаты +40 дБ-ден аспауы керек, ал $0 \leq \delta \leq 5^\circ$ болғанда $(40 + 3\delta)$ дБВт-ға тең болып және $\delta > 5^\circ$ болғанда шектелмеуі тиіс.



1.11-сурет. Өзара бөгеуілдердің пайда болуы: ЖҮС – жердегі станция, Қа-қабылдағыш, Тар – таратқыш, ЖЖС – жасанды жерсерігі, PPC – радиорелейлік станция

2. РРЖ станциясының бағытталуы мен қуатының шектеулігі: станцияның эквивалентті сәулелендіретін қуаты 1-30 ГГц диапазонында +55 дБВт аспауы керек және т.б. параметрлерімен регламенттеледі.

3. Байланыс жерсерігінің Жер беті үстінде сәуле шығаруының қуаты ағыны тығыздығының Φ шектеулілігі жиіліктер диапазонына байланысты Φ шамасы 4 кГц енді жиіліктер жолағы үшін регламенттеледі. Егер де ЭМУ бойынша ХЭК -і ұсынған барлық шарттар орындалатын болса, онда ЖСБЖ мен РРЖ қалыпты жұмыс жасау шарттары қамтамасыз етіледі. Қазіргі кезде Электрмагниттік үйлесімділік жайындағы барлық мәселелер толығымен шешілген жоқ және сондықтан ЭМУ теориясының әрі қарай дамуы келесі кезеңдерден тұрады:

1. РЭЖ кеңістік және жиілік бойынша рационалды алшақтатып орналастыруға мүмкіндік беретін есептеу әдістерін жасау.

2. Өзара бөгеуілдерді төмендетуге арналған құрылғылар мен әдістерді жасау.

3. ЭМУ әсер ететін көрсеткіштер тез, әрі дәл есептелуі үшін қажетті аппаратураны жасау.

4. Компьютерде электрмагниттік үйлесімділікті модельдеу мен электрмагниттік жағдайды физикалық модельдеу.

Жерсеріктік жүйе жұмысы үшін бөлінген жиілік жолағында жер байланыс жолының айтарлықтай үлкен саны жұмыс істейді (сонымен қоса тура көріну РРЖ-ы).

Жерсеріктен келіп түсетін жер жүйелеріндегі сигнал қуатының ағынының максималды тығыздығы шектеледі. $W(\text{дБВт/м}^2)$ келесі шартты қанағаттандыруы тиіс:

W уақытша бақылау жиілік жолағында анықталады: 1МГц диапозондары үшін 17,7-19,7; 31-40,5 ГГц-те және 4 кГц-те басқалары үшін (төменгі жиіліктер үшін).

Қуат ағынының тығыздығы келесі формула бойынша анықталады:

$$W = P_{\text{Ақаб}}/S_{\text{Э}} = P_{\text{Э}} G_{\text{қаб}}/L_{\text{Р}} S_{\text{Э}} = P_{\text{Э}} 4\pi/L_{\text{Р}} \lambda^2 [\text{Вт/м}^2], \quad (1.1)$$

мұндағы $P_{\text{Ақаб}}$ - ЖҮС-ның қабылдау антеннасының шығысындағы қуат;

$S_{\text{Э}}$ – антеннаның эффективті ауданы, антеннамен қабылдап алатын ағын энергиясын анықтайды;

$G_{\text{қаб}} = 4\pi S_{\text{Э}}/\lambda^2$ - ЖҮС қабылдау антеннасының күшейту коэффициенті;

$P_{\text{Э}}$ — бүйірлік ретранслятор ЭИСК -ы;

$L_{\text{Р}}$ – тарату жолындағы сигналдың әлсіреуі.

Логарифмдік түрде формула былай жазылады:

$$W = P_{\text{Э}} - L_{\text{Р}} + 20 \lg f + 21,5 [\text{дБВт/м}^2], \quad (1.2)$$

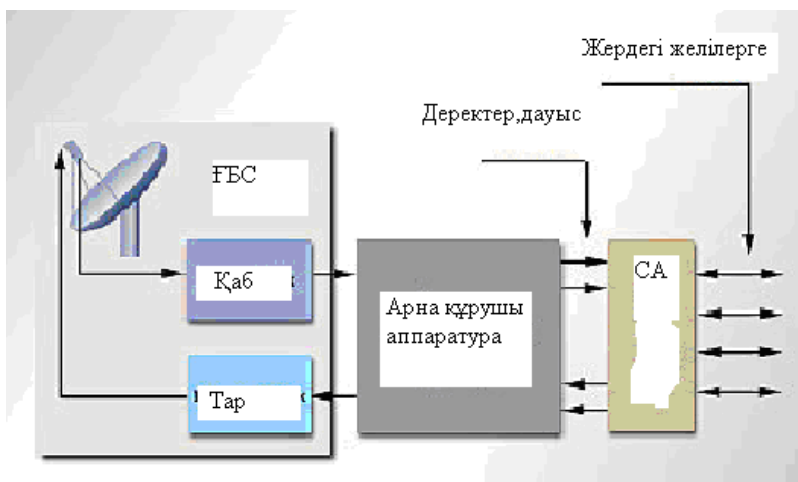
мұндағы f – ГГц –пен беріледі.

Жерсеріктік радиотарату қызметі үшін 620-790 МГц жиілік жолағында басқа мемлекеттер территориясындағы қуат ағынының тығыздығы (дБВт/м² өлшемде) шектелген:

$$\begin{aligned} & -129, \varepsilon \leq 20^\circ; \\ & -129 + 0,4(\varepsilon - 20), 20^\circ < \varepsilon \leq 60^\circ; \\ & -113, 60^\circ < \varepsilon \leq 90^\circ. \end{aligned}$$

Шектеуліктер енгізіледі, бірақ ЭМС жүйесіне тексерулер жүргізіледі. Егер жүйе өз территориясын қамтитын болса, кедергі жасайтын әрекеттерді бағалауға мүмкіндік бар. Егер ЖҮС - жерсеріктік жүйесі мемлекет ішіндегі территорияда

орналасқан болса, аймақ координациясын құру қажет болады (ғарыш-Жер тарату үшін, ЖҮС қабылдау үшін). Жерүстілік байланыс станциясының құрылымдық сұлбасы 1.12 – суретте көрсетілген. Есептеу реті ғарыш-Жер үшін МККР 847 нұсқауында орнатылған. ЖҮС документтері ғарыш-жер қосымшасымен көрші мемлекеттерге координация жасауға жіберіледі. ЖҮС үшін координациялық арақашықтық (КА) – азимуттық бағытпен ЖҮС орналасқан орнынан бастап қашықтықтық координациялау контурына (КК) дейінгі қашықтық 200...500 км-ді құрайды.



1.12-сурет. Жерүстілік станцияның құрылымдық сұлбасы:
*ҒБС – ғарыштық байланыс станциясы, Қаб-қабылдағыш,
Тар-таратқыш, СА – соңғы құрылғы*

Бөгеуіл жасайтын сигналдың әсері кезінде бөгеуілге ұшырайтын жүйенің эффективті шуыл температурасы үлкейеді, есептеу әдісі осыған негізделген. Осы әдіске сәйкес, шуыл температурасының $\Delta T_{\Sigma}/T_{\Sigma}$ тарату жолына сай қатысты өсуін есептейді, бөгеуіл жасайтын сигналдар әсері ескеріліп, және оны 6%-ке тең шеттік мәнмен салыстырады.

1.4. Қозғалмалы жерсеріктік байланыс жүйесі

Телекоммуникациялық жүйенің глобальді мәселелерін шешуде дербес жерсеріктік байланыстың рөлі өте зор, өйткені қиын қатынасты, шалғай және аз қоныстанған аудандарды қамтуға мүмкіндік береді. Дәстүрлі таржолакты телекоммуникациялық қызмет түріне радиотелефон, мәліметтерді тарату, телекс, перспективті жүйеде дербес жерсеріктік байланыста бейнемәліметті, мультимедиялық хабар және интерактивті теледидарлық бағдарламаларды таратуды ұйымдастырып отыр.

Төмен және орта орбиталарға көшу тек геостационарлы орбиталардың артық жүктелу проблемаларын ғана шешіп қоймай, сонымен қатар тұтынушыларға телефондық тұтқа тәрізді терминалдың көмегімен глобальді арнайы байланыспен қамтамасыз ете отырып, телекоммуникациялық қызмет көрсету сферасын айтарлықтай кеңейтеді. Төменгі орбитальді байланыс жүйесі бірнеше құрылымдық ерекшеліктерге және принциптерге ие. Соның ішіндегі негізгілері:

- көп жерсеріктік орбиталды топтардың аркасында өзінің радиокөріну аймағымен қызмет көрсету территориясын аймақтық немесе глобальді жабынмен қамтамасыз ету мүмкіндігі бар;
- қызмет көрсетілетін аумақтарда берілген байланыс жүйесімен сүйемелдеу;
- шалғай қолданушылар арасында жерсерік аралық байланыс жолы, жер станциялары түйіндестерінің (шлюз-станциялар) немесе электрондық почта режиміндегі жұмыс көмегімен хабарды қайта таратумен қамтамасыз етеді.

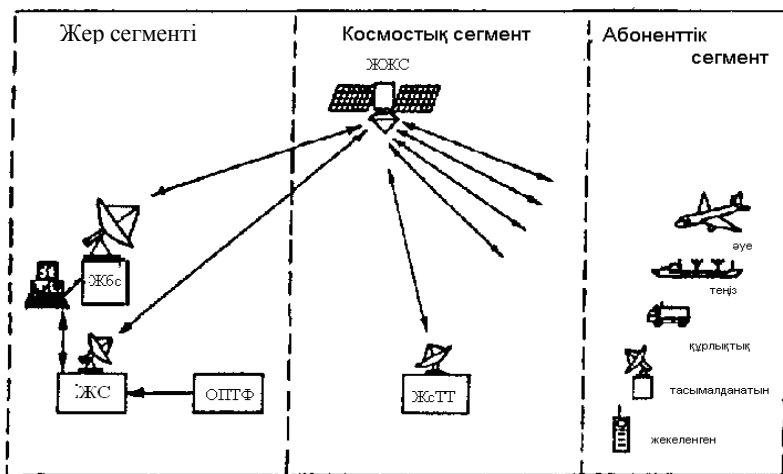
Бұл жүйелер ортақ пайдалануы бар телефондық желілер (ОПТФ) абоненттері мен қозғалмалы нысандарда (автомобильдерде, кемелерде, ұшақтарда және т.б.) орнатылған мобильді станциялармен сөйлесуді ұйымдастыруға, сондай-ақ ұялық желілер негізінде дербес радиобайланысты жүзеге асыруға арналған. ҚЖСБЖ-ін пайдаланғанда кеңістікте орын ауыстырып жүрген абонентпен қосылыс оның өзгермейтін (кәдімгі телефондыққа ұқсас), белгілі түрде кодталған нөмірі бойынша қамтамасыз етіледі.

Жерсеріктік радиобайланыс жүйесінің жұмыс жасау принципі оңай дерлік. Жердің жасанды серігінде Қозғалмалы

жер серіктік байланыс жүйесінің белсенді ретрансляторы орналасады. Мұндай жер серігі платформаларында орналасқан күн батареяларынан немесе кішігабаритті ядролық электрстанциялардан қорек алып, ұзақ уақыт бойы белгілі бір Жердің орбитасымен қозғалады.

Жер серігі - ретрансляторда арнайы антенналық жүйе мен арнайы радиокұрылғылар орнатылған, олар Жерүстілік станцияларына бағытталған сигналдардың қабылдануын, түрленуін және өңделуін жүзеге асырады.

1.13-суретте ортақ пайдаланыстағы телефондық желілермен (ОПТФ) жұмыс істейтін, қозғалмалы жерсеріктік байланыстың (ҚЖСБ) қазіргі кездегі жалпы қарапайым жүйесінің құрылымы көрсетілген.



1.13-сурет. Қозғалмалы жерсеріктік байланыстың құрылымдық сұлбасы:

ОПТФ – ортақ пайдаланудағы телефон, ЖС – жердегі станция, ЖБС – желіні басқару станциясы, ЖСТТ- жерсерігінің телебасқару терминалы, ЖЖС – жасанды жер серігі

Қозғалмалы жерсеріктік байланыс ұялы байланыс жүйелері екі белгісі бойынша жіктеледі: қолданыстағы орбиталары типтері бойынша және ЖЖС орналасуы бойынша. Кез келген

жерсеріктік байланыстың құрамына жергілікті станциялардың (жергілікті және абоненттік сегменттер) үш түрі кіреді:

- Абоненттік станциялар (АС) – әуе, теңіз, құрлықтық, тасымалданатын, жекеленген;

- Стационарлық жердегі түйіндестіру станциялары (СЖТС);

- Желілерді басқару станциялары (ЖБС);

Жерсеріктік радиобайланысты ұйымдастырудың негізінде қарапайым идея жатыр.

Көбінесе СЖТС және ЖБС жердегі станцияларды біріктіріп, ЖБС деп те белгілейді. Сонымен қатар, жерсеріктік жүйелер байланысының жұмысын жөндеуін қамтамасыз ететін, жүргізетін және қадағалайтын, шартты айтқанда жерсерігі терминалының тележүргізушісі (ЖС ТТ) ғаламдық (жер серіктіктік) сегменттің құрал-жабдықтары құрамына кіреді.

Орбитаның қодталуының типіне қарай геостационарлы, жоғары эллиптикалық аралықта немесе төменгі жерүстілік орбитада (ағыл.-Low Earth Orbit-LEO) орналасқан жерсеріктері бар ҚЖСБ деп айырып айтуға болады. Соңғысын төменгі орбиталы (орбитаның биіктігі 200...700 км) байланыс желісінің жүйесі деп те атайды. Жердің үстіңгі қабаты күшті тығыздық ағынында жұмыс істеуге, ұялы телефон көлеміндей абоненттік станциялары бар төменгі орбиталық жерсеріктік қозғалмалы байланыс жүйесінің дүниеге келуіне әкелді. Көбінесе ғаламдық қозғалмалы байланыс желісі Inmarsat деген халықаралық жүйесі кеңінен таралған. Көптеген стандартты СЖТС-ның ішінен қозғалыстағы абоненттік станциялық қызмет көрсетуге арналған Inmarsat-M байланыс желісін атап айтсақ болады. Онда жаяу не баяу қозғалыстағы объектілерге (жеңіл көлік, жаяу адам, мотоцикл) портфель, дипломаттың қақпағында орналасқан, салмағы 2 кг кіші габаритті ФАТ (фазаланған антенналық тор) мен ҰС қолданады. Inmarsat-M спутниктік жүйесі жердің қай нүктесі болмасын байланысты қамтамасыз етеді және Internet компьютерлік желісін факс және т.б. цифрлық ақпаратты тасымалдайтын құрал-жабдықтарды қосуға мүмкіндігі бар. Бұл байланыстың ғаламдық сегменті Атлант, Тынық, Үнді мұхиттарында орналасқан геостационарлық жерсеріктерінен етек алады.

Дербес жерсеріктік байланыс жүйесінің классификациясы.

"Дербес жерсеріктік байланыс жүйесі" атауынан ғарыштық аппараттары (ҒА) геостационарлы (GEO), орта биіктікті (MEO), төмен (LEO) және эллиптикалық орбиталарда болатын құрылуы бойынша әртүрлі жерсеріктік жүйелер жатады, олар түрлі жиілік диапазонында жұмыс істейді және пайдаланушыға түрлі байланыс қызметін дербес терминал көмегімен жүзеге асырады (портативті, мобильді, стационарлық).

Төменде көрсетілген классификация екі негізгі белгі бойынша берілген: абоненттік жолдағы ақпараттық жылдамдық және орбита типі. Жүйенің тарату жылдамдығына байланысты жерсеріктік дербес байланыс жүйесін (ЖДБЖ) төрт класқа бөлеміз:

- өте төмен мәліметтер ағыны бар жүйе (ақпараттық жылдамдық - 1,2 кбит/с);
- төменгі жылдамдықты жүйе (1,2 кбит/с-тан 9,6 кбит/с-қа дейін);
- жоғарғы жылдамдықты жүйе (64 кбит/с және одан да жоғары).

Төменгі жылдамдықты дербес жерсеріктік байланыс жүйесі.

Бұл класстағы жүйе мәліметтерді таратуға және тар жолақты радиотелефонды байланыспен қамтамасыз етуге арналған. Пайдаланылатын орбиталардың типтеріне байланысты, жүйе 5 негізгі топқа бөлінеді: little LEO, big LEO, MEO, NEO және GEO.

Little LEO тобы. Бұл кластағы жүйе мәліметтерді 1,2-ден 9,6 кбит/с-қа дейінгі жылдамдықпен таратады. Олардың ерекшелігі 1ГГц-ке дейінгі жиілік диапазонында жұмыс істейді, массасы жеңіл 50-250 кг ҒА қолданылады, оларға хабарды жеткізу уақыты бойынша қатаң талаптар қойылмайды. Жүйеде 6-дан 48-ге дейін ҒА қолданылады.

Бұл кластағы жүйенің ерекшеліктері мыналар:

- бағытталмаған антенналары бар жеңіл және портативті терминалдарды қолданады;
- орбитаға массасы кішкентай ҒА-ды топтап шығару;
- басқа дербес жерсеріктік байланыстар класына қарағанда бағасы арзан қызмет көрсетуді қамтамасыз етеді.

Little LEO жүйе тобына: "Гонец", Starsys, Vitasat, Faisat, Электон-Стир-М" сияқты байланыс жерсеріктері кіреді.

Big LEO тобы. Бұл кластағы жүйеге глобалды масштабта дербес радиотелефондық және пейджингті байланыспен қамтамасыз ету жатады. Дербес абоненттерге қызмет көрсету нақты уақыт масштабында үзіліссіз.

Бұл кластағы жүйеде үзіліссіз глобалды қызмет көрсету үшін, 48-66 жерсерігінен тұратын, орбиталары түзетіліп отыратын, орбиталды топтама қолданылады. Абоненттермен байланыс L және S жиілік диапазонында жүзеге асады. Жерсеріктердің салмағы 300-700 кг-ды құрайды, little LEO класына қарағанда біршама үлкен. Big LEO класы жүйесінің өткізу қабілеттілігі бір ГА-қа 2,4 кбит/с жылдамдықты 1200 эквиваленттік телефондық арналардан аспайды. Бұл топқа кіретін жүйелер Iridium, Globalstar, "Сигнал", ECCO, "Ростелесат".

Iridium, Globalstar жүйелерінде байланыс орнату үшін түрлі стандартты радиобайланыстың ұялы жүйесінде жұмыс істеуге бағытталған екі режимді терминалдарды қолдану қарастырылған.

MEO жүйесінің тобы. Орташа орбиталардағы ГА-ды қолданатын жүйелер big LEO жүйе класының негізгі бәсекелесі болып табылады, сол жүйеге ұқсас глобалды радиотелефон және пейджингті байланыспен қамтамасыз ететін қызмет көрсетуге бағытталған. Бірақ big LEO жүйесінде глобалды байланыспен қамтамасыз ету үшін жерсерік аралық жол қолданылмайды, бірақ 150-200 түйіндістіру станциялары (Globalstar) талап етіледі, ал MEO жүйесінің тобында 7-12 түйіндістіру станциясы жеткілікті.

Осы класс жүйелерінің өткізу қабілеттілігі бір ГА-қа 3000-4500 эквиваленттік телефондық арнаны құрайды. Бұған ГА-ның пайдалы жүктемесін күрделендірумен, радиожолдың энергетикасының жоғарылатумен қол жеткізеді, осының салдарынан ГА-ның электрлік қоректену көзі қуаты 4600-8700 Вт-қа дейін ұлғаяды. Бұл топқа Odyssey және ICO, сондай-ақ NEO және GEO жүйе тобы кіреді. Геоостационарлы және жоғарғы эллиптикалық орбитадағы ГА-ды пайдаланатын мобильді жерсеріктік байланыс жүйелері пайдаланушыларды түрлі байланыспен қамтамасыз етуге арналған: сөйлесуді, мәлімет таратуды, телекс және факсты.

Жоғары жылдамдықты дербес жерсеріктік байланыс жүйесі

Бұл класқа LEO, MEO және GEO орбиталарын пайдаланатын глобалды кең жолақты байланыс жүйелері жатады. Жүйе жоғары сапалы сөйлесуді, жоғары жылдамдықты мәліметтер ағынын, мультимедиа, конференц-байланысты ұйымдастыруды, Internet-ке қатынасты, интерактивті байланысты қамтамасыз етуге арналған.

Бұл класс жүйелерінің айтарлықтай ерекшеліктері мыналар:

- IP, X.25, Frame Relay, B-ISDN, ATM, SDH және т.б. технологиялар мен протоколдарды қолдану арқылы мәліметтерді тарату;

- шалғайдағы пайдаланушылардың жекелеген сұранысы бойынша ақпараттық жүйелердің деректер базасына (БД) қол жеткізу, Internet желісіне қатынас;

- бейнемәліметтерді және мультимедианы тарату.

Жоғары жылдамдықты тарату жасалып жатқан жерсеріктік байланыс жүйелері Celestri, Spaceway, Skybridge, Teledesic жобаларында қарастырылған.

1.5. Ғарыштық жерсеріктік байланыс жүйелері.

IRIDIUM жерсеріктік жүйесі

77 ҒА-дан тұратын орбиталды құрылымды Iridium жүйесін құру концепциясы 1987 жылы Чендлер, Аризона штаты Motorola жерсеріктік байланыс компаниясының мамандарымен ұсынылған. 2000 жылғы желтоқсанның 12-сінен бастап Iridium Satellite LLC компаниясы Пентагонның және АҚШ Үкіметінің абоненттеріне қызмет көрсетіп жатыр. Жүйені коммерциялық пайдалану 2001 жылғы наурыздың 28-де қайта жанданды. Алайда Қазақстанда «Iridium» абоненттерін бүгінгі күні іс жүзінде табу мүмкін емес.

Жүйенің атауы 77 электроннан тұратын иридий (латын атауы- Iridium) элементі құрылымына байланысты туындаған. Содан кейін жоба иегерлері өзінің концепциясын анықтап, нақты есептеулер жүгізіп, Жер бетін байланыспен глобалды түрде қамту үшін 66 ҒА жеткілікті деп шешкен.

болатын орбиталдық жазықтықтарда орналасқан. Айналу периоды – 100 мин 28 сек. Көрші орбиталық жазықтықтар арасындағы қашықтық $31,6^\circ$ -қа тең, бұдан басқа 1-ші және 6 – шы жазықтықтар арасындағы бұрыштық алшақтық 22° . Әрбір ҒА-ты диаметрі 4700 км, ал ауданы шамамен 19 млн. км² болатын қызмет көрсету аймағын қамтиды. Жерсеріктердің қызмет көрсету аймағы бір ҒА-қа 48 ұялы ұяшықтан бөлінеді. Барлық ЖЖС өзара әрекеті арқасында байланыс қызметімен Жер үсті глобалды байланыспен қамтамасыз етіледі.

Орбиталды топтаманың конфигурациясы басқарылатын болып таңдалынған, ол абоненттерге глобалды қызмет көрсетуді эффективті жүзеге асуына мүмкіндік береді. Осындай конфигурациямен берілген жүйе Жер бетін 99,5% уақытта 100%-ке қамтуды қамтамасыз етеді. ҒА арасында жерсеріктік аралық байланыс ұйымдастырылып отыр.

ҒА-та үш топты антенна орналасқан:

- алты фазаланған антенналық тор, 1616-1626,5 МГц диапазонда қабылдап таратуда 48 үшкір парциалды сәулелерді қалыптастырады;

- 19,4 – 19,6 ГГц және 29,1-29,3 ГГц диапазонда түйінdestіру станцияларында байланыс ұйымдастыру үшін төрт антенна бар;

- 23,18 – 23,38 ГГц диапазонында жерсерік аралық байланыс үшін төрт толқынжол – саңылаулы антенна бар.

ФАТА (Фазаланған антенналық тор түріндегі антенна) бағытталу диаграммасы программалық әдіспен беріледі, ол әр сәуленің көрсеткішін тәуелсіз түрде өзгертуге мүмкіндік береді. Бұл көршілес ҒА-тың аймақты қайта қамтып қалуынан құтылуға мүмкіндік береді, әсіресе олардың полюс жаққа ығысуы кезінде.

Қызмет көрсету түрлері. Iridium жүйелері абоненттерге келесідей қызмет түрлерін көрсетеді:

- Сөйлесу (сөз) байланысы. Сөйлесу (сөз) кодерінде VSELP (vector-sum excited linear prediction) сызықтық алгоритм қолданылады. Сөзді тарату жылдамдығы 2,4 кбит/с.

Сөйлесу ұзақтылығы 30 с. (байланыс үзіліссіз болғанда) 98% ықтималдықпен қамтамасыз етіледі. Байланыс орнату

уақыты жерүстілік ұялы байланыс абоненттері арасында байланыс орнату уақытына ұқсас және 2 с-тан аспайды.

Халықаралық байланыс кезінде сигналдың максималды кешігуі –90% шақырулар үшін 410 мс, ал жергілікті және аймақтық байланыс үшін – орташа мәні 240 мс.

- Мәліметтерді тарату. Тарату жылдамдығы 2,4 кбит/с болатын және айнымалы ұзындықты хабарды ашық тарату жүзеге асырылады.

- Факсимильді хабар. Факсимильді хабарлармен алмасу 2,4 кбит/с жылдамдықпен жүзеге асырылады.

- Орналасқан орнын анықтау. Оның негізінде нақты және сигналдың келуінің күтілетін уақыты аралығындағы айырмашылықты өлшеу жатыр. Осы параметрлерді және жерсерік орбиталарының эфемеридтерін ескеру қашықтық пен уақытты бағалауға мүмкіндік береді (мұнда *эфемеридтер* сөзі – жылдың белгілі күндеріндегі жерсеріктерінің орындарының алдын ала есептелген астрономиялық кестелері). Содан кейін интеративті (қайталанатын) процедура көмегімен дифференциалдық теңдеу жүйесі шешіледі. Өлшеудің бір ретті процедурасы кезінде орналасқан орнын анықтау 1,6 км-ден аспайды, бірақ ұзақ өлшеу жүргізгенде дәлдік тура болып шығуы мүмкін. Егер де орналасқан орнын өте жоғары дәлдікте анықтау керек болған жағдайда (шамамен 100 м), ішкі GPS қабылдағышы бар абоненттік станцияны пайдалану қажет.

Iridium-да жерсерік аралық жолдарының болуы көп санды түйінdestіру станцияларын (ТС) талап етпейді. Бірінші этапта 20 ТС жайғастыру, соның ішінде АҚШ пен Ресейде әрқайсысында екеуден жоспарланып отыр.

Радиожолдың негізгі сипаттамалары. Indium жүйесінде абоненттік, фидерлі және жерсерік аралық байланыс жолы, сонымен қатар команда-телеметрлік хабар алмасу үшін арналған арна ұйымдастырылып отыр.

Абоненттік радиожол. Indium-да қозғалмалы абоненттердің байланысы үшін L-диапазон (1610-1626,5 МГц) бөлінген. 1610-нан 1616 МГц-ке дейін жиілік жолағында бірінші болып ресейлік жүйе «Глонасс» жұмыс істейтінін ескерсек (24 жерсерігі, әрқайсысының 562,5 кГц-

ке тең жеке жиілік тасымалдаушысы бар), ал 1610,5-1613,5 МГц жиілік жолағы радиоастрономиялық қызмет үшін бөлінген, онда көрсетілген спектр бөліктерін пайдалануға болмайды. Осыны ескере отырып Indium жүйесінде 1616-1626,5 МГц жиілік диапазоны таңдалған.

1.3-кесте

Жол типі	Абоненттік жол		Фидерлі жол		ЖСАЖ
Байланыс бағыты	"жоғары"	"төмен"	"жоғары"	"төмен"	ҒА-ҒА
Жиілік диапазоны, ГГц	1,616-1,6255	1,616-1,6255	29,1-29,3	19,4-19,6	23,18-23,38
Арна саны	64(9)	29(4)	6	6	8
Жолдағы тарату жылдамдығы, кбит/с	180	400	12500		25000
ЭИИК, дБВт	8,45	24,5	68	14,5-27,5	37,9
G/T, дБ/К	-4,4	-23,8	-1,0	-24,5	5,3-тен 7,0-ке

Абоненттік радиожол дуплексті режимде жұмыс істейді. Модуляция әдісі – QPSK. Абоненттік, фидерлік және жерсерік аралық жолдың (ЖСАЖ) негізгі сипаттамалары 1.3- кестеде көрсетілген.

Фидерлік жол. Фидерлік жол бойынша ҒА және түйіндестіру станциялары (ТС) арасындағы байланысты K_a жиілік диапазонында жүзеге асыру ұйымдастырылып отыр. Iridium-ның әрбір ҒА-сы дуплексті режимде екі байланыс жолы бойынша бір уақытта жұмыс істеуді қамтамасыз етеді (екі ТС-мен немесе ҒА басқару станцияларымен), оның әрқайсысында тарату 6 арна бойынша жүзеге асырылады. Фидерлі жолдағы ақпаратты тарату жылдамдығы – 12,5 Мбит/с. Арна арасындағы жиілік бойынша алшақтық 15 МГц-ке тең.

«ҒА-ТС» жолының өткізгіштік қабілеті 1300 дуплекстік арнаны құрайды.

Жерсеріктік аралық жолдар. Iridium-дағы жерсеріктік аралық байланыс K_a жиілік диапазонында (23,18-23,38 ГГц) ұйымдастырылады. Жиіліктер жоспары, арналар арасындағы өзара бөгеуліктерді болдырмау үшін 200 МГц жолағында 8 жеке жиіліктік жолақтарды орналастыруды қарастырады. «FA-FA» байланыс жолындағы ақпаратты тарату жылдамдығы 25 Мбит/с құрайды. Жиіліктік арналар арасындағы алшақтық – 25 МГц-ке тең.

Байланысты ұйымдастыру. Iridium желісіндегі абоненттер арасындағы байланыс түйіндістіру станциясы арқылы жүзеге асырылады. Алдымен пайдаланушы жақын географиялық аймақта орналасқан бір ТС-да тіркеледі. Iridium жүйесіндегі барлық абоненттердің орналасқан орнын көрсететін дерекқор әрбір ТС-да сақталады, ал жалпыланған дерекқор желіні басқару орталығында сақталады. Егер аймақта жерүстілік радиотелефондық байланыстың ұялы жүйесі жоқ болса, онда Iridium радиотелефонды терминалға жақын арадағы FA-ға тікелей байланысады, содан кейін керекті абонентпен немесе басқа ТС-мен. Iridium-да жерсерік аралық жолдың болуы ТС-дың бір уақытта бірнеше FA-тың радиокөріну аймағында болуын талап етпейді. Радиотелефондық терминал жұмысты екі режимде қамтамасыз етеді: Iridium желісі режимінде және (GSM, AMPS және т. б.) стандартты ұялы байланыс режимінде.

Түйіндістіру (шлюздік) станциясы (GW). Iridium жүйесінде түйіндістіру станциялары пайдаланушылардың жүйеге қатынасын ұйымдастыруға және ортақ пайдаланудағы жерүстілік коммутаторлық телефондық желісімен қосылуды қамтамасыз етуге арналған. ОПТФ-пен түйіндістіру станциясының өзара әрекеттесуі әрбір мемлекетте немесе аймақта ұлттық нөмірлеу жүйесімен және сигнализация түрімен жүзеге асады.

1.6. CDMA GLOBALSTAR жерсеріктік жүйесі

Globalstar – төменгі орбиталды спутниктерді қолдануға негізделген ғаламдық персоналды байланыстың цифрлық жүйесі. Globalstar жүйесін жасаған кезде QUALCOM фирмасының арналарды кодтық бөлінуі бар ұялы байланыс жүйесінің үлгісі алынған. Globalstar сөздің, деректердің факсимильді тарату, қозғалып тұратын объектілердің координаталарын анықтау

қызметтерін орындайды. Айта кететін бір жайт, бұл жүйе тек қана ұялы байланыс абоненттеріне ғана емес, сонымен қатар қарапайым байланыс абоненттеріне арналған.

Жүйенің құрамы мен құрылымы. Байланыс құрмас бұрын Globalstar-дың ұялы терминалы алдымен жерүсті ұялы байланыс желісімен жұмыс істеу мүмкіндігін қарастырады, ол мүмкін болмаған жағдайда ғана жерсерігі арқылы байланыс құрады. Бұл жағдайда абоненттік терминалдан (пайдаланушының телефон аппараты) сигнал жерсерігі арқылы жақын арадағы жер станциясына жеткізіледі. Жер станциясы оны керек абонентпен қарапайым телефон желісі, ұялы желі арқылы байланыстырады. Оның жұмыс істеу принципі 8.18-суретте көрсетілген.

Globalstar жүйесі келесі сегменттерден тұрады:

- ғарыштық сегмент;
- абоненттер сегменті;
- жер сегменті;
- құрлықтық желі сегменті.

Жерсеріктері орбитасы 70° оңтүстік ендікте және 70° солтүстік ендікте орналасқан аймақта максималды ықтималдылықпен байланыс қатынасын қамтамасыз етеді. Қызмет көрсету басқа да жоғары ендікте де болады, бірақ кішкене ықтималдықпен.

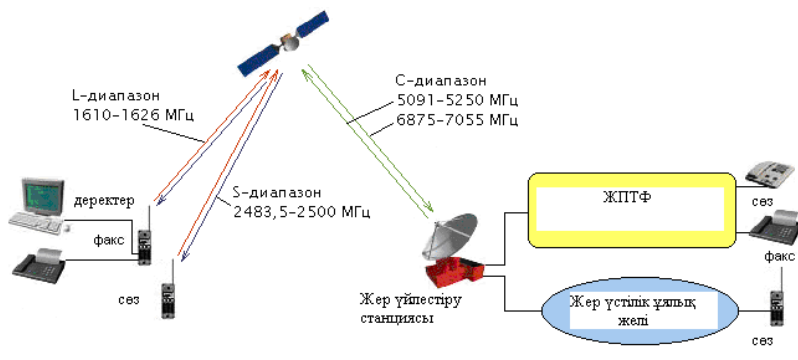
Ғарыштық сегмент жүйесі жер бетінен 1410 км биіктікте жерүстілік орбиталарда орналасқан 48 жерсерігінен және 8 резервті жерсеріктерінен тұрады. Осы жерсеріктерінің аз дегенде төртеуі бір мезгілде Қазақстанды толық қамтып, оның аумағына қызмет көрсетеді. Қазақстан территориясындағы Globalstar эксклюзивті операторы Paladin Telecom компаниясы болып отыр.

Төменгі орбиталардағы аппаратура ұялы телефондардың қуатымен салыстырғанда портативті терминалдардың төменгі деңгейіндегі қуатымен жұмыс істей алады. Жасанды жер серігінің қызмет ету мерзімі үлкен – 7,5 жыл.

Жасанды жерсеріктері (ЖЖС) 8 орбиталды жазықтықта, бір-бірінен бірдей қашықтықта алшақтатылған 6 жеке орбиталарда орналасады. Орбитадағы жерсеріктің айналу периоды 114 минут. Жер бетіндегі қызмет көрсету аймағындағы кез келген нүктедегі пайдаланушылар терминалы 16 сәулелі

бағытталған диаграммасы бар жерсеріктік антеннасының сәулесімен, жерсерігі осы нүктенің үстінен өткенде сәулеленеді.

Орбиталы жазықтықтың еңкею бұрышы 52° -ты құрайды. Қамту аймағы келесі әдіспен ықшамдалынады, бірдей ендік үшін пайдаланушы терминалының көріну аймағында кем дегенде екі жерсерігі болады, осының арқасында қызмет көрсетудің көптеген аймағында сәулелік тарату қамтамасыз етіледі. 60° мәнінен асатын ендік үшін және экватор аймағындағы кішкентай аймақты қамту бірнеше жерсеріктермен қамтамасыз ету мүмкін емес.



1.15-сурет. Globalstar жүйесінің құрылымы

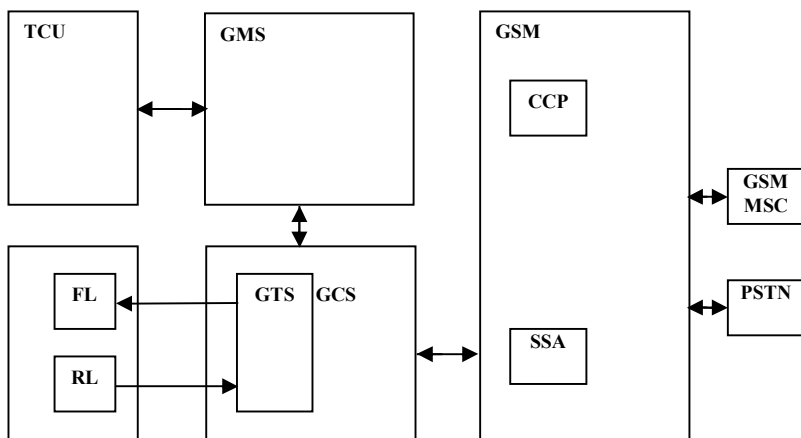
Globalstar жерсерігі жиілікті тасымалдауы бар сигналдың активті ретрансляторы болып табылады. Таратудың тура бағытында ол (GW) түйіндістіру станциясынан С диапазонында (5090 МГц-тен 5250 МГц-ке дейін) сигналдарды қабылдауды жүзеге асырады, оларды сәйкесті S диапазон сәулеленуіне (жиілік жолағы 2483,5 МГц-тен 2500 МГц-ке дейін) тасымалдануы болады және осы диапазонда кеңістікте алшақтатылған 16 сәулемен абоненттерге таратылады. Кері бағытта қабылдап тарату абоненттік құрылғылардан L (жиілік жолағы 1610 МГц-тен 1626,5 МГц-ке дейін) диапазонында кеңістікте алшақтатылған 16 сәулемен ол сигналдарды қабылдауды жүзеге асырып, оларды S (жолақ 6875.95 МГц-тен 7052,9 МГц-ке дейін) диапазонына тасымалдап және осы диапазонда түйіндістіру станциясына (GW) қарай осы сигналдарды

сәулелендіріп жібереді. Құрлық желілеріне шлюздер Globalstar жүйесінің бөлігі болып табылмайды, жерсеріктік антенналардың арнайы жерүстілік сәулелермен сәулелендіріледі. Бұл шлюздер пайдаланушылар терминалын құрлықтық желімен байланыспен қамтамасыз етеді. GW (Globalstar Gateway) – Globalstar жүйесінің түйіндістіру станциясы (шлюз) Globalstar жүйесінің абонентінен немесе оның абонентіне қосуды орнату үшін тапсырыс қабылдайды және оның орындалуын қамтамасыз етеді.

Абоненттер терминалы. Қазіргі уақытта абоненттерге терминалдардың бірнеше типтері ұсынылып отыр. Портативті құрылғылар, автомобильдер үшін құрылғылар және бекітілген байланысқа арналған станциялар бар.

Автомобильдік терминалдарға мыналар жатады:

- қолға ұстап тұруды қажет етпейтін бірге орналастырылған микрофон және дауыс күшейткіш;



1.16-сурет. Шлюз құрылғысының қарапайымдалған блок-сұлбасы:
 TCU – Telemetry & Command Unit (Командалық блок және телеметрия);
 GRS – RF Gateway System (Шлюздің радиожүйесі); GTS – Gateway Transceiver System (Шлюздің қабылдап-тарату жүйесі); GMS – Gateway Management System (Шлюздің басқару жүйесі); GCS – Gateway CDMA System (CDMA шлюзінің жүйесі); GSS – Gateway Switching System (Шлюздің коммутациялау жүйесі);
 FL – Forward Link (Түра жол); RL – Reverse Link (Кері жол)

- автомобильдің шатырында орналасқан антеннасы бар сыртқы құрылғы;

- қорек көзі блогы автомобильдің аккумуляторына қосылған.

Абонент терминалы ең жақсы жерсеріктік пилот-сигналды іздейді. Сондай сигнал табылған кезде, терминал сәйкесті синхронизация арнасына қосылады да, жерсерігінің дерекқорына және басқа қажетті ақпаратқа қол жеткізеді. Бұл дерекқор барлық болашақ шақырулар үшін нақты пилот-сигналдың тез ізделуін қамтамасыз етеді. Өзінен болатын шақыруды абонент қандай да болмасын ұялық аппараттағыдай жүзеге асырады.

Бекітілген байланыс терминалдары стационарлық желі телефондар жүйесіне, таксофондарды және басқа жабдықты қосуды қамтамасыз ете алады.

Абонент терминалы шлюзбен байланысты қатынас арнасы арқылы орналастырады. Содан кейін шақыруға қызмет көрсету үшін және байланысты ұстап тұру үшін шлюз бен терминал өзара бір-бірімен әрекетке түседі.

Түйінdestіру станциялары (шлюздер). Түйінdestіру станциялары (шлюздер) провайдерлердің абоненттік базасын қамту үшін, олармен географиялық түрде бөлініп үлестіріледі.

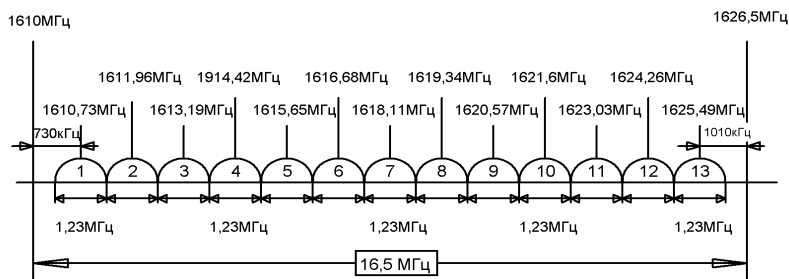
Әдетте шлюздер мынадай әдіспен құрастырылады, автоматты режимде қызмет көрсетуде қызметкерлерсіз жұмыс істеуге. Олардың жабдығы құрамына диаметрі 5,5 м болатын 4 бірдей параболалық антенна және мекемеде немесе контейнер ішінде орналасқан электрондық жабдық кіреді, ол аз шуылдайтын қабылдағыштардан және өте қуатты таратқыштардан тұрады. Шлюздің жұмыс істеу аймағында қауіпсіздік жағдайы сақталуы қарастырылған.

1.16-суретте шлюздің қарапайымдалған құрылымдық сұлбасы көрсетілген.

Шлюз сөзді таратуға, деректерді беруге және іздеу шақыруларын таратуға арналған. Сонымен қатар, абонент терминалының орналасқан орнын анықтау функциясы да бар.

Ішкіжүйелік GDMА (CS – CDMA Subsystem) нақты уақытта әр физикалық жолдың толықтығын сақтай отырып және GRS жағынан CDMA сигналын және GSS жағынан ОПТФ сигналын форматтау құрылғыларының аралығында физикалық

қабаттың физикалық форматтары үйлесуін орындай отырып, жеке шақыруларды өңдеуді жүзеге асырады.



1.17-сурет. L-диапазонының жиілік арнасы

Сигналдардың тіректік жиіліктерін қалыптастыру және синхронизация құрылғысы (TFU – Time and Frequency Unit) CS және GRS тактылық және жиілікті синхронизациясы үшін жоғары стабилді тіректік тербеліс көзі болып табылады. TFU сигналы глобалды орнын анықтау (позициялау) (GPS) жүйе сигналдарымен синхрондалған.

L-диапазон антеннасы 16 сәулені қалыптастырады. Бірінші сәуле орталықта орналасады, ал қалғаны орталық сәуленің шетінде шеңбер бойынша орналасады.

Мұндай конфигурацияда жерсеріктерінің радиоөрісі Жер бетін толық жақсы қамтиды және L-диапазонында абоненттер таратқыштарында талап етілетін қуаттың шамасын кішірейтуге мүмкіндік береді. Сондықтан жүйе абоненті, Жердің қандай да болмасын нүктесінде бола тұра, қажетті уақыт сәтінде, еркін орналасу орны бар абонентпен жүйенің басқа абонентімен байланыса алады. Бұл, Жердің тек қана 4% -тін қамтитын және бірнеше жүздеген километр шегіндегі шектелген әрекет ету радиусы бар істеп тұрған ұялық радиобайланыс жүйелерінен Globalstar гобальды радиобайланыс жүйесінің басты артықшылығы. Терминалдар көмегімен Globalstar жүйесінің пайдаланушылары істеп тұрған телекоммуникациялық жүйелерге қатынасуға мүмкіндігі бар.

Спектрді эффективті қолдану. 1.17-суретте көрсетілгендей L-диапазонында 16,5 МГц жиілік жолағы ғана қолданылады, осы жиілік жолақтары әрбір 16 сәуледе қайталанып шығады. Атап өтетін жайт, жиілік интерференциясын азайту үшін C-диапазонындағы сәулелер берілген. Globalstarдағы бұл әдіс L-диапазонның және S-диапазонының қолжетімді бөлігін эффективті пайдалануды қамтамасыз етеді. L-диапазонын абонент терминалынан жерсерікке дейінгі жолдағы байланыс үшін қолданады, ал S-диапазоны – жерсеріктен абонент терминалына дейін. Сәулелердің әрқайсысында жиіліктік бөлінуі бар 13 арна ұйымдастырылған.

Доплер эффектісі және доплерлік ауытқу.

Жасанды жерсерігі (ЖЖС) арқылы байланыс ұйымдастырудың ерекшелігі Жер станциясына (ЖС) қарағанда аспанда жерсерігінің қозғалып жүруінен Доплер эффектісінің пайда болуы. Мысалы, V_r деп, ЖЖС- ЖС радиобайланыс жолымен дәл келетін ЖЖС қозғалу жылдамдығы компонентасын белгілейік, және де V_r шамасы ЖЖС мен ЖС арасындағы қашықтық қысқара бастағанда теріс деп есептейік те, осы қашықтық ұзарғанда оң деп алайық. Бұл жағдайда сигнал көзі $\pm V_r$ жылдамдығымен қозғалғанда қабылданатын тербелістер жиілігі f сәулеленетін тербелістер жиілігі f_0 – мен келесі қатынаспен байланысқан

$$f = f_0 (1 \pm V_r/c), \quad (1.3)$$

мұндағы c – жарық жылдамдығы.

Іс жүзінде $V_r/c \ll 1$ шарты орындалады, сондықтан сигнал көзінің қабылдағыш жағына қарай қозғалғанында $f = f_0 (1 + V_r/c)$. Сонда Доплер эффектісінен туындайтын жиілік өзгерісі немесе доплерлік ауытқу Δf_0 келесі өрнектен анықталады:

$$\Delta f_0 = f - f_0 = + V_r/c. \quad (1.4)$$

Доплер эффектісі негізінен эллиптикалық орбиталарды пайдаланатын байланыс жүйелерінде анық білінеді.

Globalstar жүйесі құрылғыларымен (шлюздермен, жерсеріктермен, абоненттер терминалымен) қабылданатын

тасымалдаушы тербелістер жиіліктері белгіленген мәннен өзгешеленеді. Негізгі себебі айтылған Доплер эффектісі.

Доплерлік ауытқу (1.4) формула бойынша есептелініп шығарылады да, құрылғы айырманың орнын толтырады. 1.4-кестеде доплерлік компоненттер мәні көрсетілген.

1.4-кесте

Жиіліктің доплерлік ауытқуының ең үлкен мәндері

Жол	Бағыты	Жиілігі (МГц)	Доплерлік ауытқу (кГц)	Жылдамдық (Гц /с)
Тіке жол жоғары	Шлюзден жерсерігіне	5250	97,2	468,8
Тіке жол төмен	Жерсерігінен пайдаланушы терминалына	2500	46,5	224,3
Кері жол жоғары	Абонент терминалынан жерсерігіне	1626.5	30,2	146,0
Кері жол төмен	Жер серігінен шлюзге	7052,9	131,6	634,9

Байланыс арнасы сипаттамалары. Globalstar жүйесі үшін пайдаланушы терминалы мен жерсерігі арасындағы тура көріну жолы әдетте толығымен жабылмайды, көбінесе сигналдың қосымша әлсіреуі орын алуы болады. Қамту аймағында бір уақытта екі жерсерігі болған кезде бұғаттау немесе көлеңкелеу ықтималдығы бір жерсерікке қарағанда әлдеқайда кішкене.

Жер беті үстінен сигналдың айналық шағылысу компоненті, егер шағылысу аймағында Жер беті жеткілікті тегіс болса, айтарлықтай шамада болуы мүмкін. Бұл компонент портативті антенналарды қолданғанда қосымша қиындықтар тудыруы мүмкін, өйткені шағылысқан сигнал тіке сигналмен бір фазада немесе қарама-қарсы фазада қосылып, қосынды сигналдың деңгейін әжептәуір өзгертуі мүмкін.

Globalstar жүйесінің сигналының ғимаратқа енуінің шектелген мүмкіншіліктері бар. Қабылдау ғимараттың ағаш терезесінен немесе аспанды кең бұрышты бақылауы бар терезесі

жанынан жүргізілуі мүмкін. Ғимарат ішінде терминалдардың жайлы орналасуы үшін қосымша шығындар 6-дан 13 дБ-ге дейін болуы керек. Бұл жағдайда шығын мәндері антенаның орналасқан орнына тәуелді болады. Антенаны сәл ғана 20...30 сантиметрге жылжыту қабылдау сигналының қуатының 30 дБ-ге өзгеруіне әкеледі.

Көпөлшемді кеңістікте пилот-арна сигналын іздеуді Globalstar жүйесінің қабылдағыштары синхронизация режимін қамтамасыз ету үшін орындауы қажет. Пилот-арна түйінdestіру станциясы арқылы үзіліссіз беріледі және когерентті демодуляцияны іске асыруға қажетті тактылық синхронизация үшін, фазалық синхронизация үшін эстафеталық тарату процедурасын іске асырғанда сигнал деңгейін салыстыру және өлшеу үшін осы түйінdestіру станциясының қамту аймағында орналасқан абонент терминалын пайдаланылады. Барлық символдары нөл болатын Уолштың кодтық сөзі пилот-арнаның сигналы болып табылады.

Жолдағы кідіріс барлық тарату жолының маңызды көрсеткіші болып есептеледі. Жерге жақын орбитада орналасқан жерсеріктері, биік синхронды орбитасы бар жерсеріктеріне қарағанда аз кідіріске ие. Кідіріс әр бағытта 150 мс-тан аспайды.

Globalstar жүйесінің абоненті, сәйкесті түрде оның абонент терминалы (АТ) екі түрлі рөл атқарады:

- а) шақырушы (бастаушы) абонент – бұл желіден қызмет сұраушы абонент, яғни ол алғашқы шақыруды жібереді;
- б) шақырылатын (аяқтаушы) абонент – желіден кіріс шақыруды алатын абонент.

Абоненттер арасындағы қосылыстарды ұйымдастыруға қатынасатын түйінdestіру станциялары әртүрлі рөлдер атқаруы мүмкін.

Орнатылатын немесе орнатылуға тиіс қосылысқа қарағанда ТС екі түрін ажыратады:

- 1) бастаушы ТС – бұл шақырушы абонентке қызмет көрсетуші ТС;
- 2) аяқтаушы ТС - бұл шақырылатын абонентке қызмет көрсетуші ТС.

Globalstar жүйесінің нақты абонентіне қарағанда тағы ТС екі түрін бөледі:

3) тіректік ТС – бұл ТС, мұнда абонент тіркелген, қосылыс орнатылғанда абонент тіректік ТС аймағында болуы мүмкін немесе оның сыртында;

4) визиттік ТС – бұл өзінің тіректік ТС шегінен шығып кетіп, осы абонент кіріп кетіп, «визитер» болатын, оған қызмет көрсететін ТС.

Көптеген жағдайда ТС визиттік ТС рөлін атқарады, өйткені тіректік ТС рөлін, жергілікті ұялық желі тіректік станциялары орындайды, онда осы ұялық желінің пайдаланушылары тіркелген, сондықтан олар бір уақытта Globalstar жүйесінің пайдаланушылары болып табылады.

Globalstar жүйесінің негізгі радиотехникалық көрсеткіштері
Жиіліктер диапазоны:

«терминал – жерсерігі» жолында 1610... 1626,5 МГц
«жерсерігі – терминал» жолында 2483,5... 2500 МГц
«жерсерігі - тораптық станция» жолында 6875... 7055 МГц
«тораптық станция – жерсерігі» жолында 5091... 5250 МГц
Бір сәуледегі жиіліктер жолағы ені 16.5 МГц
1,3 МГц жиілік жолағындағы арналар саны 127

Абоненттік терминалмен байланыс бойынша жерсеріктік ретранслятор көрсеткіштері

Абоненттік станциялардың жерсеріктік ретрансляторының қосынды шығыс қуаты (L/S) диапазон 240 Вт

(сәулелер арасында қуатты қайта үлестіріп бөлу мүмкіндігімен)

ЭИСҚ – 2,9 дБВт

(бір арнаға 2.4 кбит/с – қайта есептегенде)

Сапалылығы G/T -10 дБ/К

Антеннаның күшейту коэффициенті K_A 12... 17 дБ

Шуылдық температура 261 К

Ақпараттық арналар саны 118.

1.7. INMARSAT жерсеріктік жүйесі

Бұл ғарыштық аппараттары геостационарлық орбитада орналасқан қозғалмалы жерсеріктік байланыстың жүйелері, екіге бөлінеді. Inmarsat – М жүйесі көбінесе радиотелефондық байланысты қамтамасыз етуге арналған, ал Inmarsat – С жүйесінің басты бағыты төмен жылдамдықпен деректерді тарату.

Inmarsat теңіздік жерсеріктік байланыстың халықаралық ұйымы 1979 жылы құрылған, оның құрамына 79 мемлекет кіреді. Теңіздегі пайдаланушылар үшін жүйені эксплуатациялау 1982 жылы басталған.

Халықаралық келісімге сәйкес жүйені ұйымдастырудың мақсаты теңізде жүзу қауіпсіздігін және теңіздегі адамдар өмірін сақтауды қамтамасыз ету, апаттық жағдайлар туралы хабар тарату, кемелердің теңіздегі орналасуын радио арқылы анықтау, теңіздегі іздеу-құтқару жұмыстарын координациялау, кемелердің жүзу тиімділігін арттыру және коммерциялық теңіздік байланысты ұйымдастыру.

Inmarsat жүйесінің құрамы.

Жүйе құрамына:

- ретрансляторлары бар жұмыстық және қосалқы геостационарлық ГА-дан және командалық - өлшеуші кешеннен (қадағалау жердегі станцияларынан және басқалары) тұратын ғарыштық сегмент;

- жер бетілік сегмент, оған жердегі жағалаулық станциялар (ЖаЖС), координациялайтын желілік станциялар (КЖЕС) және жердегі станциялар мен терминалдардың эксплуатациялық бақылау орталығы – паркі: мобильдік (теңіздегі кемелер, ұшақтар), алып жүретін және стационарлық; терминалдар ұжымдық үшін де, жеке пайдалану үшін де қолданылады.

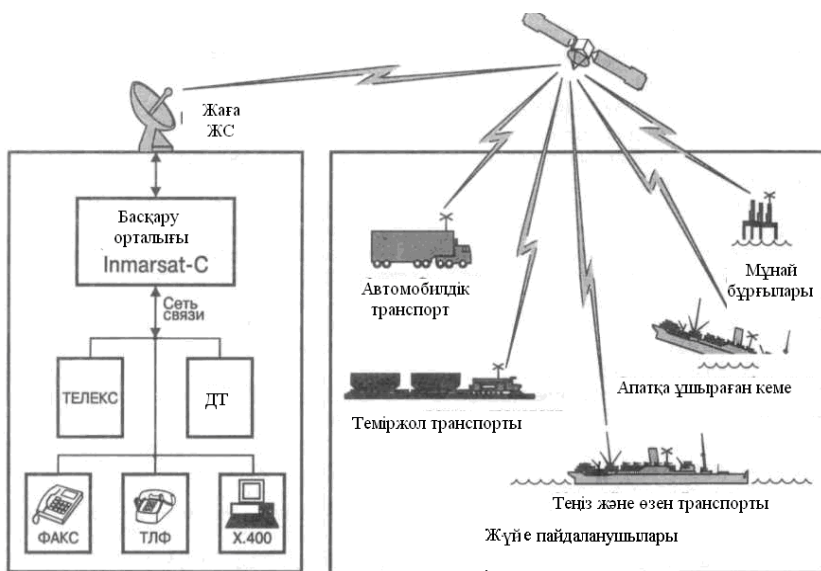
Inmarsat жүйесі жұмысы қозғалмалы жерсеріктік қызмет үшін біріншілік негізде бөлінген жиіліктер диапазонында жүзеге асырылады. Қозғалмалы абоненттермен байланыста L диапазонындағы жиіліктер пайдаланылады: 1626,5 – 1660,5 МГц («Жер – жерсерігі» жолы) және 1525,0 – 1559,0 МГц («жерсерігі-Жер» жолы). Фидерлік жолдардың жұмысы C диапазонында іске асырылады: 6425 – 6450 МГц («Жер – жерсерігі» жолы) және 3600 – 3623 (3600 – 3630) МГц («жерсерігі – Жер жолы»).

Толық масштабты жүйенің жұмысын эксплуатациялық бақылаушы орталық бақылайды.

Жағалық жер станциялары жағалық абоненттер мен Inmarsat жүйесінің жерсеріктері аралығындағы аралық буындарға қызмет көрсетеді, олар халықаралық және ұлттық телефонмен және телеграфтық желімен қосылады. Inmarsat жүйесіндегі объектітермен байланыс тек ЖЖС арқылы ғана

жүзеге асады. Inmarsat жүйесіндегі барлық жағалық станциялар апатқа ұшыраған кемелерге тез арада телефон арқылы немесе телекесті арна арқылы іздеу-құтқару жұмыстарын жүргізеді.

Inmarsat жүйесінің орбиталды топтаманың жүйе ішілік аймағы төрт мұхиттық аймақты қамтиды: Атланттық шығыс (АМР-Ш), Атланттық батыс АМР-Б, Үнді (ҮМР) және Тынық мұхиты (ТМР). Әр мұхиттық аймақта бір жұмыс істейтін және екі қорда тұрған жерсерік болады, ол бүкіл Жер бетін қамтуға мүмкіндік береді, тек полярлық аймақтардан басқасы. 7.5-кестеде Inmarsat жүйесінің ғарыштық сегмент құрамы және ҒА-ты тұру нүктесі келтірілген. 1.18-суретте Inmarsat-C жүйесінің байланыс желісінің құрылымдық сұлбасы көрсетілген. 1.5-кестеде Inmarsat жүйесінің негізгі ғарыштық аппараттары мен ретрансляторлары көрсеткіштері берілген.



1.18-сурет. Inmarsat-C жүйесінің байланыс желісінің құрылымдық сұлбасы

1.5-кесте

Мұхиттық	АМР-Ш	АМР-Б	ҮМР	ТМР
Негізгі ҒА	Inmarsat-2 F4 (55° з.д.)	Inmarsat-2F2 (15,5° з.д.) Marecs B2 (15,2° з.д.)	Inmarsat-2 F1 (64,5° в.д.)	Inmarsat-2 F3 (178° в.д.)
Резервті ҒА	Intelsat MCS-B (50° з.д.)	Intelsat MCS-A (66° в.д.) Marisat F2 (72,5° в.д.)	Intelsat MCS-D (180° в.д.) Marisat F1 (106° з.д.)	Marisat F3 (176,5° в.д.)

1.6-кесте

Жерсерік типі	Inmarsat-2	Inmarsat-3
Жерсеріктік платформа	Eurostar	Satcom 4000
Күн батареясы панелі құлашы, м	15,23	20
ҒА массасы, кг	1200	1900
СЭП қуаты, Вт	120 1200	1 670 (жалпы) 1440 (L)+115 (C)
Сәулелер саны	4 (C диапазон) 1 (L диапазон)	1 г Глобальді (L диап.) 5 жіңішке (L диап.) 2 жіңішке (C диап.) 1 глобальді (GPS/Глонасс)
ЭИСҚ (L диапазон)	39	46
Телефондық арналардың эквивалентті саны	2 50 (кеме- жаға) ж 150 (жаға-кеме)	1000
Қызмет көрсету уақыты, жыл	10	13
ҒА-ның бағасы, млн. долл.	73	80

Жағалық жер станциялары. Қазіргі уақытта Inmarsat жүйесінде 40 жағалық станция функцияланады, олар түрлі мемлекеттерде орналасқан, сонымен қатар ТМД территориясында да (Одесса және Находка). Бұл станциялар Атлант, Үнді, Тынық мұхиттарындағы абоненттерге қызмет көрсетеді.

Әрбір ЖЖС бекітілген тасымалдаушыға ие, ол 22 телеграфтық арнамен тығыздалады. Телефондық арналар нақты станцияларға бекітілмеген, тек «ортақ қолданыста» болады. Жағалық станциялар ұлттық және халықаралық телефондық желіге және телекс байланысына шыға алады.

Жер желісінен алынған хабар бірінші түйіндісі станциясында сақталып, содан кейін шығыс форматтан (телекс, мәлімет т.б.) Inmarsat-C жүйесіндегі таратуға ыңғайлы формаға түрленеді. Авариялық тәрізді приоритетті хабарлар бірнеше секунд ішінде өңделеді.

ҒА-ның пайдалы жүктемесі (ретранслятор) екі жиілік диапазонында жұмыспен қамтамасыз етеді:

- абоненттік жолда L-диапазоны қолданылады: қабылдау (АТ-ҒА жолы) 1626,5-1660,5 МГц жиілік жолағында, тарату (ҒА-АТ жолы) 1525-1559 МГц жиілік жолағында;

- Фидерлі жолда С-диапазоны қолданылады: қабылдау (Шлюз-ҒА жолы) 6425-6725 МГц жиілік жолағында, тарату (ҒА-Шлюз жолы) 3400-3625 МГц жиілік жолағында.

«Thuraya» жерсеріктік байланыс жүйесі.

«Thuraya» мобильді ұялы жерсеріктік байланыстың аймақтық жүйесі ОАЭ-ның тапсырысымен жасалып, сонда тіркеліп, 2001 жылы наурыз айында эксплуатацияға шығарылды және авторлық дилерлер арқылы қызметтерін ұсынады (Қазақстанда «Орбита плюс» ЖШС). Жүйенің ең бірінші жерсерігі орбитаға геостационарлы жақын орбиталды позицияға 44° шығыс ұзақтыққа шығарылды. «Thuraya» жүйесінің жерсерігінің қызмет көрсету аймағы оның қызмет көрсетуінің талабына сай ұшуда өзгеруі мүмкін. Қазіргі уақытта жүйенің қызмет көрсету аймағы Европа, орталық Азия және солтүстік Африка территориясын қамтиды. Жүйе телефондық байланыспен, телефаксті хабармен алмасуды, мәліметтерді және SMS-хаттарды таратуды қамтамасыз етеді.

«Thuraya» жүйесінің ҒА-ның өткізу қабілеттілігі 13750 дуплексті телефондық арнаны құрайды. Толығымен жайылған «Thuraya» жүйесі аз дегенде 1750 мың абоненттерге қызмет көрсете алады.

«Thuraya» жүйесінің құрамына ГСО-дағы бір немесе бірнеше ҒА, жалпы қолданатын байланыс желісі арнасы бар түйіндестіру жерсеріктік арна жүйесімен қамтамасыз ететін, бір немесе бірнеше шлюздік станциялар, сонымен қатар АТ және ҒА-ның ретрансляторларында арналар коммутациясымен басқару, телефондық тұтқа түрінде орындау, сыртқы көрініс, масса және ұялы байланыс тұтқаларының аналогтық параметрлеріне сай габаритті өлшемдер кіреді.

1.8. GPS және ГЛОНАСС жерсеріктік навигация жүйесі

ГЛОНАСС жерсеріктік радионавигациялық жүйенің (ЖРНЖ) негізгі арнауы – жер үстілік қозғалмалы нысандардың глобальді оперативті навигациясы: (құрлықтағы, теңіздегі, ауадағы) және төменгі орбиталды ғарыштық. «Глобальді оперативті навигация» атауы, тұтынушылардың навигациялық аппаратурасымен (ТНА) жабдықталған қозғалмалы нысан, кез келген жер үсті кеңістігінде кез келген уақытта өзінің қозғалыс параметрлерін – үш координатаны және жылдамдық векторының үш құрастырушысын анықтай (дәлдей) алады. ГЛОНАСС-та жер бетінен 20000 км биіктіктегі шеңберлік геостационарлық орбитада орналасқан навигациялық ғарыштық аппараттар (НҒА) қолданылады. НҒА-да атомдық жиілік стандарттарындағы (АЖС) борттық уақыт және жиілік эталондарын (БУЖЭ) қолданудың арқасында жүйеде НҒА орбиталы топтамасынан сәулеленіп шығатын навигациялық радиосигналдардың өзара синхронизациясы қамтамасыз етіледі. Қозғалмалы нысандағы тұтынушылардың навигациялық аппаратураларында (ТНА) навигация сеансында кем дегенде төрт НҒА-дан радиосигналдар қабылданады, бұл сәйкесті псевдоқашықтықтарды (ПҚ) және псевдожылдамдықтарды (ПЖ) анықтауға мүмкіндік береді.

Әрбір навигациялық ғарыштық аппараттан қабылданған өлшеулер нәтижесі және эфемеридті ақпарат (ЭА), қозғалмалы нысанның үш координатасын және жылдамдық векторының үш құрастырушысын, сондай-ақ нысанның уақыт шкаласының (УШ) жүйенің уақыт шкаласына қарағандағы ығысуын анықтауға мүмкіндік береді. ЖСНЖ ГЛОНАСС радионавигациялық өрісі негізгі функцияларымен (жерүстілік қозғалмалы нысандардың глобалды оперативті навигациясы) қатар:

- стационарлық жердегі түзетуші (коррекция жасайтын) станциялар мен НҒА-ты пайдаланумен навигацияның дифференциалдық әдістері негізінде жердегі қозғалмалы нысандардың жергілікті (локальды) жоғары дәлдікті навигациясын;
- қашықтағы жер нысандарының жоғары дәлдікті өзара геодезиялық «байлануын»;
- қашықтағы жер нысандарындағы уақыт пен жиілік стандарттарын өзара синхронизациялау;
- төменгі және орта орбиталды ғарыштық нысандардың оперативті емес автономды навигациясын;
- нысанда алшақтатылған антенналар қабылдайтын навигациялық радиосигналдардың көмегімен радиоинтерферометрлік өлшеулер негізінде нысан бағдар-бағытын анықтауға мүмкіндік береді.

ЖСНЖ ГЛОНАСС өзі үш сегменттен тұрады:

- орбиталды топтамасы (ОТ) НҒА бар ғарыштық сегмент;
- басқару сегменті- орбиталды топтамалы НҒА-ды жердегі басқару кешені (ЖБК);
- ПАП сегменті – пайдаланушылар аппаратурасы.

Ғарыштық сегмент. Орбиталды топтама. ГЛОНАСС-та толық орбиталды топтама (ОТ) үш орбиталды кеңістікте әрқайсысында сегіз НҒА-дан тұратын, еңкіштігі $i=64,8^\circ$ болатын шеңберлік орбитада 24 штатты НҒА-дан тұрады. Үш орбиталды кеңістіктің шығатын түйіндері бойлықтары 120° -қа ажыратылады. НҒА-ның номиналды айналу периоды $T=11$ сағ 15 мин 44 с-қа тең және Жер бетінен шеңберлі орбитаның номиналды биіктігі 19100 км. Әр орбиталды кеңістікте сегіз НҒА ендік аргументі бойынша әр 45° сайын алшақтатылған

және сегіз НҒА-тың ендік аргументтері үш орбиталды кеңістікте $\pm 15^\circ$ -қа жылжытылған.

GPS жүйесінде орбиталды топтаманың (ОТ) алты орбиталды кеңістікте (әрқайсысында төрт НҒА-дан) еңкіштігі $i=55^\circ$ -қа тең болатын (жер бетінен орбиталар биіктігі 20000 км), айналу периоды $T \approx 12$ сағ 00 мин болатын шеңберлік синхронды орбитада 24 штатты НҒА бар, ал олардың шығатын түйіндері ендіктері 60° -қа тең номиналды аралықпен ығысқан.

Басқару сегменті, есептеуіш орталықпен біріктірілген басты станциядан; өзара байланыс арналарымен және басты станциямен байланысқан бақылау-өлшеуіш станция (БӨС) топтамасынан; жердегі жиілік және уақыт эталонынан тұрады. БӨС көріну аймағының үстінен НҒА ұшқан кезде, ол жерсерікті бақылауды жүзеге асырады, навигациялық сигналдарды қабылдайды, ақпаратты біріншілік өңдеуден өткізеді және басты станциямен мәліметтерімен алмасады. Басты станцияда барлық БӨС-дан ақпарат жинақталады, НҒА борттық ЭЕМ-да оның математикалық өңдеуі және әртүрлі координаталық пен түзетуші мәліметтердің есептелуі жүргізіледі. Жердегі уақыт пен жиілік эталонының борттағы эталондарға қарағанда өте жоғары дәлдігі бар, сондықтан ол жерсеріктік навигациялық жүйеде (ЖНЖ) болатын барлық процестерді синхрондауға және борттық эталондарды түзетіп отыруға арналған.

Жер сегменті келесі операцияларды жүзеге асырады:

- жерсерік орбиталарын болжау үшін траекториялық өлшеулер;
- жүйелік шкалаға қарағанда борттық уақыт шкаласының алшақтауын анықтау үшін уақыттық өлшеулер және борттық шкалаларды синхронизациялау;
- телеметриялық ақпарат негізінде НҒА-ның борттық жүйе жұмысын бақылау;
- НҒА-дағы навигациялық мәліметтердің мазмұнын бақылау;
- радионавигациялық өріс сипаттамаларын қадағалау;
- эфемеридтерді (болжанған орбиталар параметрлері және одан туындайтын мәселелер эфемеридтер деп аталады), альманахты (көрінетін НҒА-тарды іздегенде қолданылатын дөрекілеу эфемеридтерді ескергендегі ЖСЖ-ның ағымдағы

күйі туралы мәліметтер жиынтығы және оптималды шокжұлдызды таңдаулар) және уақыттық түзетулерді қоса отырып, жерсерігіне қызметтік ақпарат массивін қалыптастыру және жүктемелеу.

Тұтынушылық жабдықтың арналуына қарамастан, онда радиожиилікті тракт болады, ол НҒА радиосигналдарын қабылдауды және оларды біріншілік өңдеуді іске асырады және сигналды екінші рет өңдеуге, навигациялық ақпаратты бөліп алуға, кеңістіктік координаттары мен тұтынушы жылдамдығын векторын есептеуге арналған есептеуіш бар. Әдетте НҒА-ның ағымдық координаттарымен оларға дейінгі қашықтықтар анықталады, содан кейін тұтынушының географиялық координаталары есептеледі. Тұтынушы векторының жылдамдығы, белгілі жерсеріктерінің жылдамдықтарының векторларында, НҒА жиілігінің доплерлік ығысуларын өлшеу арқылы анықталады. GPS жүйесі өте кең таралғандықтан, іс жүзінде ГЛОНАСС-тың барлық қабылдағыштары да GPS-тің сигналдарын қабылдайды.

Навигациялық ғарыштық аппарат. НҒА негізін диаметрі 1,350 м болатын цилиндрлі гермоконтейнер құрайды, оның ішінде арнайы аппаратура мен қызметтік жүйелер орналастырылған. Шығарылған (ашылған) магнитометр штангысын қосқанда гермоконтейнер ұзындығы 7,840 м-ге жетеді. Барлық ішкі жүйелер күн батареяларынан қоректенеді, олардың ашылған кездегі ені 7,230 м болады. НҒА жалпы массасы 1445 (1487) кг, ал ішкі конструкцияның массасы бар болғаны 237 кг.

НҒА жүйесінің ішіне кіретіндер:

- борттық навигациялық таратқыш (БНТ), хронизатор (БХ) (сағат), басқару кешені (ББК), май құю және гермоконтейнер ортасында көрсеткіштерін қамтамасыз ету жабдықтары;

- бағыт-бағдарлау және стабилизация (СБ), коррекция, электр қоректендіру көзі (ЭҚК), термореттеу жүйелері (ТРЖ);

- конструкция элементтері және кабельдік желі.

Орбитадағы активті өміршеңдік мерзімі 5 (7) жыл.

НҒА аппаратурасы келесі функцияларды орындауға арналған:

Сипаттамаларының өз-өзінен әдейі нашарлануысыз дециметрлік толқын диапазонында жоғары дәлдікті және стандартты жоғары орбиталды навигациялық сигналдарды сәулелендіріп шығару.

Навигациялық радиосигналдардың құрылымы. ГЛОНАСС жүйесінде орбиталды топтамада әрбір НҒА екі 1600 МГц (L1) және 1250 МГц (L2) жиілік диапазоныда шуыл тәрізді үзіліссіз навигациялық радиосигналдарды сәулелендіріп шығарады. Әрбір НҒА-да жиіліктің цезилі атомды стандарты (ЖЦАС) бар, ол борттық шкаланы (БШ) және жиіліктері 1600 МГц және 1250 МГц навигациялық радиосигналдарды қалыптастыру үшін қолданылады.

Навигациялық аппаратта (НАП) навигация сеансында тасымалдаушы жиіліктің доплерлік ығысуын ескере отырып, болжанатын мән маңайынан еңсіз жолақта (1 кГц) әрбір қабылданатын навигациялық радиосигналдың тасымалдаушы жиілігін іздеуді жүзеге асырады. Жердегі нысандардағы НАП-тағы доплерлік ығысудың максималды мәні ± 5 кГц, ал төменгі орбиталардағы ғарыштық нысандардағы НАП-та ± 40 кГц. Сондықтан ғарыштық нысандағы НАП-та радиокөріну аймағында болатын НҒА-дан навигациялық радио-сигналдардың эффективті доплерлік іріктелуін жүзеге асырады.

1600 МГц навигациялық (L1) радиосигнал – екі компонентті. Радиотаратқышта берілген тасымалдаушы жиілікте қуаты бойынша бірдей екі шуыл тәрізді, фазалыманипуляцияланған навигациялық радиосигнал «квадратурада» (фаза бойынша өзара ығысу $\pm 90^\circ$) қалыптасады: тар жолақты (стандартты дәлдікпен, СД) және кең жолақты (жоғары дәлдікті, ЖД).

Тар жолақты 1600 МГц навигациялық радиосигнал навигациялық радиосигнал, 2 үш екілік сигналдарды: псевдокездейсоқ реттілік 1 (ПКР1) модуляциялаушы реттіліктің көмегімен 180° -та тасымалдаушы тербеліс фазасының манипуляциясымен қалыптасады, ол үш екілік сигналдардың модулі 2 бойынша қосылуын қалыптастырады:

- 511 кбит/с жылдамдықпен берілетін ұзақ өлшемді кодының псевдокездейсоқ реттілігі;
- 50 бит/с жылдамдықпен берілетін навигациялық мәліметтің цифрлық ақпараты (ЦА) сигналы;
- 100 бит/с жылдамдықпен берілетін меандрлық тербеліс.

1600 МГц кең жолақты радиосигнал $F_2 = 5,11$ МГц тактылық жиілікті периоды екілік реттілікпен ПКР2

тасымалдаушы тербеліс фазасын 180° -қа манипуляциялау көмегімен қалыптастырылады. ПКР2-ті инвертирлеу арқылы ұзақтылығы 20 мс ЦА екілік символдары беріледі.

НҒА бірінші модификациямен сәулеленетін 1250 МГц навигациялық (L2) радиосигнал, біркомпонентті кеңжақты шуыл тәрізді радиосигнал, инвертирлемей, яғни цифрлық ақпаратты таратусыз, 180° -та периодты екілік реттіліктің ПКР2 ($F_2=5,11$ МГц), тасымалдаушы тербеліс фазасының манипуляциясымен қалыптасады. НҒА екінші модификациямен сәулеленетін 1250 МГц навигациялық L2 радиосигнал, квадратурада қуат бойынша екі бірдей шуыл тәрізді радиосигналдан тұрады: 1) ПКР1-ті ($F_1=0,511$ МГц, $T_1=1$ мс) 1250 МГц тар жолақты навигациялық радиосигнал; 2) 1250МГц кең жолақты навигациялық радиосигнал, ПКР2-ті ($F_1=5,11$ МГц) цифрлық ақпаратсыз.

НҒА көкжиек үстінен шыққан сәттен $\tau_{шы}$ бастап, батқан сәтке $\tau_{ба}$ дейін бақыланатын аспан аймағы, көріну аймағы деп аталады.

1.7-кестеде ГЛОНАСС, GPS NAVSTAR толық көрсеткіштері берілген.

1.7-кесте

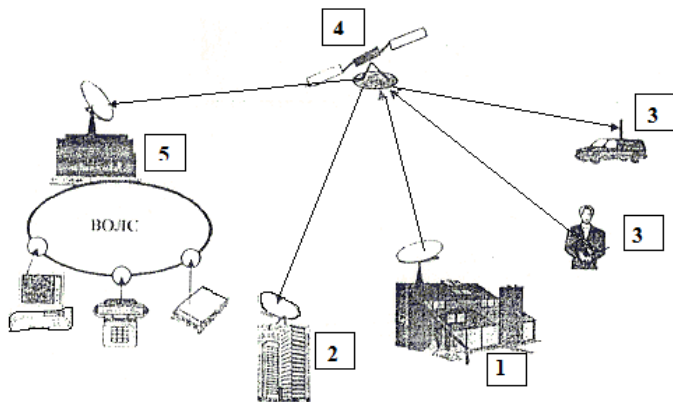
Көрсеткіш	ГЛОНАСС	GPS NAVSTAR
Толық жүйедегі НҒА саны	24	24
Орбиталы жазықтық саны	3	6
Әрбір жазықтықтағы НҒА саны	8	4
Орбитаның еңкеюі, $^\circ$ С	64,8	55
Орбита биіктігі, км	19130	20180
НҒА-ның айналу периоды	11 сағ. 15 мин. 44 сек	11 сағ. 58 мин. 00 сек
Жүйе координаты	ПЗ-90	WGS-84
НҒА массасы, кг	1450	1055
Күн батареяларының қуаты, Вт	1250	450
Активті өмір сүру уақыты, жыл	3	1

1.7-кестенің жалғасы

Көрсеткіш	ГЛОНАСС	GPS NAVSTAR
Орбитаға шығару жабдығы	Протон-К/ДМ	Delta 2
НҒА бір рет ұшырылатын саны	3	1
Космодром	Байқоңыр	Канаверал мүйісі
Эталонды уақыт	UTS(SU)	UTS(NO)
Қатынас әдісі	FDMA	CDMA
	Тасымалдаушы жиілік	
L1	1598,0625-1604,25	1575,42
L2	7/9 L1	60/77 L1
Бөліну поляризациясы	Оң жақты	Оң жақты
ПСП типі	М-жүйелілік	Голда коды
	Код элементтерінің саны	
C/A	511	1023
P	511000	2,35 x 1014
	Код жылдамдығы Мбит Мбит/с	
C/A	0,511	1,023
P	5,11	10,23
Жүйе ішілік бөгеулік деңгейі, - де дБ	-48	-21,6
	Навигациялық хабар құрылымы	
Тарату жылдамдығы,бит/с	50	50
Модуляция түрі	BPSK (Манчестер)	BPSK NRZ
Суперкадр ұзындығы,мин	2,5(5 кадр)	12,5(25 кадр)
Кадр ұзындығы,с	30(15 жол)	30 (5 жол)
Жол ұзындығы,с	2	6

1.9. Қолданыстағы ғарыштық радиобайланыс түрлері

2006 жылдары жер жүзінде 50-ден астам жерсеріктік-ғарыштық радиобайланыс жүйелері жұмыс істеп тұрды. Осындай бір жүйенің құрылымдық сұлбасы 1.19 -суретте көрсетілген. Жүйе құрамына орталық басқару торабы - 1, пайдаланудың ұжымдық 2 және дербес 3 абоненттік терминалдары, жер серіктік ретранслятор 4, қосылған көптеген пайдаланушылары бар талшықты – оптикалық байланыс жүйесіне (ТОБЖ) қызмет көрсететін телепорт 5 кіреді.



1.19-сурет. Жерсеріктік-ғарыштық радиобайланыс жүйесінің құрылымдық сұлбасы

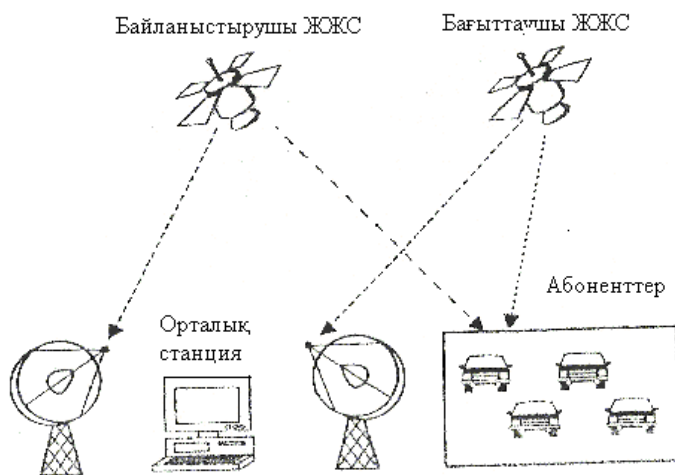
Жүйедегі радиобайланысты ұйымдастырудың жалпы сұлбасы мынадай. Абоненттік терминалдан келген радиосигнал жерсерігіне қарай f_1 жиілігінде сәулелендіріп жіберіледі. Қабылданған радиосигнал ретранслятормен күшейтіліп,

f_2 жиілігінде көп сәулелі антеннамен Жер үстіне мәлімет арналған абонент жағына қарай сәулелендіріп жіберіледі. Жүйеде әртүрлі жиіліктерде көптеген абоненттердің - бірнеше мыңдаған, бір уақыттағы радиобайланысы жүзеге асырылады. Сөйтіп ғарыштық радиобайланыс жүйелерінде пайдаланылатын аса жоғары жиілікті (АЖЖ) диапазондағы радиотолқындар (көп жағдайда 1,5...14 ГГц жиілік шектеріндегі) ешқандай кедергісіз ионосфераны тесіп өтіп Жер бетіне сәулеленіп түсіп жатады.

Осы жерсеріктік ғарыштық байланыстың тағы басқа қолданылатын түрлерін қарастырайық.

Бір немесе бірнеше құрылықтар шегіндегі геостационарлық жер серігін қолданумен жүктерді транспорттық тасымалдауға қызмет көрсетудің ғарыштық радиобайланыс жүйесі.

Жүйе екі сегменттен тұрады: ғарыштық және жер бетіндегі. Ғарыштық сегментте байланыстық және навигациялық жерсеріктері бар. Жердегі сегментке орталық станция, байланыстың диспетчерлік пункттері және бірнеше он мыңдаған мобильді абоненттер – транспорттық жабдықтар кіреді. Жүйе жүргізушінің диспетчермен екі жақты мәтінді ақпаратпен алмасуға және автокөліктің жүріп бара жатқан жолындағы орнын қадағалап анықтауға мүмкіндік береді. Осындай жүйенің EUTELTRACS аталатын біреуі Солтүстік Африка, Таяу Шығыс пен Европаны, соның ішінде Россияның еуропалық бөлігін қамтиды. Жүйенің күрделенген құрылымдық сұлбасы 1.20-суретте берілген.



1.20-сурет. Жүктерді көліктік тасымалдауға қызмет көрсетудің ғарыштық радиобайланыс жүйесі

Желідегі барлық ақпараттық ағын орталық станцияда тоғысады, оның жанында, барлық қабылданған мәліметтерге талдау жасайтын және абонентпен тікелей байланыс орнатуға

рұқсат беретін маршруттау станциясы орналасқан. Осыдан басқа, желіде абонентпен тікелей байланыс орнататын бірнеше диспетчерлік пункттер бар.

Жүйенің негізгі техникалық сипаттамалары:

- жерсерігі орбитасы түрі – геостационарлық;
- жерсеріктері саны – 2 (радиобайланыстық және навигациялық
- бағандар саны – екеуі радиобайланысқа және біреуі

навигация үшін;

- орталық станция – жерсерігі жолындағы жиілік диапазоны – 14/11 ГГц;

- тарату жылдамдығы – 5... 15кбит/сек.

Автокөлікте орнатылатын абоненттік терминалдың келесідей көрсеткіштері бар: таратқыш қуаты – 1 Вт, ЭИСК – 19 дБВт, тарату жылдамдығы – 55... 165 бит/сек, стандартты мәліметтің ұзындығы – 1900 символ.

Геостационарлық жерсерігін пайдаланып, бір құрлық шегінде мобильді телефондық байланыс пен деректерді таратуды қамтамасыз етуге арналған ғарыштық радиобайланыс жүйесі. Канаданың иелігіндегі осыған ұқсас жүйенің біреуі (MSAT), Солтүстік Американы қамтып, автомобиль мен ұшақ ішіндегі мобильді абоненттерді телефондық радиобайланыспен қамтамасыз етеді. Деректерді таратқанда шалғайдағы стационарлық және қозғалмалы өндірістік нысандардың жұмысын бақылауға да пайдаланылуы мүмкін.

Осы жүйенің негізгі сипаттамалары:

- жерсерігінің орбитасы түрі – геостационарлық;

- жерсеріктері саны – 1;

- бағандар саны - 6;

- жүйенің өткізгіштік қабілеті – 400 мың абонент;

- орталық станция – жерсерігі жолындағы жиіліктер диапазоны – 11/14 ГГц;

- абонент терминалы – жерсерігі жолындағы жиіліктер диапазоны – 1,5/1,6 ГГц;

Жерсеріктік ретранслятор параметрлері: ЭИСК = 42... 65 дБВт; G/T = - 4 дБ/К (тікелей арна), 2,3 дБ/К (кері арна), бір бағандағы телефондық арналар саны 300-ден 400-ге дейін.

Стационарлық және мобильдік терминал параметрлері: ЭИСК = 0,5 дБВт (мобильдік) және 16,5 дБВт (стационарлық), G/T = 12... 26 дБ/К (әртүрлі антенна типтері үшін), тарату жылдамдығы 2,4... 6,4 кбит/с.

Қызмет атқарылмайтын нысандардан деректер жинау, апаттық және шұғыл мәліметтерді тарату үшін 4-тен бірнеше ондаған төменгі орбиталды жерсеріктерін пайдаланатын ғарыштық радиобайланыс жүйесі. Мысалы осындай жүйеде экологиялық бақылау датчиктеріне қосылған жер бетіндегі радиомаяктар тобы кең байтақ территорияда орта күйін: орман өрттері туындауын, химиялық кәсіпорындардан атмосфераға газдардың лақтырылып шығуын және т.б. іздеп қадағалауға және уақытында оларды болдырмау үшін қажетті шараларды қолдануға мүмкіндік береді. Жерсеріктерінің аз ғана саны бар жүйеде әдетте «электрондық пошта» күйі іске асырылады, оның мәні мынада. Абоненттік тұрақ (пост) жерсерігі оның көріну аймағында пайда болғанда оған хабар береді. Жерсерігімен қабылданған деректер борттық жады блогында сақталады да, ғарыштық аппарат аппаратты алушының радиокөріну аймағын басып өткенінде радиоарнамен жерге «тасталады». Жүйенің компьютерлерінің программалық камтамасыз етуінің транспорттық протоколдары, жер бетіндегі телекоммуникациялық жолдарды пайдаланумен әртүрлі маршруттар бойынша жеткізілетін деректер дестелерін қылыптастыруға мүмкіндік береді.

Жерсеріктік арнамен «электрондық пошта» күйінде стационарлық және қозғалмалы нысандардан метеорологиялық, экологиялық және апаттық хабарларды таратуға және олардың орналасу орнын, сондай-ақ суда және құрлықта іздеу – құтқару жұмыстарын анықтауға арналған осындай жүйенің мүмкін болатын көрсеткіштерін келтірейік:

- жерсерігі орбитасы түрі – биіктігі 1000 км шеңберлік төменгі орбиталды және жер серігінің айналу периоды 105 мин.;
- жерсеріктері саны – 4;
- жүйенің өткізгіштік қабілеті – 50 мың абонент, бір сеанста – 200, бір айналымда – 2000;
- нысанның географиялық координаттарын анықтау дәлдігі – 2... 5 км.

121,5 МГц диапазонындағы радиомаяк көрсеткіштері: қуаты 0,1 Вт, модуляциясы – амплитудалық, элементар жіберу ұзақтылығы – 0,25... 0,5 с, жиілігі 300... 1600 Гц.

405,9 МГц диапазонындағы радиомаяк көрсеткіштері: қуаты 0,5 Вт, модуляциясы – фазалық, элементар жіберу ұзақтылығы – 0,44 с., сеанстағы деректердің максималды көлемі – 240 бит.

1.10. КазСат-2 Қазақстан Республикасының жерсеріктік байланыс жүйесі

КазСат-2 қазақстандық жерсерігі – Қазақстанның «КазСат» сериялы жерсеріктерінің екіншісі, телекоммуникациялық жасанды жерсерігі. Ғарыш аппараты Қазақстан аумағындағы жерсеріктік байланыс (интернет, желілі телефон және мобильді ұялық байланыс) пен телехабар тарату, ақпарат пен деректер алмасу мақсатына пайдаланылады.

КазСат-2 (KazSat-2) – Қазақстан Республикасының тұрақтанған жерсеріктік байланысының ғарыштық аппараты. КазСат -2 космостық жерсерігі 2011 жылдың 16 шілдесінде Байқоңыр космодромынан «Протон-М» зымыран тасығышы көмегімен ұшырылды. Осы жерсерігімен қоса ғарыш кеңістігіне америкалық «ОС-2» телекоммуникациялық жерсерігі де жеткізілді. ГСО-дағы жоспарланатын нүкте күйі 86,5 град. Республикалық космостық байланыс орталығының айтуы бойынша КА КазСат-2 Қазақстан Республикасының бүкіл бөлігін, Орталық Азия елдері территориясын және Ресейдің орталық бөлігіне қызмет көрсетеді.

Құрастырылу тарихы

2006 жылы Хруничев атындағы ГКНПЦ-мен КазСат-2 Ұлттық байланыс жерсерігін құрастыру және жіберу туралы келісімшартқа қол қойылды.

2008 жылдың 2 желтоқсанында КазСат-1 жерсерігімен толық байланыс үзілді және КазСат-2 жерсерігіне талаптары ұлғайды.

2009 жылдың 21 мамырында В. Путин және К. Масимов жиналыс өткізді.

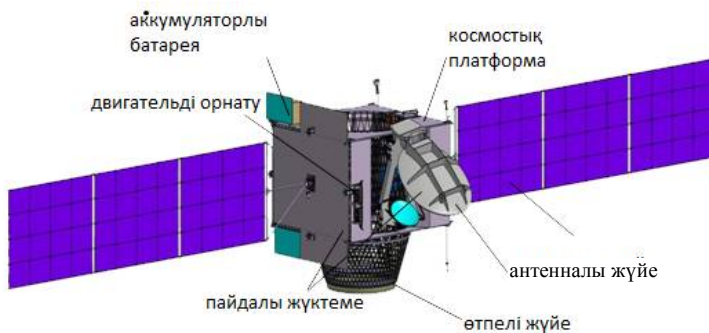
2009 жылдың 22 қыркүйек – КазСат-2 –ні жіберу 2010 жылдың желтоқсанына жоспарланды.

2009 жылдың 4 желтоқсаны ҚР Ұлттық ғарыштық агенттігі төрағасы Т. Мұсабаевтың хабарлауы бойынша КазСат-2 жерсеріктің басқару жүйелерін аяғына дейін жүзеге асыру қажеттілігінен оны ұшыру 1 жыл кейінге ауыстырылды.

2011 жылы 16 шілдеде КазСат-2 жерсерігі Байқоңыр космодромынан жіберілді.

«ҚазСат-2» мақсаты ең алдымен Қазақстан аумағында сапалы ақпараттық әрі телекоммуникациялық байланысты қамтамасыз ету мәселесі оң шешімін табады. Бұл ретте қазақстандық ғарыштық аппарат Қазақстан, Орталық Азия мен Ресейдің бірталай аймағына арзан, әрі сапалы байланыс түрлерімен қамтамасыз етеді. Мәселен, бүгінгі күні елдегі хабар тарататын телеарналар мен байланыс операторлары баға жағынан айтарлықтай қымбат шетелдік жерсеріктеріне жүгініп келеді. Алдағы күні отандық және көршілес операторлар біртіндеп өзіміздің жерсерігінің пайдасын көре бастайды. Ендеше «ҚазСат» сәтті самғауы, айналып келгенде, жергілікті халыққа да тиімді. Бұл ретте отандық ғарыштық ретранслятор елдің барлық тұрғындарына көрсетілетін ақпараттық қызмет түрлерін ұлғайтуға мүмкіндік береді. Яғни интернет, желілі телефон, теледидарлық көрсетілім мен хабар тарату сияқты байланыс түрлерінде жоғары технологиялық әрі сапалы қадам жасалады.

1.21-суретте ҚазСат-2 ғарыштық аппараты құрылысы көрсетілген.



1.21-сурет. КазСат-2 ғарыштық аппараты құрылысы

Борттық ретрансляторлардың сипаттамалары:

1. Ретрансляция бағандарының саны 20 (16 белсенді, 4 резервті):
- тиянақталған (фиксацияланған) байланыс бағаны саны 12 және теледидарлық хабар тарату бағаны саны 4;
2. Жиілік диапазоны – Ku.
3. Бағандардың өткізу жолағы + 54 МГц.
4. Массасы - 215 кг.
5. Номиналды энергопайдалануы - 1800 Вт.

Орбитадағы КА массасы 1330 кг, жұмыс істеу мерзімі (өміршеңдігі) – 12,25 жыл, техникалық ресурсы 14,5 жыл.

Бойлығы және ендігі бойынша ҒА қолданылуының дәлдігі $\pm 0,05$ град.

KazSat-2. Тапсырыс беруші  АО «РЦКС», шығарушы  Хруничев атындағы ГКНПЦ Жер - жерсерігі ракета-тасымалдаушысы - «Протон-М»/«Бриз-М»
NSSDC ID2011-035 В SCN37749

Техникалық сипаттамалары:

жерсеріктік платформа Яхта, массасы 1281,5 кг, қуаты 4600 Вт.

Орбита элементтері: орбита типі – ГСО, орналасу нүктесі - 86.5°Е.

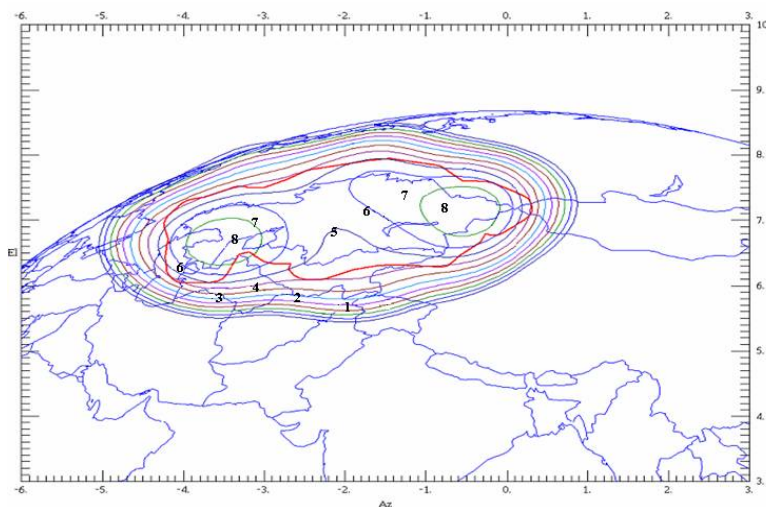
Толық аппаратура құрамы: транспондерлер – 16, ұстану жолағы – 54, спектрлік жолағы - Ku. 7.8-кестеде ҒА "KazSat-2" негізгі сипаттамалары келтірілген, ал 1.8-кестеде ҒА "KazSat-2" борттық ішкі жүйелері және құрылғылары туралы мәлімет берілген.

1.8-кесте

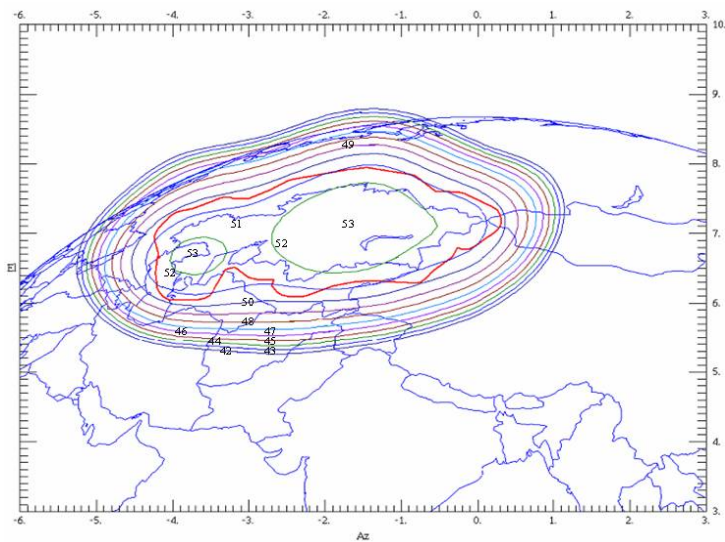
ГСО-ғы нүкте күйі	86,5 град. ш.б.	
Масса ҒА, кг	133	1330
Ориентация дәлдігі, град	0,1	
Позициялық (орны) дәлдігі, град	$\pm 0,$	$\pm 0,05$ 5
қуаты СБ, Вт	4600	
Белсенді өміршеңдік уақыты, жыл	12,25	
Жиілік диапазоны	Ku	
Арналар саны	16	
Өткізу жолағы, МГц	54	
Өміршеңдігі, дБ/К	5,3	
ЭИСК (ТД / байланыс), дБВт	53,5 / 49	
Масса ПН,кг	200	

Борттық сандық есептегіш машина	Борттық есептегіш құрылғы, 4 грани, МОКБ "МАРС"
Борттық құрылғы Бақылау-өлшегіш станцияның	Ақ Ақпарат-уақыттық құрылғысы бар 3 к кешен, ОАО "РКС"
Астродатчиктер	"SED 26", 2 шт., EADS "Astrium"
Бұрыштық жылдамдықтың векторы өлшегіші	"Astrix 120", 1 шт, EADS "Astrium"
Орналасудың күндік датчигі	"BASS7", 2 шт, ADS "Astrium"
Күн батареялары	3-жақты, 2 дана, ГНПП "Квант"
Аккумуляторлы батареялар	18 НВ-120, 2 дана, ОАО "Сатурн"
Орбитаны түзетуші двигательдер	СПД – 70, 8 дана, ОКБ "Факел"
Корпус түрі	Изогридті

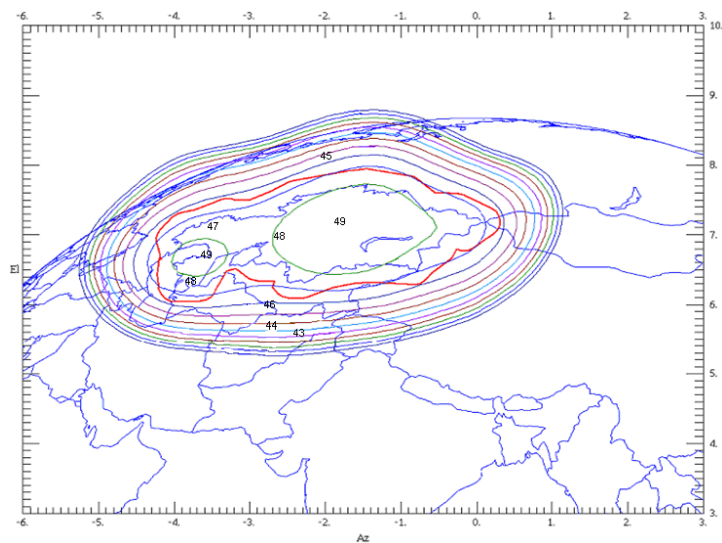
ҒА "KazSat-2" байланыс түріне қарай қызмет көрсету аумағы 1-22 – 1-24 суреттерде көрсетілген.



1.22-сурет. ҒА "KazSat-2" (G/T) теледидарлық және байланыс транспондерлерінің қызмет көрсету аумағы



1.23-сурет. FA "KazSat-2" транспондерлерінің теледидарлық таратуға қызмет көрсету аумағы (EIRP)



1.24-сурет. FA "KazSat-2" транспондерлерінің байланыстық қызмет көрсетіп тарату аумағы (EIRP)

1.10-кестеде БРТК ҒА «KazSat-2» транспондерлері жиіліктік – поляризациялық көрсеткіштері келтірілген.

Транспондер нөмірі	Жоғары радиожолдағы орташа жиілік, МГц	Төменгі радиожолдағы орташа жиілік, МГц	Шығыс қуаты, Вт	Өткізу жолағы, МГц	Радиожолдағы поляризация, жоғары	Радиожолдағы поляризация, төмен
T1	14031,25	10981,25	45	54	X	Y
T2	14031,25	10981,25	45	54	Y	X
T3	14093,75	11043,75	45	54	X	Y
T4	14093,75	11043,75	45	54	Y	X
T5	14156,25	11106,25	45	54	X	Y
T6	14156,25	11106,25	45	54	Y	X
T7	14218,75	11168,75	45	54	X	Y
T8	14218,75	11168,75	45	54	Y	X
T9 (TV)	14281,25	11481,25	115	54	X	Y
T10	14281,25	11481,25	115	54	Y	X
T11 (TV)	14343,75	11543,75	115	54	X	Y
T12	14343,75	11543,75	115	54	Y	X
T13 (TV)	14406,25	11606,25	115	54	X	Y
T14	14406,25	11606,25	45	54	Y	X
T15 (TV)	14468,75	11668,75	115	54	X	Y
T16	14468,75	11668,75	45	54	Y	X
Маяк	-	11199,5	-	-	-	R

«КазСат» ғарыштық аппаратымен байланыста үздіксіз бақылау мен басқару функцияларын жүзеге асыру үшін ғарыштық аппараттарды жердегі басқару кешенінде Байланыс мониторингі жүйесі (БМЖ) ұйымдастырылды. Байланыс мониторингі жүйесі мынадай мәселелерді шешеді:

- «КазСат» сериялы ҒА транспондерлеріне орбиталық сынаулар және сызықтық (H көлбеу және V тік) поляризациялануы бар K_u – диапазонындағы жиіліктердің (төменгі жолда 10950 МГц - 11720 МГц) барлық жұмыс диапазонындағы көрсеткіштеріне өлшеулер жүргізу;

- байланыс операторлары желілерінің үздіксіз және сапалы жұмысын қамтамасыз ету үшін (соның ішінде цифрлық және аналогтық теледидарлық тасымалдаушыларын бақылау) K_u диапазонындағы транспондерлердің сигналдарына мониторинг

жүргізу, сондай-ақ транспондерлердің берілген жұмыс режимдері мен техникалық сипаттамаларын сүйемелдеу;

- жердегі станциялардың (ЖС) көрсеткіштерін өлшеу және оларға жерсерігімен жұмыс істеуге рұқсаттама беру рәсімін жүзеге асыру.

Байланыс мониторингі құрамына мониторинг станциясы (МС), мониторинг жүйесін басқару орталығы (МБО) кіреді. Мониторинг станциясы бақылау-өлшеу жабдығы, радиожиліктік қабылдау-тарату жабдығы және антенналық станциялар кешенін бірге қамтитын БМЖ-нің аппараттық – бағдарламалық бөлігі болып табылады.

Мониторинг жүйесін басқару орталығы (МБО) функционалдық белгісі бойынша бөлінетін және пайдалы жүктеменің жиіліктік – энергетикалық ресурсын жоспарлау мен басқаруды, «ҚазСат» ҒА пайдалы жүктемесін өлшеуді және мониторинг жүргізуді, сондай-ақ ЖС, ҒА транспондерлеріндегі жұмысқа рұқсат беру рәсімін жүзеге асыру үшін ЖС параметрлеріне өлшеулер жүргізу міндеттерін жүзеге асыруға арналған автоматтандырылған жұмыс орындарынан (АЖО) тұрады.

1.1-мысал. Жерсеріктік байланысының энергетикасы және электромагниттік үйлесімділігін есептеу.

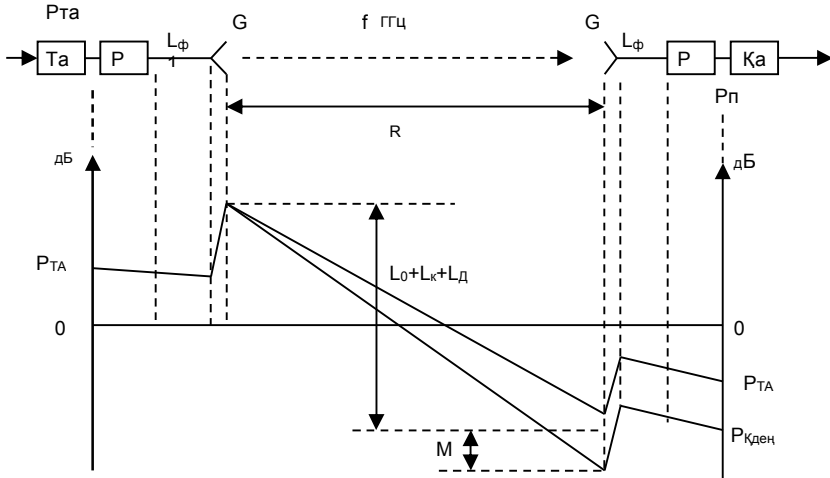
Байланыс жолының екі бөлімнің тек бір ғана бөлігінің құрылымдық сұлбасын және осы бөлімдегі сигналдардың диаграммалық деңгейін қарастырамыз.

Қосымша белгіленулер: $(P_C/P_{Ш})_{\text{жр}}$ – арнаның жоғары жиілікті аяғындағы сигнал/шуыл қатынасы (қабылдағыштың кірісінде); $(P_C/P_{Ш})_{\text{шығ}}$ – арнаның төменгі жиілікті аяғындағы сигнал/шуыл қатынасы (қабылдағыштың шығысында).

Есептеу мақсаты: Артық энергия қорын талап етпейтін және бөгеуілдер жағдайында жерсеріктік арнаның сенімді жұмыс істеуін қамтамасыз ететін жер тарату станциясының таратқыш қуатының $P_{\text{таЖ}}$ және борттық ретранслятордың таратқыш қуатының $P_{\text{таБ}}$ мәнін анықтау. Есептеу формулаларын қарайық.

Эффективті сәулеленіп шығатын изотропты қуат:

$$\text{ЭСШИҚ (немесе } P_{\text{э}}) = P_{\text{каб}} \eta_{\text{тар}} G_{\text{тар}}.$$



1.25-сурет. Байланыс жолының бір бөлігінің құрылымдық сұлбасы

Толқын фронтының сфералық шашырауы әсерінен сигналдың әлсіреуі:

$$L_0 = 16\pi^2 d^2 / \lambda^2,$$

мұндағы d – тарату және қабылдау антенналары арасындағы қашықтық;

λ – толқын ұзындығы.

Таралу жолындағы сигналдың толық әлсіреуі:

$$L_P(\text{дБ}) = L_0 + L_{\text{кос}},$$

мұндағы $L_{\text{кос}}$ – трассадағы қосымша шығындар (атмосферадағы сигнал энергиясының жұтылуы, рефракция әсерінен шығындар, антенна поляризациясының үйлесімсіздігінен болатын шығындар және т.б.) жерсеріктік байланыс энергетикасына айтарлықтай әсер тигізбейді.

Қабылдағыштың кірісіндегі сигнал қуаты:

$$P_{\text{каб}} = P_{\text{э}} G_{\text{каб}} \eta_{\text{каб}} / L_P = P_{\text{тар}} \lambda^2 G_{\text{тар}} G_{\text{каб}} \eta_{\text{тар}} \eta_{\text{каб}} / 16\pi^2 d^2 L_{\text{кос}}. \quad (1.1)$$

Жолды есептеу кезінде көбінесе қабылдағыштың кірісіндегі, сигнал қуаты емес, сигнал/шуыл қатынасы беріледі, сондықтан формулаға келесі мәнді қоямыз

$$P_{\text{каб}} = P_{\text{ш}} (P_{\text{с}}/P_{\text{ш}})_{\text{кір}},$$

мұндағы $P_{\text{ш}} = k T \sum \Delta f_{\text{ш}}$ – қабылдағыштың кірісіндегі толық шуыл қуаты; $k = 1,38 \times 10^{-23}$ Вт/Гц $\times$ К- Больцман тұрақтысы; $\Delta f_{\text{ш}}$ – қабылдағыштың шуыл жолағы; $T \sum = T_a + T_0[(1-\eta)/\eta] + T_{\text{каб}}/\eta$ – қабылдау күрежолының эквивалентті шуыл температурасы; T_a – антенаның шуыл температурасы (бұған ғарыштық радиосәулелену, атмосфераның жер бетінің сәуле бөліп шығаруы, антеннаның өзіндік шуылы кіреді); $T_0 \approx 290\text{K}$; $T_{\text{каб}}$ – қабылдағыштың өзіндік шуылдық температурасы.

$P_{\text{каб}}$ мәнін қойып және таратқыш қуатына сәйкесті өрнекті шешіп, келесі теңдеуді аламыз:

$$P_{\text{тар}} = 16\pi^2 d^2 L_{\text{кос}} (P_{\text{с}}/P_{\text{ш}})_{\text{кір}} / \lambda^2 G_{\text{каб}} \eta_{\text{тар}} \eta_{\text{каб}}.$$

Мұнда бір ғана арақашықтық емес, екі бөліктің арақашықтығы іс жүзінде қызығушылық тудырады (Жер- жер серігі және жер серігі -Жер). Әр бөлік үшін өзінің теңдеуі болады:

$$1\text{-ші } P_{\text{тарЖ}} = 16\pi^2 d_1^2 L_{\text{кос}} P_{\text{шБ}} (P_{\text{с}}/P_{\text{ш}})_{\text{кірБ}} / \lambda^2 G_{\text{тарЖ}} G_{\text{кабБ}} \eta_{\text{тарЖ}} \eta_{\text{кабБ}};$$

$$2\text{-ші } P_{\text{тарБ}} = 16\pi^2 d_2^2 L_{\text{кос}} P_{\text{шЖ}} (P_{\text{с}}/P_{\text{ш}})_{\text{кірЖ}} / \lambda^2 G_{\text{тарБ}} G_{\text{кабЖ}} \eta_{\text{тарБ}} \eta_{\text{кабЖ}}.$$

Жеке бөліктер теңдеуінен бүкіл жалпы жол теңдеуіне өту үшін, жол шығысындағы сигнал/шуыл қатынастары мен әр бөлік арасында байланысты табу қажет. Бортта сигналдарды қайта өңдеу жоқ болмаса әр бөліктің шуылдарының қосылуы жүреді де, қосындыланған шуыл/сигнал қатынасы байланыс жолының аяғында болады:

$$(P_{\text{ш}}/P_{\text{с}}) \sum = (P_{\text{ш}}/P_{\text{с}})_{\text{кірБ}} + (P_{\text{ш}}/P_{\text{с}})_{\text{кірЖ}}. \quad (1.2)$$

Әр бөліктегі сигнал/шуыл қатынасы жолдың соңындағыға карағанда жоғары болуы анық:

$$(P_c / P_{ш})_{к\text{ірБ}} = a (P_c / P_{ш})_{\Sigma} , \quad (1.3)$$

$$(P_c / P_{ш})_{к\text{ірЖ}} = b (P_c / P_{ш})_{\Sigma} . \quad (1.4)$$

(1.3) және (1.4) теңдеу жүйесін шешкеннен кейін, аламыз:

$$a = b/(b-1).$$

$b = 1,26$ (1дБ) деп, Жер-жерсерік арасындағы қажетті өсімді табамыз

$$a = 5 \text{ (7дБ)}.$$

Жерсеріктік екі бөлікті қашықтықтық байланыс жолы үшін теңдеу 2 бөліктен құралып, мына түрде беріледі:

$$P_{\text{тарЖ}} = 16\pi^2 d_1^2 L_{1\text{кос}} kT \Sigma \Delta f_{шЖ} a (P_c / P_{ш})_{\Sigma} / \lambda_1^2 G_{\text{тарЖ}} G_{\text{кабБ}} \eta_{\text{тарЖ}} \eta_{\text{кабБ}} ,$$

$$P_{\text{тарБ}} = 16\pi^2 d_2^2 L_{2\text{кос}} kT \Sigma \Delta f_{шЖ} b (P_c / P_{ш})_{\Sigma} / \lambda_2^2 G_{\text{тарБ}} G_{\text{кабЖ}} \eta_{\text{тарБ}} \eta_{\text{кабЖ}} .$$

Есептеудің соңында – $(P_c / P_{ш})_{\Sigma}$ -ны төменгі жиілікті арнада қайта есептеу керек. Жиіліктік модуляция әдісі бойынша теледидарлық тарату мысалын қарайық:

$$(P_c / P_{ш})_{\text{ТЖ}} = (P_c / P_{ш})_{\Sigma} g_{\text{ТД}} B_{\text{в}} \Delta k_1 ,$$

Мұндағы $g_{\text{ТД}} = 1,5 \Delta f_{\text{ЖМ}} \Delta f_{\text{Д}}^2 / F_{\text{ЖЖі}}$ - модуляция есебінен ұту; спектр ені $\Delta f_{\text{ЖМ}} = \Delta f_{\text{ш}}$; $\Delta f_{\text{Д}}$ – шындық девиация; $F_{\text{ЖЖі}}$ – сигнал спектрінің жоғарғы жиілігі; $B_{\text{в}}$ – визометриялық коэффициентінің есебінен ұту; Δ – алдын ала бұрмалануды енгізуден ұту; $k_1 = 9\text{дБ}$ – эффективті мәніне синусоидалды сигнал құлашын қайта есептеу коэффициенті; $B_{\text{в}} \Delta = 14 \dots 18\text{дБ}$.

1.2-мысал. Радиобайланыстың ғарыштық жолын есептеу.

Радиобайланыстың жерсеріктік жүйесін жобалағанда ең алдымен жерсеріктік ретранслятор – жердегі станция немесе абоненттік терминал арасындағы радиожолды есептеу керек. Осындай есептеме үшін келесідей бастапқы мәліметтерді қараймыз.

1) Радиокүрежолы ұзындығы – жерсерігі антенналары мен жердегі станция арасындағы тіке сәуле ұзындығы, яғни R мәні, жерсерігі орбитасы төменгі орбиталды деп есептеп, $R = 1000$ км деп аламыз;

2) антенналар түрін таңдау және олардың көрсеткіштерін анықтау, антенна S_A – тиімді ауданымен, ϑ - бағытталу диаграммасы бұрышымен және күшейту коэффициенті K_A –мен сипатталады. Осы үш көрсеткіш өзара келесі қатынастармен байланысқан:

$$K_A = 4 \pi S_A / \lambda^2, \quad (1.5)$$

$$K_A = 36000 / \theta^2, \quad (1.6)$$

мұндағы S_A - [м²], θ - [град], λ -толқын ұзындығы [м].

3) Жиіліктер диапазонын немесе толқын ұзындығын таңдау;

Радиобайланыстың жерсеріктік жүйелері үшін Жиіліктерді тіркеу бойынша халықаралық комитет (ЖТХК) 1.2-кестеде көрсетілген жиіліктер жолағын бөлген.

Жоғары орбиталды геостационарлық жерсерігі бар орталық пен тораптық станциялар және орбиталдық терминалдың радиобайланысы үшін әдетте С, Ku, Ka жиіліктер диапазоны пайдаланылады. Төменгі орбиталды жерсерігімен абоненттік терминалдың радиобайланысы үшін L,S кішірек жиіліктер диапазоны және де 1 ГГц-ке дейінгі УҚТ диапазоны (137... 138 МГц, 148... 150,05 МГц, 400,1 МГц, 406... 406,1МГц) пайдаланылады.

4) Радиоқабылдағыштың іс жүзіндегі сезімталдығын есептеу. Радиоқабылдағыштың осы сезімталдығы радиобайланыс арнасының шуылдарын және құрылғылардың өзіндік шуылдарын ескере отырып, қабылдағыштың сызықтық бөлігі шығысында немесе демодулятор кірісінде қажетті $C_{сш}$ сигнал/шуыл қатынасын алу болатын, оның кірісіндегі радиосигнал қуатымен анықталады. Сонда былай жаза аламыз:

$$P_{каб} = kT_0 \Delta f C_{сш} K_{ш}, \text{ [Вт]} \quad (1.7)$$

мұндағы $kT_0 = 4 \cdot 10^{-21}$ Вт/гц – Кельвин (К) шкаласы бойынша абсолюттік нөлден есептелетін $T_0 = 290$ К стандарттық температурадағы шуылдың спектралдық қуаты;

$K_{ш} = (T_0 + T_{шж} + T_{шка}) / T_0$ – қабылдағыштың іс жүзіндегі шуыл коэффициенті (радиобайланыс жолы шуылын ескерумен).

$T_{жш}$ – Кельвин шкаласы бойынша градустағы байланыс жолы шуылы эквиваленттік температурасы;

$T_{қабш}$ -- Кельвин шкаласы бойынша градустағы, қабылдағыш кірісіне қайта есептелген, оның шуылы эквивалентті температурасы;

Δf – демодуляторға дейінгі радиоқабылдағыштың аралық жиілігі күрежолының өткізу жолағы, Гц;

1 Вт қуатқа қарағанда децибелмен көрсетілген сол сезімталдық:

$$P_{кад} = 10 \lg P_{ка} = -174 + 10 \lg \Delta f (\text{кГц}) + 10 \lg C_{сш} + 10 \lg K_{ш}, [\text{дБВт}]. \quad (1.8)$$

5) Эффективті изотропты сәулеленетін қуат (ЭИСК) радиотаратқыш қуатының антеннаның күшейту коэффициентіне көбейтіндісі түрінде анықталады, яғни:

$$\text{ЭИСК} = 10 \lg (P_{та} K_{ант}), \text{ дБ.Вт.} \quad (1.9)$$

6) Энергетикалық сапалылығы ретранслятордың екі көрсеткіші арқылы анықталады: радиоқабылдағыш шуылдары температурасы және антеннаның күшейту коэффициенті бойынша:

$$Q_э = 10 \lg (K_{ант} / T_{ш ка}), \text{ дБ/К.} \quad (1.10)$$

7) Радиобайланыс арнасы бойынша цифрлық ақпараттың таралу жылдамдығы оның мәніне байланысты төрт классқа бөлінеді:

- өте төмен жылдамдықтармен – 1,2 кбит/с –дан кіші;
- төмен жылдамдықтармен – 1,2 кбит/с-дан 9,6 кбит/с-қа дейін;
- орташа жылдамдықтармен – 9,6 кбит/с-тан 64 кбит/с-қа дейін;
- жоғарғы жылдамдықтармен – 67 кбит/с-тан үлкен.

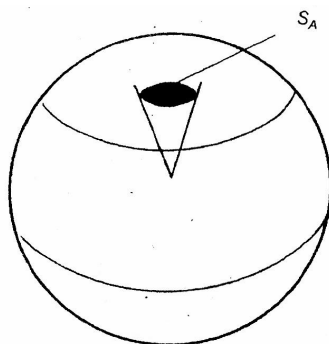
8) Бір нысанмен байланыс сеансында берілетін қызметтік ақпарат көлемі. Бұл көлем басқару командаларының және телеметриялық бақылаудың мөлшері және мазмұнымен, сондай-ақ қызметтік командалар көлемімен анықталады.

9) Модуляция әдісі және сигналды кодтау тәсілі. Әдетте сигналды модуляциялаудың ең күшті бөгеуілден қорғалған түрлері – фазалық пен жиіліктік қолданылады.

10) Ретранслятордағы жиіліктік бағандар саны. Әрбір баған өткізу жолағы енімен және бір бағанға біріккен корреспонденттер санымен анықталады.

11) Радиобайланыстың жерсеріктік жүйесінің ортақ арнасына абоненттік терминалдың қатынасуымен байланысты көпстанциялық қатынас әдісі.

Радиожолды есептеудің басты мақсаты анықталған жылдамдықпен ақпараттың қажетті көлемін таратуда орнықты радиобайланысты қамтамасыз ететін радиотаратқыштың қуатын анықтауда жатыр.



1.26-сурет. Сфера бойымен нүктелік сәуле шығару көзі

Радиотаратқыш қуаты $P_{тар}$ таратқыш антеннаға келіп түсетін жоғары жиілікті сигналдың қуаты болып табылады. Осы параметрдің мәні Жер беті үстіне жерсерігінен сәулеленуінен туындайтын қуат ағыны тығыздығымен шектелген, ал ол 4 кГц жолақта 152 дБ.Вт/м² –тан аспауы керек.

Нүктелік сәуле көзі сфера бойымен қуаты $P_{сәу}$ сигналды сәулелендіріп шығарады дейік. Сонда R қашықтықта өлшемі S_A ауданда (1.26-сурет) сигнал қуаты тең болады:

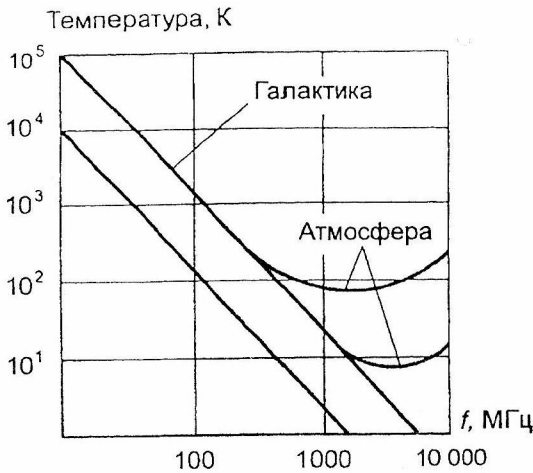
$$P_c = P_{сәу} S_A / 4\pi R^2. \quad (1.11)$$

P_c – ны іс жүзіндегі $P_{каб}$ радиокабылдағыш сезімталдығымен ауыстырамыз, (1.7) және (1.8) формулалардағы Галактиканың радиосәулеленуі мен атмосфералық жұтылудан пайда болатын

радиобайланыс шуылдар температурасы $T_{жш}(f)$ мәнін 1.27-суреттегі график бойынша анықтауға болады. Ал $P_{сәу}$ орнына (1.9) формуладан ЭИСК шамасын аламыз, яғни $P_{та}K_{ант}$ көбейтіндісін, енді (1.11) формуладан тропосферадағы және фидердегі шығындар коэффициенттерін ($B_{тр}$ мен $B_{фид}$) ескере отырып, радиотаратқыштың қажетті қуатын анықтауға арналған келесі өрнекті табамыз

$$P_{тар} = 4\pi R^2 P_{га} B_{тр} B_{фид} / K_{тар} S_{каб}, \quad (1.12)$$

мұндағы $S_{каб} = S_A$ – қабылдағыш антеннаның ауданы, m^2 .



1.27-сурет. Галактиканың радиосәулеленуінен және артмосфералық жұтылу әсерінен пайда болатын радиобайланыс арнасы шуылдары $T_{жш}$ температурасын анықтауға арналған график

Егер қабылдағыш ($S_{каб}$) және таратқыш ($S_{тар}$) антенналардың аудандары өзгермесе, онда (1.6)-ны ескере отырып, (1.11)-ді келесідей түрлендіреміз

$$P_{тар} = R^2 \lambda^2 P_{каб} B_{тр} B_{фид} / S_{каб} S_{тар}, \quad (1.13)$$

Егер антенналардың күшейткіш коэффициентінің мәні өзгеріссіз болса, онда (1.12)-формула мына түрге келеді

$$P_{\text{тар}} = (4\pi)^2 R^2 P_{\text{ка}} B_{\text{тр}} B_{\text{фид}} / \lambda^2 K_{\text{тар}} K_{\text{каб}}. \quad (1.14)$$

(1.12) формуладан мынау шығады, егер де $K_{\text{тар}} = \text{const}$ және $S_{\text{каб}} = \text{const}$ болғанда радиождолдардың энергетикасы λ толқын ұзындығына тәуелді емес, оның мәні тек $B_{\text{тр}}$ коэффициент шамасына ғана әсер ете алады. (1.13) формулаға сәйкес екі антеннаның да аудандары тұрақты болғанда радиоқабылдағыштың қажетгі қуаты λ^2 толқын ұзындығының квадратына пропорционалды өседі, ал олардың күшейткіш коэффициенттерінің мәндері өзгеріссіз болғанда – керісінше, λ^2 есе кемиді. Бірақ та (1.6) формулаға сәйкесті түрде антенналардың бағытталу диаграммалары ені өзгереді, сондықтан жердегі корреспонденттердегі қызмет көрсету аумағы өзгереді. Осылайша (1.13) сәйкес $S_{\text{тар}} = \text{const}$ және $S_{\text{каб}} = \text{const}$ болғанда радиотаратқыш қуатын төмендету мақсатында өте жоғары жиілік диапазонында жұмыс істеу керек. Алайда бұл жағдайда (1.5) және (1.6) бойынша антенна сәулесі жіңішкереді және де жер корреспонденттеріне қызмет көрсету аймағы кішірейеді.

(1.12)-(1.14) формулаларына кіретін параметрлері мәндерін есептеу үшін оларды децибелмен көрсету орынды. Сонда, мысалы, (1.12) формула мынадай түрге келеді:

$$P_{\text{тар}0} = 10 \lg P_{\text{тар}} = 71 + 20 \lg R(\text{км}) + 10 \lg P_{\text{каб}} + \\ + 10 \lg (B_{\text{тр}} B_{\text{фид}}) - 10 \lg K_{\text{тар}} - 10 \lg S_{\text{каб}}, \quad (1.15)$$

мұндағы $S_{\text{каб}}$ – қабылдағыш антенна ауданы, (1.7) формуласымен анықталатын $P_{\text{каб}}$ – радиоқабылдағыштың сезгіштігі.

Есептеу мысалы. (1.8) және (1.15) формулаларына сәйкес космостық радиобайланыс жолдарын есептеу үшін келесідей бастапқы шарттарды аламыз:

- жерсерігі орбитасы орбитасы – төменгі орбиталды $R = 1000$ км;
- радиоқабылдағыштың өткізгіштік жолағы $\Delta f = 40$ кГц;
- радиождолдың шуыл температурасы $T_{\text{шж}} = 700$ К;
- радиоқабылдағыш шуылының температурасы $T_{\text{шкаб}} = 700$ К;
- талап етілетін сигнал/шуыл қатынасы $C_{\text{ш}} = 10$;
- атмосферадағы шығын коэффициенті $B_{\text{тр}} = 3$ дБ;
- фидердегі шығын коэффициенті $B_{\text{фид}} = 2$ дБ;

- таратқыш антеннаның күшейту коэффициенті $K_{\text{тар}} = 10$;
- қабылдағыш антеннаның ауданы $S_{\text{каб}} = 0.1 \text{ м}^2$.

(1.8) формулаға сәйкес жерсеріктік ретранслятор радиоқабылдағышының нақты сезімталдығын анықтаймыз

$$P_{\text{каб}} = -174 + 10\lg 40 + 10\lg 10 + 10\lg 4 = -174 + 16 + 10 + 6 = -142 \text{ дБ.Вт.}$$

(1.14) формулаға сәйкес жердегі абоненттің радиотаратқышының қажетті қуаты

$$P_{\text{тар}} = 71 + 20\lg 1000 - 142 + 2 + 3 - 10\lg 10 - 10\lg 0,1 = -6 \text{ дБ.Вт,}$$

немесе

$$P_{\text{тар}} = 0,25 \text{ Вт.}$$

Мысалда көрініп тұрғандай, жер абонентінің жерсерігімен радиобайланысы үшін тура сәулемен жұмыс істегенде өте кішкене радиотаратқыш қуаты 250мВт жеткілікті.

Бақылау сұрақтары.

1. Жерсеріктік байланыс жүйелерін құрудың негізгі ұстанымдарын айтып беріңдер.
2. Пассивті ретранслятор дегеніміз не?
3. Активті ретранслятордың құрамы қандай?
4. Жерсеріктік байланыс жүйесінің құрылымдық сұлбасын келтіріп, жұмысын түсіндіріңдер.
5. Жерсеріктік байланыс жүйелері бойынша қандай мәліметтер беріледі?
6. Жерсеріктік байланыс жүйелерінде қандай радиобайланыс қызметтері ұйымдастырылады?
7. Жерсеріктері қандай орбиталарда ұшып жүреді?
8. Геоостационарлық орбитаның эллиптикалық орбитадан қандай артықшылықтары бар?
9. Төменгі орбиталы жерсеріктері қандай биіктіктерде ұшып жүреді?
10. Жерсеріктік байланыс жүйелерінде сигнал неліктен кешігеді?
11. Жерсеріктік байланыс жүйелерінде Доплер эффектісі қалай пайда болады?

12. Жерсеріктік байланыс жүйелері қандай жиіліктер диапазонында жұмыс істейді?

13. Төменгі орбиталы жерсеріктерінің қандай артықшылықтары бар?

14. Төменгі орбиталы жерсеріктері ғарыштық сегменті салмағы қандай?

15. Төменгі орбиталы жерсеріктері радиожабдығының салмағы мен қуаты шамалары қандай?

16. Геостационарлық орбитада ұшып жүрген жерсерігінің салмағы қандай?

17. Геостационарлық орбитада қанша жерсерігі ұшып жүреді?

18. Орташа орбиталар биіктігі қандай және онда қанша жерсерігі ұшып жүреді?

19. Жасанды жерсерігі мен жердегі станция арасындағы жолда байланыстың өшу себебі неде?

20. ЭИСҚ дегеніміз не?

21. Байланыс жүйесі үшін геостационарлық орбитадағы ЖЖС-нің қандай артықшылықтары бар?

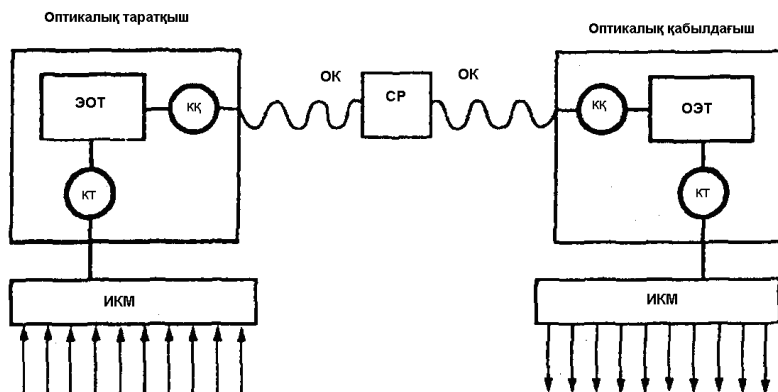
22. Қабылдау орнындағы электрмагниттік жағдай анықтамасын айтып беріңдер?

23. Жерсеріктік байланыс жүйесінің электрмагниттік үйлесімділігі дегеніміз не?

2. ТАЛШЫҚТЫҚ ОПТИКАЛЫҚ БАЙЛАНЫС ЖҮЙЕСІ

2.1. Сигналдарды таратудың оптикалық орталары

Қазіргі кезде радиотехника саласында инфрақызыл, оптикалық және ультракүлгін диапазондарын кеңінен игеру және қоғамның жылдам ақпараттану процесі әртүрлі арналуы бар ақпараттық желілерде талшықты оптикалық байланыс жүйесінің (ТОБЖ) кеңінен пайдаланылуына әкеліп соқты. ТОБЖ-да ақпараттық сигналдар оптикалық кабельдер (ОК) арқылы беріледі. Байланыстың мұндай жүйелерінде арналарды уақыттық тығыздауымен (бөлуімен) және оптикалық тасымалдаушыны импульсті-кодтық модуляциясымен (ИКМ) көп арналы цифрлы байланыс қолданылады. 2.1-суретте ТОБЖ ықшамдалған құрылымдық сұлбасы көрсетілген.



2.1-сурет. Оптикалық талшықтық байланыс жолының карапайым сұлбасы

ИКМ (импульсті кодтық модуляция) және код түрлендіргіші (КТ) желісімен берілетін сигналдар оптикалық таратқышқа келіп түседі, ол негізінен электронды оптикалық түрлендіргіш (ЭОТ) - шалаөткізгіш лазерден тұрады. ИКМ желісі және код түрлендіргіші кодты импульстік тізбекті тудырады, ал үйлестіргіш құрылғы (ҮҚ) ЭОТ-ны оптикалық кабельмен (ОК)

үйлестіреді. Байланыс жүйесінің қабылдағышында опто-электронды түрлендіргішпен (ОЭТ) оптикалық сигналдарды қайтадан электрлікке түрлендіру жүзеге асырылады. ОЭТ ретінде шалаөткізгіш фотодиод қолданылады, онда ҰҚ арқылы келетін жарық ағыны әсерінен электр тогы пайда болады. ТОВЖ-ның басты бөлігі сызықты регенераторлар (СР), яғни оптикалық кабель (ОК) байланыс желісіне қосылған оптикалық сигналдың магистралдық күшейткіштері. Сосын ИКМ желісінен шыққан сигналдар қабылдағышқа беріледі. Оптикалық кабельдің бір немесе бірнеше сәулелендіргіші болады.

Оптикалық талшықтардан (ОТ) құралатын оптикалық кабель қазіргі уақытта үлкен ұзындықты телекоммуникациялық магистралдар үшін, сондай-ақ деректерді таратудың жергілікті желілері үшін де ең жетілдірілген бағыттаушы жүйе болып табылады. Өйткені ОК өзінің сипаттамалары бойынша электрлік кабельдерден анағұрлым асып түседі. ОТ-ғы сигналдың кішкентай өшуі және дисперсиясы тотж ретрансляциялық бөлігінің ұзындығын 100 км-ге және одан ұзынға жеткізуге мүмкіндік береді. Өте енді өткізу жолағы болғандықтан бір ОТ арқылы секундына бірнеше гигабит жылдамдықпен ақпарат ағынын беріп жіберуге болады. Рұқсатсыз қатынас құрудан аса жоғары қорғалғыштығы ОК-ді ақпараттық қауіпсіздікке жоғары талаптар қойылатын жүйелерде қолдануға мүмкіндік береді.

Оптикалық талшықтар сыртқы электромагниттік әсерлерге сезімтал емес, өйткені көпталшықты оптикалық кабельде, электрлік кабельдерге тән өзара бөгеуілдер мәселесі туындамайды. Электрлік кабельдер мен оптикалық кабельдердің бірдей және сондай өткізгіштігінде, соңғыларының кішкентай өлшемдері және салмағы бар. Оптикалық талшықтарды кеңтараған және арзан заттардан (кремний қостотығы, полимерлер) жасайды. Қазіргі уақытта кварцтық оптикалық талшықтың бағасы мысқосақтың бағасына да жетпейді.

Бүгінгі заманның ТОВЖ кемшілігі – интерфейстік және монтаждық жабдықтың қымбаттығы. Бірақ та оптикалық таратқыштардың, қабылдағыштардың сенімділігін арттыру және желілік күрежолдың пассивті элементтерінің конструкциясын жақсарту талшықты-оптикалық өнімнің бағасын тұрақты түрде төмендетуге, ал ОК-ді монтаждау және жалғаушы элементтердің

технологиясын жетілдіру, сондай-ақ қолданылатын жабдықты қарапайымдау құрылыс-монтаждау жұмыстарының қиыншылықтарын айтарлықтай жеңілдетуге әкеледі.

Оптикалық талшықтар құрылысы, олар арқылы сәулелердің таралуы.

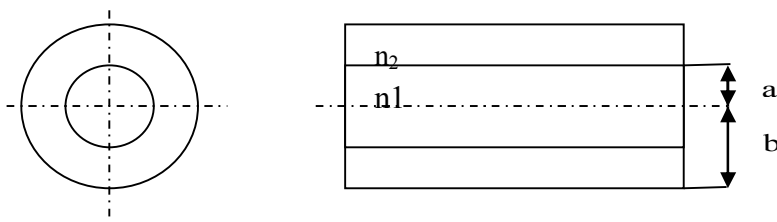
Оптикалық кабельдің негізгі элементі оптикалық толқынжол – оптикалық мөлдір диэлектриктен жасалған дөңгелек өзекше, оның құрылысы бойымен сәулелік (жарық) толқындары таралады. Оптикалық толқынжолдардың қима өлшемдері өте кішкентай болғандықтан оларды әдетте оптикалық талшықтар (ОТ) деп атайды. Сонымен оптикалық толқынжол оптикалық диапазондағы электрмагниттік толқындардың бағыттаушы жүйесі болып табылады.

Оптикалық (жарықтық) сәулеленудің электрмагниттік табиғатынан белгілі, ОТ-да жарықтық толқындардың таралу процесін тура зерттеу электродинамика теңдеулері (Максвелл теңдеулері) негізінде жүргізілуі тиіс, яғни толқындық теория әдістерімен. Бірақ, сәулелену толқын ұзындығы λ От көлденең қимасы өлшемдерінен әлдеқайда кіші болған жағдайларда, жарық таралу процесін сипаттау үшін қарапайымдылығы және көрнектілігімен ерекшеленетін геометриялық (сәулелік) оптика жуықталған әдістерін пайдалануға болады.

Геометриялық оптикада жарық толқындарын толқындық бет үстіне норма бойынша бағытталған сәулелер түрінде бейнелейтіні белгілі. Екі оптикалық мөлдір диэлектриктің жазық бөліну шекарасына жарық толқыны түскенде жалпы жағдайда шағылысқан және сынған (өткен) толқындар пайда болады. Сәулежол осінің маңында толқын өрістерін шоғырландыру үшін сыну көрсеткіші осьтен шетіне қарай бірқалыпты немесе секірісті кішірейетін сыну көрсеткіші бар талшықта сыну және толық шағылысу құбылыстары пайдаланылады. Сәулежол оптикалық талшықтан және жабыннан тұрады. Сыртқы диаметрі 100 - 150 мкм оптикалық талшық әдетте шыныдан жасалады.

2.2-суретте ОТ құрылысы көрсетілген. Оптикалық талшық n_1 сыну көрсеткіші бар өзекшеден және n_2 сыну көрсеткіші бар қабықшадан тұрады және $n_1 > n_2$ болады. ОТ-ң ерекшелігі - ішкі механикалық әсерлерге жоғары сезімталдығы. Беті үстіндегі

микрожырықтардан қатты бүлінген талшық кимасында оның үзілуі болады. Микрожырықтар талшық беті үстіне ылғал тигенде ұлғаяды, сондықтан жабынсыз талшықтың беріктігі төмендейді, әсіресе ылғалды атмосферада. Кабельдік өндіріске келіп түсетін оптикалық талшықтың механикалық сипаттамасы да өте маңызды және оның көрсеткіштерін үнемі тексеріп тұру керек.



2.2-сурет. Оптикалық талшықтың құрылымы

ТОБЖ қазіргі жүйелерінің негізі – таралу ортасы – сәулежелдер, оптикалық сәулелендіргіштер – жарықтың оптикалық кванттық генераторлары; жарық квантын (фотонды) электрондар ағынына (электр тогы) түрлендіру үшін оптикалық фотодетекторлар қолданылады. Аталған ТОБЖ-ң үш құраушысын кванттық жүйелер деп есептеуге болады. Кванттық жүйенің күйі энергетикалық деңгейлермен сипатталады және мына өрнекпен анықталады:

$$U(\omega_{12})B_{12}N_1 = A_{21}N_2 + U(\omega_{21})B_{21}N_2, \quad (2.1)$$

мұндағы $U(\omega_{12})$ және $U(\omega_{21})$ - бірлік жиілік интервалында ω жиілігінде сәулелену энергиясының тығыздығы. B_{12} - 1 күйінен 2-күйіне ($1 \rightarrow 2$) кванттық өту ықтималдығы, N_1 - 1-деңгейдегі бөлшектер саны (негізгі қозбаған деңгей), A_{21} - бөлшектердің 2-деңгейден 1-деңгейге спонтанды (өздігінен қозып) өту ықтималдығы, B_{21} - жарық кванттарының стимуляцияланған (әрекетке итермеленуінен) немесе жарық кванттарының еріксіз сәулеленуінің коэффициенті $1 \rightarrow 2$, N_2 - 2-деңгейдегі бөлшектер саны.

(2.1) талдау нәтижесінде көріп тұрғанымыздай, кванттық жүйенің үш күйі болуы мүмкін: 1-күйі – $N_1 > N_2$ болғанда, $U(\omega_{21})B_{21}N_2 = 0$, яғни жүйе тұрақты күйде тұр және ол тек фотондарды жұта алады; 2-күйі – $N_2 \cong N_1$, бұл жағдайда $U(\omega_{21})B_{21}N_2 = 0$ болады, мұндай жүйе оған түсетін энергияға катысты бейтарап болады; $N_2 > N_1$ болса 3-күйі – жүйе сәулелендіргіш болады. Егер жүйенің сәулеленуінің бастапқы нүктесінде P_0 қуаты болатын болса, онда L қашықтықты өткеннен кейін сәулелену қуаты мына өрнекке сәйкес азаяды: $P_L = P_0 e^{-aL}$, Бұл Бугер заңы, мұнда a - өшу көрсеткіші, $a = a_n + a_p$, мұнда a_n - жұтылу есебінен өшу құрастырушысы, a_p - біртекті емес жағдайдағы жарықтың шашырауынан болатын өшу құрастырушысы. Талшықта, 1380...1410 нм толқын ұзындықтарын ескермегенде, толқын ұзындықтарынан кең аумағында (0,8... 1,6 мкм) жұтылу $\cong 0$, және де талшықта жарықтың өшуі біртекті еместіктен шашырауынан болады. Жоғары сапалы сәулелелену жолдарда өлшемдері толқын ұзындығынан әлдеқайда кіші біртекті еместіктер бар. Олардағы шашырау серпінді немесе Рэлеевтік шашырау деп аталады:

$$P = \left(P_0 k T / \lambda^4 \right) \beta (\rho n dn / dg)^2, \quad (2.2)$$

мұндағы k - Больцман тұрақтысы, T - абсолюттік температура, λ - сәулелендіру толқын ұзындығы, n - ортаның сыну көрсеткіші, ρ - тығыздығы, β - заттың төмендеуі.

Оптикалық зат жолай ұстап қалатын энергияның бөлігі мына өрнектен анықталады:

$$Q = (NA)^2 / 4n_1^2, \quad (2.3)$$

мұндағы NA – талшықтық сандық апертурасы, n_1 – өзекшенің сыну көрсеткіші. ТОВЖ-дағы сәулеленудің таралу ортасы, ол кварцтан жасалған цилиндрлік білікше. Жоғарыда атап өткендей ол өзекшеден және қабықшадан тұрады. n_1 – өзекшенің, n_2 – қабықшаның сыну көрсеткіштері және $n_1 > n_2$. Бірақ кварцтық

ОТ-тар жалаң күйінде кабель ретінде пайдалануға болмайды, өйткені мұндай ОТ-тардың қажетті иілгіштікті қамтамасыз етуі үшін диаметрі жүздеген микрон болуы керек және де олардың керекті механикалық беріктігі жоқ, сондықтан оларда үзілулерді және бұзылыстарды болдырмау үшін оптикалық талшықтарды полимерлік қорғаушы жабындармен орайды.

Диэлектриктен (кварцтан) жасалған қарапайым ОТ сыну көрсеткіші n_1 қоршаған орта (ауа) n_0 сыну көрсеткішінен үлкен болатын цилиндрлік білік.

Шекті өлшемді нақты көзден жарық сәулелері шоғы осы біліктің кіріс қырында сәулелердің екі түріне түрлендіріледі: меридионалдық, олар білік өсін кесіп өтеді және осы өсті кесіп өтпейтін, қиғаш.

Осы меридионал және қиғаш сәулелердің бір бөлігі, қоршаған ортамен шекарада толық ішкі шағылысуға түсіп, білік бойымен қымқиғаш жолдармен таралады. Осы сәулелермен сипатталатын сәулелік толқындар, өз-өзімен қабаттасып, бағытталатын толқындарды (модаларды) туындатады. Бағытталатын модалар өрісі ішінара біліктен қоршаған ортаға шығады да, келесі формулаға сәйкес экспоненциалды түрде төмендейді

$$\delta = \frac{\lambda}{2\pi n_1 \sqrt{\sin^2 \varphi - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}} \quad (\varphi > \varphi_{\text{кр}}), \quad (2.4)$$

мұндағы φ екі орта шекарасына сәуле түсу бұрышы, $\varphi_{\text{кр}}$ - әрқашанда болатын критикалық (шектік) түсу бұрышы, $\varphi = \varphi_{\text{кр}}$ болса, $\varphi_{\text{сыну}} = \pi/2$, яғни сынған толқын орталардың бөлініс шекарасы бойымен таралады.

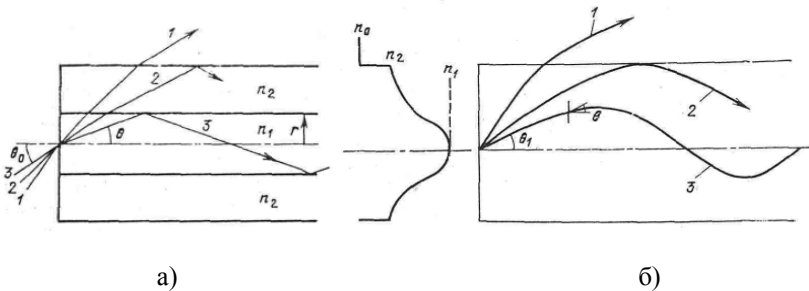
$\varphi > \varphi_{\text{кр}}$ болатын барлық түсу бұрыштарында сынған толқын болмайды да, сәуле толығымен оптикалық жағынан тығыздығы төмен ортадан толығымен шағылысады. Бұл құбылыс толық ішкі шағылысу деп аталады.

$\varphi < \varphi_{\text{кр}}$ бұрышпен шекараға келіп түсетін қалған сәулелер, қоршаған ортаға сәулеленіп шығады. Осылайша сәулелену толқындары (модалар) – шашыраған жарық пайда болады.

ОТ-та оптикалық сәулелену $n_1 > n_2 > n_0$ шарты орындалғанда таралады. n_1 мен n_2 арасындағы қатынасты сыну көрсеткіштерінің салыстырылмалы айырмасымен $\Delta = (n_1 - n_2)/n_1 = \Delta n/n_1$ сипаттау келісілген. От көпшілігі үшін $\Delta = 10^{-2} \dots 10^{-3}$.

Екі қабатты ОТ қабықшасы сыну көрсеткіші тұрақты мәнге ие, ал өзекшенің сыну көрсеткіші тұрақты да болуы мүмкін немесе белгілі заң бойынша радиус бойымен өзгеруі мүмкін. Сыну көрсеткішінің радиус бойымен өзгеруі сыну көрсеткішінің профилі деп аталып, $n(r)$ – мен белгіленеді. Оптикалық талшықтар $n(r)$ түріне байланысты сатылық және градиенттік болып бөлінеді. Сатылық ОТ-та өзекшенің сыну көрсеткіші тұрақты, градиенттік ОТ-ға келсек, өзекше ішінде сыну көрсеткішінің профилі радиусқа тәуелділігі монотонды кемитін функция түрінде сипатталады. Электрик білік бойымен меридионалдық сәулелердің, яғни өзекше өсін кесіп өтетін сәулелер таралуын қарайық. Кіріс қырға θ_0 бұрышпен келіп түсетін сәуле, θ бұрышымен сынады. Осы екеуінің арасындағы қатынас геометриялық оптикадан белгілі Снеллиус заңымен анықталады

$$n_1 \sin \theta_0 = n_2 \sin \theta. \quad (2.5)$$



2.3-сурет. Оптикалық талшық түрлері:

а) сатылы оптикалық талшық, мұнда 1-өзекше модалары (бағытталатын модалар); 2 – қабықша модалары(ағып шығатын модалар); 3 – сәулелену модалары; б) градиентті оптикалық талшық, мұнда 1 - сәулелену модалары; 2 – қабықша модалары; 3 - өзекше модалары

θ_0 шамасына байланысты (2.3 а-сурет) 1 – сәулелену толқындарын 2 – қабықша толқындарын және 3 өзекеше толқындарын аламыз. Егер түсу бұрышы әлдебір критикалық бұрыш $\theta_{кр}$ -ден кіші болса, онда сәуле толығымен өзекеше - қабықша шекарасында шағылысып, өзекеше ішінде қалады (3 – ші сәуле). Қабықша сыртына шығып кеткен 1 және қабықшадан шағылысқан 2 толқындары зиянды толқындар. $\theta_{кр}$ мәнін радианмен немесе градуспен беруге болады, бірақ әдетте осы бұрышты мына шамамен сипаттайды

$$A = n_0 \sin \theta_{кр} = (n_1^2 - n_2^2)^{0.5}, \quad (2.6)$$

ол сандық аппертура деп аталады.

(2.6) формула тек қана меридионалдық сәулелерді ескере отырып шығарылған. Бірақ та нақты жағдайда жарық сәулелері шоғының тек кішкене бөлігі меридионалдық сәулелерге түрлендіріледі.

Өзекеше диаметрі $d \leq 10\lambda$ және сонымен қатар $d > \lambda$ болғанда оптоалшықта модтар кеңінен таралады:

$$M = V \frac{2}{\lambda}, \text{ мұндағы } V = \pi d (n_1^2 - n_2^2)^{0.5} / \lambda, \quad (2.7)$$

мұндағы, d – біліктің диаметрі, λ – толқын ұзындығы, n_1 – біліктің сыну көрсеткіші, V – толқын саны.

$d \gg \lambda$ үшін модтардың саны мыңдаған болуы мүмкін. ОТ осіне жуық таралатын модтар төменгі, ал білік-қабықша шекарасына жуық таралатын модтар жоғарғы деп аталады. Төменгі модтардың таралу уақыты өте кішкентай (минималды), ал жоғарғы модтардікі өте үлкен (максималды). Максималды уақыт кідірісі $\Delta \tau_{ср. макс} \approx (1,5...2)(n_1 - n_2)L / C$, мұндағы L – талшықтың ұзындығы, C – вакуумдағы жарық жылдамдығы. $n_1 - n_2 \approx 0,05$ болғанда $\Delta \tau \approx 50$ нс/км. болады. Модтардың таралу уақыттары немесе жылдамдықтары арасындағы айырма модтық дисперсия деп аталады. Оптоалшықтың жиіліктік сипаттамасын жақсарту үшін модтық дисперсияны төмендету қажет. Градиенттік сыну көрсеткіші бар ОТ-та модалық

дисперсия айтарлықтай кіші. Оның модтарының саны $M = V \frac{2}{4}$, ол сатылы ОТ-қа қарағанда 2 есе аз. Градиентті ОТ-тың жиіліктік сипаттамалары сатылы көпмодалы ОТ-қа қарағанда біршама жақсырақ.

Сатылы оптогалшықтың бағытталатын модаларын өзекше арқылы ұсталып тұратын сәулелер көмегімен сипаттау қарапайым, әрі көрнекті және сондықтан да кеңінен пайдаланылады. Бірақ геометриялық оптиканың заңдарына негізделген осындай көзқарас, жарықтың электрмагниттік толқын түріндегі қасиеттерін ескермейді және көптеген жағдайларда оң нәтижелерге әкелмейді. Мысалы, жоғарыда қаралған сандық апертура түсінігінен, $\theta_{\max}$ бұрышымен анықталатын конустық шоқ сәулелерінің барлық шексіз жиынтығы да бағытталатын модалардың шексіз жиынтығын құрады. Бірақ бұл мұндай болмайды. Электрдинамикалық талдау көрсетеді, тек қырға белгілі түсу бұрыштары бар коникалық шоқтың сәулелерінің шектелген саны ғана оптогалшықтың бағытталатын модаларын тудыра алады. Геометриялық оптика көзқарасы жағынан мұны, қабықшасы бар шекарадан толық ішкі шағылысқанында толқынның, түсу бұрышына тәуелді фазалық ығысуы пайда болуымен түсіндіруіміз керек. Егер өзекшеде көп ретті шағылысқан толқындар фазалары бойынша қосылса, бағытталатын мода туындайды, Керісінше жағдайда осы толқындардың өрістері өзара өтемделеді (компенсацияланады).

Оптогалшық әрбір бағытталатын модасы өзіне тән электрмагниттік өріс құрылымын иемденеді. Бұл цилиндрлік координаттар жүйесінде (r, φ, z) Максвелл теңдеулері шешімінен тікелей шығып тұр, және де z өсі ОТ өсімен сәйкес келеді. Бұл жағдайда анық нәрсе, барлық бағытталатын модалардың екі топқа бөлуге болатындығы – симметриялы және симметриялы емес. Симметриялы емес модаларда өріс азимуталды бұрыш φ -ге тәуелді, ал симметриялық модаларда бұл тәуелділік жоқ.

Симметриялы модалар екі класқа бөлінеді:

электрлік немесе E - модалар, оларда $E_z \neq 0$, $H_z = 0$;

магниттік немесе H_z - модалар, оларда $E_z = 0$, $H_z \neq 0$.

Симметриялы емес модальдарда $E_z \neq 0$ және $H_z \neq 0$, яғни бұл аралас (гибридті) модальдар. Өрістің бойлық құрастырушыларының қайсысы басым түсуіне байланысты, аралас модальдар тағы екі класқа бөлінеді: HE модальдар және EH -модальдар.

Бағытталатын модальдардың электромагниттік өрісінің құрылымының ерекшелігі m және n ($m = 0, 1, 2, \dots$; $n = 1, 2, 3, \dots$) индекстерімен сипатталады: m - өрістің азимуталдық бұрыш φ - ге тәуелділігін анықтайды, ал n - радиус бойымен өріс өзгерісін. Модальдардың сәйкесті белгіленулері: E_{0n} , H_{0n} , HE_{mn} , EH_{mn} .

Бағытталатын модальдар саны N оптогалшық құрылымдық көрсеткіштерімен (n_1 , n_2 , a) және қабылданатын сәулелену толқын ұзындығымен анықталады:

$$N \approx \frac{V^2}{2}; \quad V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi a}{\lambda} A. \quad (2.8)$$

V шамасы нормаланған жиілік деп аталады.

V өзгеруі, яғни құрылымдық көрсеткіштер және толқын ұзындығы арасындағы қатынастың өзгеруі, бағытталатын модальдар санының өзгеруіне әкеледі. Әрбір жаңа моданың пайда болуы немесе жоғалуы тек қана нормаланған жиіліктің қатаң бір белгілі мәндерінде болады, олар критикалық деп аталады және V_{mn} деп белгіленеді. Әрбір модаға қатаң түрде өзінің V_{mn} анықталған мәні сәйкес келеді, яғни

$$V = V_{mn} \quad (m = 0, 1, 2, \dots, n = 1, 2, 3, \dots)$$

шарты осы бағытталатын моданың пайда болу немесе жоғалу шекарасын (n_1 , n_2 , a , λ арасындағы қатынастар) анықтайды. Геометриялық оптиканың түсініктемесі бойынша осы шарт моданы құратын сәулелер үшін $\varphi = \varphi_{кр}$ шартына сәйкес келеді. $V > V_{mn}$ ($\varphi > \varphi_{кр}$) болғанда сәулелер қабықшада сынады да модальдар жоғалады.

2.1-кесте

m	n -ге сәйкес V_{mn} мәндері			Бағытталатын мода түрі
	1	2	3	
0	2,405	5,520	8,654	E_{0n}, H_{0n}
1	0,000	3,832	7,016	HE_{1n}
1	3,832	7,016	10,174	EH_{1n}
2	5,136	8,417	11,620	EH_{mn}
2	2,443	5,535	8,661	HE_{mn}

2.1-кестеде кейбір симметриялы және симметриясыз бағытталатын модалар үшін V_{mn} нормаланған жиіліктің критикалық мәндері келтірілген. Осы кестеден көрініп тұр, бағытталған модалардың ішінен H_{11} модасы ерекше орын алатыны, оның нормаланған жиілігінің критикалық мәні $V_{11} = 0$. $V > V_{11}$ әрқашанда орындалатындықтан, коаксиалды жолдағы T – толқыны секілді осы мода, қандай да болмасын толқын ұзындығында және оптогалшық құрылымдық көрсеткіштерінде бар болып таралады. Осы мода негізгі немесе фундаменталдық деп аталады. Негізгі мода ОТ өсі бойымен бағытталған сәуледен туындайтыны анық, өйткені тек қана өстік сәуленің таралу сипаттамалары өзекше – қабықша шекарасындағы шағылысу шарттарына тәуелді емес. Негізгіден айырмашылығы басқа бағытталатын модалар жоғарғы деп аталады.

Жүргізілген зерттеулер оптогалшықтың бірмодалы жұмыс істеу күйі қолданыстық жағынан ең пайдалысы екендігін көрсетті, яғни оптогалшықта тек қана негізгі мода H_{11} таралатын режим.

Сондықтан таратылатын ақпараттың жылдамдағы мен көлемін ұлғайту мақсатында бірмодалық ОТ-тар шығарылған, олардың қашықтық бойынша энергиясы өшуі азғантай. Бірмодалық күйдегі жұмысты қамтамасыз ету үшін келесі шарттарды орындау қажет:

$$V \leq 2,405 \quad (2.9)$$

$$\text{және } d(n_1^2 - n_2^2)^{0,5} = 0,38. \quad (2.10)$$

Тарихи жағынан бастапқыда 2 дБ/км дейін өшуі бар 780...860 нм толқын ұзындықтарының аралықтары табылған. Оны мөлдірліктің бірінші терезесі деп атаған. Әрі қарай 0,4 дБ/км дейін өшуі болатын 1280... 1330 нм толқын ұзындықтарының аралығындағы екінші терезе, содан кейін 0,24 дБ/км өшуі болатын 1530...1560 нм аралықтағы үшінші терезе меңгерілген. Шамамен 1370...1410 аумағында 1,4 дБ/км дейінгі өшу өзгерісі болады, ол осы жиілік диапазонында фотондарды жұтатын ОН гидросиль тобынан туындайды. Қазіргі кезде 1580... 1650 нм диапазоны үшін сәулелендіргіштер мен фотоқабылдағыштар дайындап шығарылған. Олар мөлдірліктің төртінші терезесі болып табылады (*L-band*). 1400 нм толқын ұзындығында энергияның жұтылуын болдырмасақ, мөлдірліктің бесінші терезесі туралы сөз қозғауға болады. Оптоталшықтағы өшу екі құбылыспен анықталады: шашырау және жұтылумен. Жұтылу – бұл талшықтардың біртекті еместігінен оптикалық энергия жұтылып, оның жылуға түрленетін процесі. Бірақ қазіргі уақытта ОТ-та мұндай шығындарды ескермеуге болады. Оптоталшықтың микроиілістерінде өзекше-қабықша шекарасы пішіні кішкене өзгереді, ал бұл сигналдың өшуіне алып келуі мүмкін.

Бірмодалық оптикалық талшықта сәулеленудің таралу үрдісіне температура айтарлықтай әсер етеді, ол қосымша шуылдар туындауына немесе өшуге әкелуі мүмкін. (2.10) өрнегіндегі екі құрастырушы температураға тәуелді – d және $(n_1^2 - n_2^2)$. Температура 100°C-ға өзгерген кезде білік пен қабықшаның диаметрі сәл-пәл ғана өзгереді, өйткені температураға байланысты балқыған кварцтың температураға тәуелді сызықты ұлғаю коэффициенті шамамен $(2... 6) \cdot 10^{-7}$ тең.

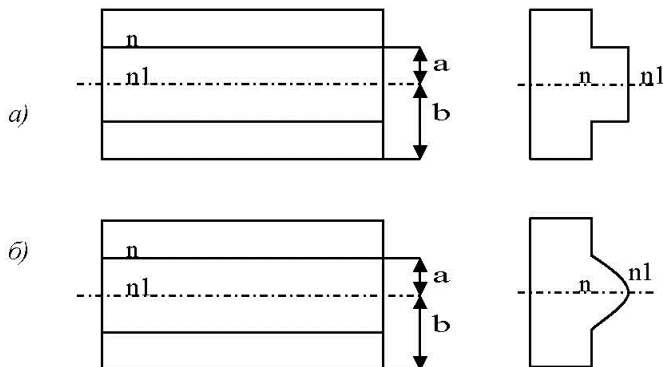
Сыну көрсеткіштері әртүрлі болғанда басқа жағдай орын алады. Қазіргі бірмодалық талшықтар үшін білік пен қабықшаның сыну көрсеткіштерінің айырмасы: $\Delta n \cong 0,003 ... 0,005 = (3...5) \cdot 10^{-3}$. Температура 100°C-ға өзгерген кезде бұл айырма $\Delta n = 0,004...0,006$ дейін өсуі мүмкін. Ол сәйкесінше 0,055...0,071-ден 0,063...0,078 дейінгі талшықтың сандық апертурасының өзгерісіне әкеледі. Δn мұндай өзгерісі тағы бір немесе бірнеше модалардың қозуына алып келуі

мүмкін. Сол кезде негізгі моданың энергиясы осы жаңа модаларға өтеді, ал бұл сигналдың қарқындылығының төмендеуіне әкеледі.

Кез келген сәулежел бойынша жарықты тасымалдау екі күйде жүзеге асуы мүмкін: бірмодалық және көпмодалы. Бірмодалық деп аталатын күйде тек қана бір негізгі мода таралады. Егер (8.8) теңсіздігі қанағаттандырылмаса, онда сәулежелде көпмодалық күй (режим) орнайды. Модалық күйдің типі сәулежел сипаттамасына тәуелді. Нақты айтсақ, ол білік радиусы мен сыну көрсеткішінің шамасына және тасымалданатын жарықтың толқын ұзындығына тәуелді. Бірмодалық режимде жұмыс істеуге арналған оптикалық талшықтарды бірмодалық оптикалық талшықтар деп атайды. Сәйкесінше көпмодалық күйге арналған талшықтар көпмодалық деп аталады.

Сәулежелдер 2 түрлі болады: сатылы пішінде біліктің сыну көрсеткіші n_1 барлық көлденең кескін бойынша бірдей, ал градиентті пішінде, яғни бірқалыпты пішінде оптоалшық ортасынан шетіне қарай азаяды (8.5-сурет). Жарықтандырғыштағы әрбір модалық фазалық және топтық жылдамдықтары жиіліктеріне тәуелді, яғни жарықтандырғыш дисперсиялық жүйе болып табылады. Осылайша шақырылған толқындық дисперсия тасымалданатын сигналды бұрмалаудың себептерінің бірі болып табылады. Бірмодалық режимде модтық дисперсия болмайды, сигнал көпмодалыққа қарағанда аз бұрмаланады. Дегенмен, көпмодалық жарықтандырғышқа үлкен қуат беруге болады. Оптикалық талшықтардың талшықтардағы жарық сигналдарының өшуі өте аз. Мысалы, 1,55 нкм толқын ұзындығындағы өшу 0,154 дБ/км тең.

Оптикалық зертханаларда фтороцирконаттық талшық деп аталатын одан да «мөлдір» талшықтар жасалуда. Теория жүзіндегі олардың сипаттамасы – 2,5 мкм толқын ұзындығында өшуі 0,02 дБ/км тең. Зертхана зерттеуінен көз жеткізілгендей, осындай талшықтар негізінде 1 Гбит/с тасымалдау жылдамдығымен 4600 км аралық қашықтығы бар регенерациялық аймақпен байланыс желісі құрылуы мүмкін.



2.4-сурет. Сатылы (а) және градиентті (б) талшықтардың сыну көрсеткіштері

Оптикалық талшықтың негізгі көрсеткіштері

Оптикалық талшық негізінен екі көрсеткішпен сипатталады: өшуімен және дисперсиямен. Осы көрсеткіштер оптикалық кабельдің іс жүзінде қолданылу мүмкіндігін және ең бастысы аралық регенераторлар немесе күшейткіштерсіз қаншама алыс қашықтыққа сигналдарды таратуға болатындығын.

Оптикалық кабельдегі сигналдардың өшуі оқшауланған тіке сызықты оптоталшықтардағы қуаттың өзіндік шығындарынан және оптоталшықтарды кабельге жинау нәтижесінде туындайтын қосымша (кабельдік) шығындардан пайда болады. Сонымен кабельдегі оптоталшықтың өшу коэффициенті

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_{\text{қос}}, \text{ дБ/км.} \quad (2.11)$$

Қуаттың өзіндік шығындары негізінен екі себеппен анықталады: ОТ затында энергияның жұтылуымен және қоршаған ортада энергияның шашырауымен. Жұтылудан шығындар заттың өзіндегі шығындардан (ультракүлгін және инфрақызыл жұтылу) және қоспалардағы жарықтың жұтылуымен байланысты шығындардан тұрады. Қоспа орталықтары, қоспа түріне қарай жарықты белгілі, әр қоспаға тән, толқын ұзындықтарында жұтады. Жұтылудың өзіндік шығындары инфрақызыл аймағында жылдам өсе бастайды. $\lambda > 1.8 \text{ мкм}$ болғанда кәдімгі

кварцтық ОТ күңгірт тартады. Шашыраудан шығындар оптоталшықты дайындап жасағанда еріксіз пайда болатын микроскопиялық бір текті еместіктерден туындайды. Жарық осы бір текті еместіктерге түскенде, олардан жан-жаққа шашырап кетеді. Бұл шығындар рэлеевтік шашырау деп аталады да, толқын ұзындығына λ^{-4} заңы бойынша тәуелді болады.

Қосымша (кабельдік) шығындар ОТ-ны қорғаушы полимерлік жабынмен жабу нәтижесінде және оптикалық кабельді жинастыру ОТ-тың деформациясынан туындайды.

Қорғаушы жабылғы, оптоталшықтардың механикалық сенімділігін арттыру үшін және оларды ОК ішіне тығыздап төсегенде араларындағы өзара бөгеуліктерді азайтуға арналған. ОТ қабықшасы қалыңдығы өскен сайын, оның сыртқы жабынмен шекарасында бағытталатын модалардың өрісі соншама кіші болады, сөйтіп қорғаушы қабаттағы қосымша шығындар азаяды. Екінші жағынан қабықша қалыңдығының ұлғаюы ОТ икемділігін нашарлатады және оның бағасының өсуіне әкеледі. Сондықтан әдетте көпмодалы ОТ-да қабықша диаметрі өзекше диаметрінен 2,0 ... 2,5 есе үлкен етіп таңдалады. Бұл жағдайда қорғаушы қабаттағы шығындар 0,1 дБ/км-ден аспайды. Бір модалы ОТ-да берілген көрсеткіштер арасындағы қатынастар өзгеше болады. Өйткені негізгі моданың өрісі қабықша ішіне айтарлықтай тереңдікке еніп кететіндіктен, жабындағы шығындардың кішкене шамасын қамтамасыз ету үшін, қабықша қалыңдығы 10 еседен аса өзекше радиусынан артық болуы тиіс.

Оптоталшықпен импульстік сигналдар таралғанда импульстер амплитудасы ғана өзгермей, сондай-ақ олардың қалпы өзгеріп, – импульстер ені ұлғаяды. Осы құбылыс дисперсия деп аталады. Жеткілікті үлкен енділікте импульстер қабаттасып кете бастайды, бұл қабылдауда көрші импульстерді ажырату мүмкіндігін қиындатады және кодтық қателіктерді тудырады. Сөйтіп, дисперсия ОТ арқылы сигналдарды таратудың шекті жылдамдығын анықтайды, ал анықталған жылдамдық үшін, өшумен қатар регенераторлар арасындағы максималды қашықтықты шектейді.

Дисперсия жалпы жағдайда екі себеппен анықталады:

1) сәулелену көзінің бекітілген толқын ұзындығында бағытталатын модалардың фазалық (топтық) жылдамдықтарының айырмашылықтарымен;

2) әрбір бағытталатын моданың фазалық (топтық) жылдамдығының толқын ұзындығына тәуелділігімен, яғни белгілі $c/v_\phi = \beta / k_0$ қатынасына сәйкес сәулелену көзі спектрі шегінде фаза коэффициентінің β (λ) сызықты еместік тәуелділігінен.

Көпмодалы ОТ-та таратылатын импульстік сигнал бағытталатын модалардың ақырғы саны жиынтығынан құралады. Сәулелену көзінің бекітілген толқын ұзындығында бағытталатын модалардың фазалық (топтық) жылдамдықтарының айырмашылығы мынаған әкеп соғады, осы модалардың ОТ бойымен кірістен шығысқа дейін өту уақыты бірдей болмайды. Осының нәтижесінде олар құратын импульс ені ұлғаяды, және де ұлғаю шамасы ең баяу және ең шапшаң модалардың таралу уақыттары айырмасына тең. Айтылған құбылыстың модаларлық дисперсия деген атауы бар.

Оптикалық кабель.

Оптикалық кабель (ОК) оптикалық диапазондағы модуляцияланған электромагниттік тербелістердің ішкі құрамындағы ақпаратты тасымалдап таратуға арналған.

Оптикалық кабельдің өзі жалпы жағдайда оптоалшықтан, ОТ-ты біріншіден ОК-ді жасау барысында, тасығанда, салғанда және жұмысқа пайдаланғанда туындайтын механикалық қысымдардан қорғайтын және екіншіден 25... 30 жылға жететін ОК-дің қызметтік мерзімінде ОТ тарату көрсеткіштерін тұрақтандырып ұстауға арналған элементтер жиынтығынан тұратын күрделі көпкомпонентті құрылым. Осыдан басқа ОК құрылысы монтаждау қарапайымдылығын және бағасының арзан болуын қамтамасыз етуі керек.

Қазіргі оптикалық кабельдерді арналуы бойынша келесі топтарға бөледі:

- магистралдық;
- аймақтық (ішкі аймақтық);
- қалалық;

- жергілікті;
- монтаждық;
- далалық.

Магистралдық және аймақтық ОК-дер қазіргі заманғы ақпараттың барлық түрін алыс қашықтыққа таратуға арналған. Сондықтан олардың өшулігінің төмен және дисперсиясы аз (үлкен кең жолақтылығы) болуы тиіс.

Қалалық ОК-ді аудандық АТС пен байланыс тораптары арасында жалғаушы жолдар ретінде қолданады. Олар ақпаратты қысқа қашықтықтарға (5... 15 км) аралық ретрансляциялық құрылғыларсыз және салыстырмалы аз арналарды таратуға есептелген.

Жергілікті кабельдер кәсіпорындар мен қозғалмалы нысандар және жергілікті есептеу желілері ішінде ақпаратты тарату үшін пайдаланылады, ал монтаждық ОК - компьютерлер мен аппаратураны ішкі және блокаралық монтаждау үшін.

Далалық ОК-дер электрлік және оптикалық кабельдік магистралдардағы апаттарда жөндеу қалпына келтіру жұмыстарына, сондай-ақ тактикалық әскери арналуы бар жасырын байланысқа арналған.

Қазіргі уақытта сериялы жасалатын ОК-де бірмодалы және көпмодалы ОТ-тар қолданылады, оларда 0,8-ден 1,6 мкм дейінгі толқын ұзындықтары диапазоны пайдаланылады, бұл жақын инфрақызыл толқындарға сәйкес келеді. Болашақта жұмыс диапазоны 5-тен 10 мкм дейінгі толқын ұзындықтары бар алыс инфрақызыл аумағына қарай ұлғаюы мүмкін. Оптикалық кабельдің бір немесе бірнеше сәулежолы болады.

Оптикалық кабельдерде оптикалық талшықтардың келесі түрлері кең тараған: көпмодалы ОТ: 50/125 мкм, 62,5/125 мкм; бірмодалы ОТ: 8... 10/125 мкм (сандар өзекше мен қабықша диаметрлерін көрсетеді).

Магистралдық, аймақтық және қалалық ОК-де қолданылатын оптогалшықтар геометриялық өлшемдері және тарату көрсеткіштері. Электрбайланыс бойынша Халықаралық одақтың (МСЭ-Т) келесі ұсыныстарына сәйкес келуі тиіс:

- G651. 50/125 мкм көпмодалы градиентті талшықты-оптикалық кабель сипаттамалары.

- G652. Бірмодалы талшықты-оптикалық кабель сипаттамалары.

- G653. Дисперсиясының ығысуы бар бірмодалы талшықты-оптикалық кабель сипаттамалары.

- G654. 1,55 мкм толқында минимизацияланған өшуі бар бірмодалы талшықты-оптикалық кабель сипаттамалары.

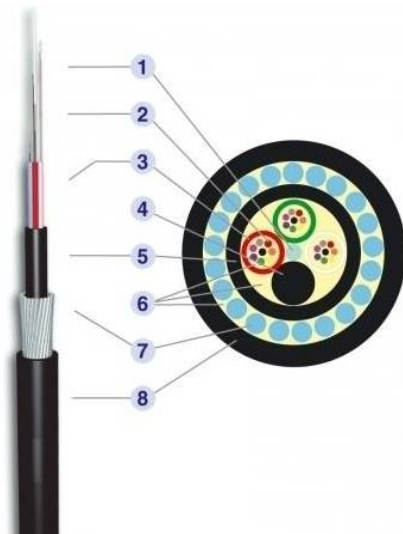
- G655. Нөл емес дисперсиясы бар бірмодалы талшықты-оптикалық кабель сипаттамалары.

2.2-кестеде оптоалшық типтік сипаттамалары берілген.

2.2-кесте

ОТ түрі	Сандық апертура	Жұмыстық диапазон, мкм	Өшу Коэффициенті, дБ/км	Кең жолақ-Коэффициенті, МГц · км	Үлестік хроматикалық дисперсия пс/км·нм
Көпмодалы градиенттік ОТ					
50/125 мкм	0,2	0,825...0,875	$\leq 2,7$	≥ 400	
(МСЭ-Т G 651)		1 1,27...1,34	$\leq 1,0$	≥ 600	
62,5/125 мкм	0,28	0,825...0,875 1,27...1,34	$\leq 3,5$ $\leq 2,0$	≥ 200 ≥ 500	
Бір модалы ОТ					
SF 9/125 мкм	0,1	1,285...1,33	$\leq 0,43$		$\leq 3,5$
(МСЭ-Т G652)		1,525...1,575	$\leq 0,28$		≤ 18
DSF 8/125 мкм	0,1	1,285...1,33	$\leq 0,43$		≤ 18
(МСЭ-Т G653)		1,525...1,575	$\leq 0,28$		$\leq 3,5$

Қазіргі уақытта қалалық телефон желісі үшін төрт және сегіз талшығы бар ОК маркалы кабельдер шығарылып жатыр. 2.5-суретте ОМЗКГМ оптикалық кабелінің құрылымы бейнеленген, ал 2.3-кестеде ОМЗКГМ кабелінің техникалық көрсеткіштері берілген. Оптикалық талшықтар (2) өрмесі – орауышты, концентрленген. Ортасында – 4 пластикалық түтікте өте берік полимерлі жіптерден жасалған күштік элемент 1 орналасқан. Сыртында полиэтилен қабықша 8 бар.



2.5-сурет. ОМЗКГМ типті оптикалық кабель конструкциясы:

1 – орталық күштік элемент; 2 – оптикалық талшық; 3 – оптикалық модуль; 4 – кордель; 5 – ішкі полиэтиленді қабықша; 6 – гидрофобты гель; 7 – болат цинкталған сымдардан жасалған бронь; 8 – сыртқы қабықша: полиэтиленді, жануды таратпайтын материалдан

Талшықты-оптикалық кабель жабынды материалы да SiO_2 -ден. Негізгі жабынды – UV акрелат. Әртүрлі модульдерде ол екі қабатты түрде қолданылады. Ішкі қабат сыртқыға қарағанда әлдеқайда жұмсақ. Бұл шыны талшықты микроилгендегі және абразивті тозудағы шығындардан қорғайды. Негізгі жабылғы өлшемі $250 \text{ мкм} \pm 15 \text{ мкм}$ -ге тең. Негізгі жабылғы алып тастау керек болғанда механикалық құралдар көмегімен жеңіл алынады. Жабынды алып тастау үшін ешқандай химиялық құрамдар керек емес.

Талшықты оптикалық кабельдің (ТОК) сыртқы қабығына қарағанда жоғары сыну коэффициенті бар өзекшесі GeO_2 (гермонит қостотығы) қосымшасы бар SiO_2 кремний қостотығынан тұрады.

Арналуы	Барлық топтағы топырақта, тек мұз катудан деформацияға ұшырағаннан басқа, кабельдік турбаларда, блоктарда, көпірлер мен шахталардағы коллекторларда, терең емес батпақта және кеме жүрмейтін өзендерде кабель салу үшін
Оптикалық талшық түрі:	Нөлдік ығысқан дисперсиясы бар бірмодалы
Оптикалық талшықтар саны	12
Сыртқы диаметрі, мм	16,7
Массасы, кг/км	319-351
Рұқсатты тартылу күші, кН	7,0 ... 20,0
1550 нм толқында өшу коэффициенті, дБ/км	0,22
Рұқсатты топтасу күші, кН/см	0,9 кем емес
Іілу минималды радиусы, мм	335
Пайдалану температурасы, °С	- 40 ... + 600
Құрылыстық ұзындығы, м	10000-ға дейін
Қызметтік мерзімі, жыл	25 жылдан кем емес

Талшық, буферлік труба деп аталатын оптикалық модуль ішіне салынады. Буфер ішінде бір немесе одан көп талшықтарды орналастыруға болады; талшықтар статистика жағынан турба ортасында еркін жатады. Буферді бұрау нәтижесінде аса тартылу шамамен 0,3-0,5%-ды құрайды. Бұл дегеніміз, егер кабельге тартып созатын күш берілсе, осыдан және де өзекшеге, кең ауқымда салыстырмалы ұзару талшық жүктемесіне әсер етпейді және өшудің ұлғаюы білінбейді. Буферлік турба әдісі температура айырмашылықтарында кабельдің қысымдалу немесе ұлғаю жағдайында да қолданылады. Осы құрылым көлденең қысымдауға да жақсы қорғаныс бола алады.

2.2. Сәулелендіру көздері

Сәуле шығарғыш диод. Кең қолданысқа арналған талшықты-оптикалық тарату жүйелерінде (ТОТЖ) сәулелену көздері ретінде қазіргі кезде көбінесе шалаөткізгіш сәуле шығарғыш диодтар мен шалаөткізгіш лазерлер пайдаланылады. Оларға біріншіден өте кішкентай микроминиатюрлы өлшемде болғандықтан, таратушы оптикалық модульдерді интегралдық жасалымда орындауға мүмкіндік береді. Осыдан басқа шалаөткізгіш жарық көздеріне арзандылығы мен қарапайымдылығы тән. Қазіргі заманғы ТОТЖ-да фотодиод (жарық қабылдағыш) ретінде *p-i-n* немесе жоғары сезімталдығы бар ағындық фотодиод қолданылады.

Оптикалық жарық шығару көздеріне келесі талаптар қойылады: сәулелену толқын ұзындығы оптикалық талшықтың (ОТ) спектралдық шығындарының бір минимумымен сәйкес келуі тиіс, сәулелену көзі жеткілікті қуатты болып, ОТ-қа сәулеленудің тиімді енуін қамтамасыз етуі керек, жоғары сенімділігі және үлкен қызмет көрсету мерзімі болуы қажет.

Кеңінен қолданылатын сәуле шығарғыш диодтар (СШД) және лазерлік диодтар (ЛД) 0,8... 1,6 мкм толқын ұзындықтары диапазонында жұмыс істейді, олар ОТ-тағы азғантай шығындарымен сипатталып, талшық ішіне жеткілікті үлкен қуатты (0,05... 2 мВт) енгізуге қабілеті бар.

СШД сәулеленетін шалаөткізгіш *p-n* өткелі болып табылады, оның жарық шығаруы өткел тіке бағытта ығысқанды, яғни *p-n* өткеліне тікелей кернеу берілгенде (*n*-типті шалаөткізгішке минус полюсымен) оның ішіндегі заряд тасымалдаушылардың (электрондар мен кемтіктердің) рекомбинациясы нәтижесінде туындайды, яғни спонтанды (еріксіз ішкі әсерлік) эмиссия пайда болады. Сәулелену жиілігі

$$f = c/\lambda = E_q/h, \quad (2.12)$$

мұндағы h – Планк тұрақтысы, c – жарық жылдамдығы, E_q – энергетикалық деңгейлер ені, яғни рұқсат етілмеген аймақ ені. Спонтанды сәулеленуі – төменгі монохроматикалы, яғни когерентті емес сәулелену. Сәулелену қуатының толықтыру

(инжекция) тогына $P = f(I_{и})$ тіке сызықты тәуелділігі бар, бұл оптикалық сәулеленуді модуляциялау үшін таратудың аналогтық жүйелерін пайдалануға мүмкіндік береді. Модуляцияның максималды жиілігі

$$f_{\max} = 1/(2\pi \tau_{и} \eta_{\text{ш}}), \quad (2.13)$$

мұндағы $\eta_{\text{ш}}$ – шалаөткізгіш затының ішкі кванттық тиімділігі (азадағы туындаған фотондар санының онда инжекция жасаған тасымалдаушылар санына қатынасы), ол СШД сәулелену қабілетін көрсетеді, $\tau_{и}$ – негізгі емес заряд тасымалдаушылар өміршеңдік уақыты.

Сәулелену қуаты уақыт бойынша келесі заңға сәйкес өзгереді:

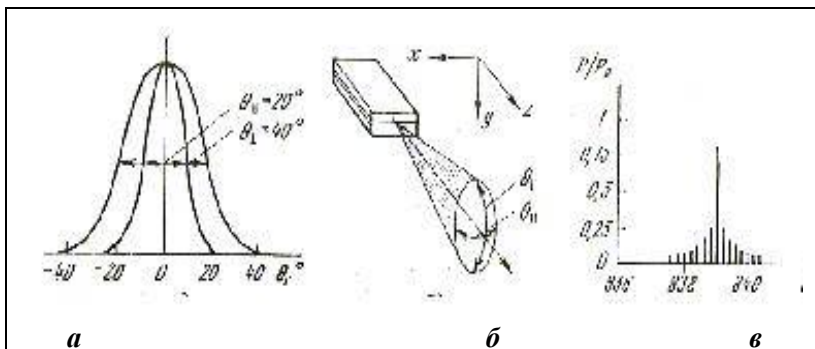
$$P(t) = P(0)e^{-t/\tau},$$

Мұндағы $t_{\text{сл}} = A I_u^m e^{-E_{\text{сл}}/(kT)}$ – СШД жұмыстық уақыт мерзімі, A мен m – СШД материалы және құрылысымен анықталатын тұрақтылар, әдетте $m \approx 1...2$; $E_{\text{сл}}$ – активациялық энергия.

ТОТЖ-да пайдаланылатын СШД жұмыстық мерзімі жерүстілік кабельдер үшін 10^5 сағат, ал суастылық кабельдер үшін 10^6 сағат болуы тиіс.

Шалаөткізгіш лазер.

Шалаөткізгіш лазерлер қосарланған гетерооткелі бар, әдеттегі шалаөткізгіш сәулелік диодтағыдай p - n өткелі болатын, бірақ құрылысы күрделі, когерентті жарық көздері болып табылады. Шалаөткізгіш лазерлерде, гелий-неон лазерлеріндей жарық энергиясы екі шағылыстырушы беттіктер арасында шағылысуға түседі. Өте теп-тегіс беттікті кристалдың жарылғанында қабаттарға бөлінуі арқасында алады. Осы айналы екі беттіктен жарықтың көпеселі шағылысуы нәтижесінде резонанс пайда болып, лазер қоздырылып, қуаты шұғыл өсіп, өте таза когерентті жарық шығарады, оның сәулелік диод жарығынан көп айырмасы бар.



2.6-сурет. Лазердің сәулелену бағытталу диаграммасы (а), сәулеленетін қуаттың өзара перпендикуляр бағыттардағы бұрышқа тәуелділігі (б), лазердің нормаланған сәулелену спектрі (в)

Температураның әсерін жою үшін өтемдеу (компенсация) және термокомпенсация схемаларын қолданады. Лазердің сәулеленуінің бағытталу диаграммасы (БД) симметриялы емес (2.6 б-сурет). Диаграмма ені (8.7 а-сурет) жартылай қуат деңгейінде $< 20^\circ$ өткелге параллель жазықтықта, және де $> 40^\circ$ -тан перпендикуляр жазықтықта. Суреттен көрініп тұрғандай, БД-ның эллиптикалық қалпы бар. Лазер сәулеленуінің үлкен шашыраңқылығы оны кішкене сандық апертурасы бар талшыққа ендіруге кедергі жасайды, сондықтан арнайы үйлестіргіш құрылғыларды қолдану қажеттілігі туындайды. Лазер спектрі дискретті, бір моданың сәулелену сызығы ені, ережеге сәйкес, 0,01 нм-ден аспайды. Модаларды іріктеу үшін арнайы әдістер қолданылады. Бір моданы сәулелендіріп шығаруға қабілетті лазерлер үлестірілген таңдаушылығы бар – ҮТЛ (DBR) және үлестірілген бреггтік шағылысуы бар ҮБШ (DBR) лазерлер деп аталды.

2.3. Талшықты-оптикалық байланыс жүйесі (ТОБЖ) жіктемесі және ТОБЖ-ны құру ұстанымдары

Қазіргі уақытта ТОБЖ байланыс және кабельдік теледидар жүйелерінде, деректерді тарату және басқару жүйелерінде, борттық аппаратурада және де басқа салаларда кеңінен қолданыс тапты.

Салыну ұзындығы бойынша ТОВЖ-ні үш топқа бөлуге болады: жергілікті (ішкі нысандық), орташа ұзындықты және магистралдық.

Жергілікті ТОВЖ кәсіпорын ішінде, азаматтық және әскери арналуы бар қозғалмалы нысандарда, есептеу кешендерінде деректерді тарату желілерінде пайдаланылады. Орташа ұзындықты ТОВЖ-лер интегралдық қызмет көрсетудің цифрлық желілеріне және тактикалық әскери арналуы бар байланысқа арналған. Ал магистралдық ТОВЖ-лер магистралдық және ішкі аймақтық жүйелер мен желілерде қашықтық көпарналы байланыс үшін пайдаланылады.

Заманауи ТОВЖ-де ақпаратты тарату үшін арналарды уақыттық жиіліктік бөлу әдістерін қолданады. Сол және басқа әдіспен қалыптастырылған электрлік сигнал оптикалық сәулелену көзінің оптикалық тасымалдаушысын модуляциялайды. Фотокабылдағыш (фотодиод, ағындық фотодиод) шығысындағы электрлік ток қабылданатын жарық ағыны қуатына (қарқындылығына) пропорционал болғандықтан, әдетте оптикалық тасымалдаушының қарқындылығының модуляциясы қолданылады, бұл жағдайда модуляциялайтын электрлік сигналдың амплитудасы оптикалық көз сәулелену қуатын анықтайды.

Модуляцияның екі негізгі тәсілі бар – ішкі және сыртқы. Ішкі модуляция оптикалық сәулелену көзіне тікелей әсер ету арқылы жүзеге асырылады. Осылайша қарқындылықтың модуляциясын алады. Сыртқы модуляция арнайы құрылғы – модулятор көмегімен модуляцияланбайтын көздің сәулеленуі көрсеткіштерін өзгертеді. Бұл жағдайда тек қана қарқындылық модуляциясын жүзеге асырып қоймай, жиіліктің, фазаның және оптикалық тасымалдаушының поляризациясы өзгерісіне негізделген, басқа да модуляция түрлерін іске асыруға болады, бірақ олар кейбір себептерден іс жүзінде әлі кең қолданыс таба алмай отыр.

Қазіргі заманғы ТОВЖ-лер әдетте цифрлық болып табылады, көбінесе қарқындылықты импульсті-кодтық модуляциялау түрін қолданады (КИКМ), өйткені бұл әдісте оптикалық көздер мен қабылдағыштардың амплитудалық сипаттамаларының тіке сызықтылығына қойылатын талаптар айтарлықтай төмендейді.

Цифрлық ТОВЖ типтік құрылымдық сұлбасы 2.8-суретте көрсетілген. Жүйенің негізгі элементтері – оптикалық жолдық тракт және ақырғы құрылғылар: таратқыш және қабылдағыш станциялар.

Таратушы станцияда N біріншілік цифрлық электрлік сигналдары (негізгі цифрлық арналардың НЦА) ақпаратты таратудың 64 кбит/с жылдамдығымен типтік көпарналы тарату жүйесінің (КТЖ) ақырғы аппаратурасына келіп түседі. КТЖ шығысынан топтық N – арналы электрлік сигнал үйлестіру құрылғысына (кодерге) беріледі, онда ол жолдық күрежол бойымен тарату үшін ең ыңғайлы қалыпқа түрлендіріледі. Сосын оптикалық таратқышта электрлік сигнал оптикалық тасымалдаушыны модуляциялаумен оптикалық сигналға түрлендіріледі де, жолдық күре жол оптоалшық бойымен таратылады.

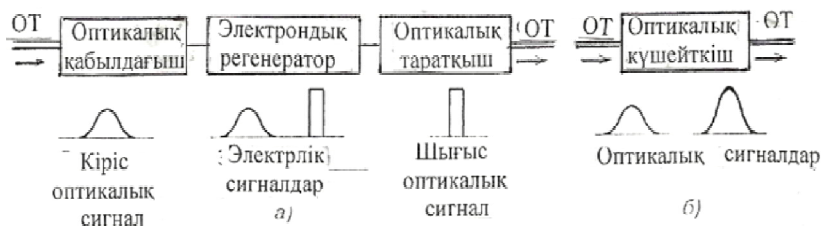


2.8-сурет. Цифрлық ТОВЖ типтік құрылымдық сұлбасы

Қабылдаушы станцияда қабылданған оптикалық сигналды N біріншілік цифрлық электрлік сигналдарға қайта түрлендіру жүзеге асырылады. Бұл үшін ретті түрде оптикалық қабылдағыш, үйлестіру құрылғысы (декодер) және типтік КТЖ аппаратурасы пайдаланылады.

Оптикалық талшық бойымен таралатын оптикалық сигналдар, кабельдің өзіндегі шығындар, сондай-ақ құрылыстық ұзындықтар қосылыстарындағы және аппаратураны жалғау жерлеріндегі ақырғы ажыратпа жалғаушылардағы шығындар

салдарынан өшеді. Осыдан басқа, импульстік сигналдардың дисперсиясы тарату арнасында шуылдарды көбейтеді де қабылдауда кодтық қателіктерді тудырады. Сондықтан, егер қабылдаушы және таратушы станциялар бір-бірінен үлкен қашықтықта орналасқан болса (мысалы, бірнеше жүздеген км-де), қосымша бір немесе бірнеше аралық ретрансляциялық құрылғылар қажет болуы мүмкін. Осындай құрылғылар ретінде жолдық регенераторлар және оптикалық күшейткіштер пайдаланылады (2.9-сурет).



2.9-сурет. Ретрансляциялық құрылғылар сұлбасы:
а – жолдық регенератор, б – оптикалық күшейткіш

Жолдық регенератор (2.9 а-сурет) оптикалық сигналдың бастапқы түрін қайта қалпына келтіреді. Жолдық регенератор оптикалық қабылдағыштан, электрондық регенератордан және оптикалық таратқыштан тұрады. Қолда бар элементтік базада өшуді өтемдеу мен бұрмалануларды түзетуді электрлік сигналдармен жүргізген орынды болады. Кіріс сигнал әуелі электрлік қалыпқа түрлендіріледі, күшейтіледі және түзетіледі, содан кейін оптикалық сигналға түрлендіріледі.

Оптикалық күшейткіштің (2.9 б-сурет) регенератордан айырмашылығы ол оптоэлектрондық түрлендіруді жүзеге асырмайды, тек қана оптикалық сигналды тікелей күшейтеді. Бұл жағдайда сигналдың бастапқы түрі қайта қалпына келмейді, бұл – оптикалық күшейткіштің кемшілігі.

Кабельдік теледидар желілерін құрғанда аналогтық ТОВЖ қолданылады, оларда оптикалық таратқыш кең жолақты аналогтық электрлік сигналды аналогтық оптикалыққа түрлендіруді іске асырады, ал оптикалық қабылдағыш – керісінше түрлендіруді.

Осында ақырғы құрылғылардың амплитудалық сипаттамаларының жоғары тіке сызықтылығы болуы тиіс, ал аналогтық ретрансляциялық құрылғы, негізінен, күшейткіш функциясын атқарады, ол пайдалы сигналмен қатар кірістік шуылды да күшейтеді.

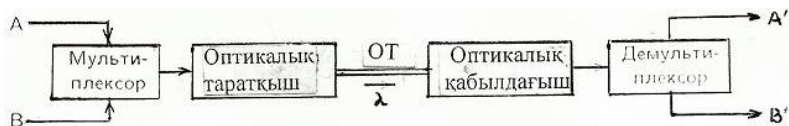
Қарастырылған құрылымдық сұлба бір ОТ арқылы бір бағытта сигналдарды таратуға арналған, ол аналогтық екі сымды электрлік желіге ұқсас. Қарама қарсы бағытта тарату үшін ақырғы және жолдық құрылғылардың тағы бір құрамасы және екінші ОТ керек. Әдетте екі жақты бағытта да сигналдар бір және сол оптикалық диапазонда беріледі (осы арқылы жабдықтың бір тектестігіне қол жетеді), ал ОТ-тар бір оптикалық кабельге біріктіріледі, өйткені олар арасындағы өзара әсер жоқ деп айтуға болады. Сонымен ТОВЖ бір жолақты және бір кабельді болады.

ТОВЖ-де таратылатын ақпараттың көлемін (ақпараттық сыйымдылықтың) ұлғайту негізінен ұқсас арналуы бар электрлік жүйелеріндегідей ұстанымдар бойынша іске асырылады. Бұл, ең алдымен, әрбір тарату бағыты үшін ОТ сандарын көбейту. Бір көпталшықты ОК-мен қарастырылған сұлба бойынша бірнеше N-арналық ТОВЖ жолдық тракттары ұйымдастырылады, және де әрбір бағыт үшін ОТ-тар жартысы пайдаланылады (резервті қосқанда). Осы ОК өткізгіштік қабілетін ұлғайтудың экстенсивті (үлкейтуші) тәсілін әдетте орташа және кішкентай ұзындығы бар ТОВЖ-де ақпаратты таратудың салыстырмалы төменгі жылдамдықтарында (секундына оншақты мегабит) қолданады.

Магистралдық ТОВЖ өткізгіштік қабілетін ұлғайтуға тек көп талшықты ОК-ді қолданумен ғана емес, сондай-ақ таратылатын ақпаратты әртүрлі әдістермен тығыздау әдістерімен тарату жылдамдығын (арналар санын N) арттырумен – мультиплексирлеумен қол жеткізуге болады. Мультиплексирлеуді, яғни бір топтық сигналға бірнеше таратқыштардың сигналдарын біріктіруді, не электрлік сигналдарды оптикалыққа түрлендіру алдында, не түрлендіруден кейін жүзеге асыруға болады.

Электрлік сигналдарды уақыттық мультиплексирлеудің қарапайым сұлбасы 2.10-суретте бейнеленген. А және В кірістерінен келіп түсетін импульстердің екі сериясы мультиплексор

көмегімен белгілі кезектесу тізбегімен топтық сигналға бірігеді. Соңғысы оптикалық таратқышта оптикалық тасымалдаушыны модуляциялайды, сосын түрлендірілген жарықтық ағын ОТ іші бойымен өтеді де, оптикалық қабылдағышта қайтадан электрлік сигналға айналады. Осы сигнал демультиплексормен, кірістегіге ұқсас, екі импульстер сериясына бөлініп, А' және В' шығыстарына келіп түседі.



2.10-сурет. Электрлік сигналдарды уақыттық мультиплексирлеудің сұлбасы

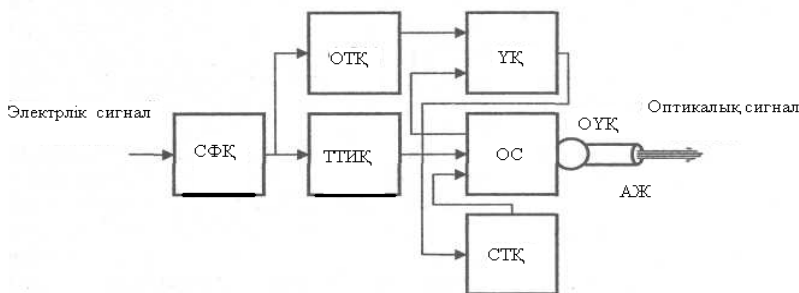


2.11-сурет. Оптикалық сигналдарды толқындық мультиплексерлеудің сұлбасы

Оптикалық сигналдарды толқындық (спектралдық) мультиплексирлегенде (2.11-сурет) қарапайым жағдайда А және В кірістерінен электрлік импульстердің екі сериясы оптикалық таратқыштарға келіп түседі, онда олар сәйкесті түрде λ_1 және λ_2 толқын ұзындықтары бар оптикалық тасымалдаушыларды модуляциялайды. Оптикалық мультиплексор монохроматикалық жарық ағындарын, оптогалшық арқылы өтетін топтық ағынға біріктіреді. Оптикалық демультиплексор топтық ағынды екі монохроматты жарық ағынына бөледі, ал оптикалық қабылдағыштар оларды электрлік импульстердің екі сериясына түрлендіреді.

2.4. Таратушы және қабылдаушы оптикалық модульдер

Құрылымдық сұлбасы 2.12-суретте көрсетілген таратушы оптикалық модуль (ТОМ) электрлік сигналды шалаөткізгіш лазердің қарқындылығы бойынша модуляцияланған оптикалық сәулеленуіне түрлендіреді.



2.12-сурет. Таратушы оптикалық модуль құрылымдық сұлбасы:

СФТ – сигналдың форматын түрлендіргіш, ОТҚ – оптикалық толықтырғыш құрылғы, ТТИҚ – толықтырушы тогы импульстерін қалыптастырушы, УҚ – үйлестіргіш құрылғы, ОС – оптикалық сәулелендіргіш, СТҚ – сигналдың тогын қалыптастырғыш, ОУҚ – сигнал тогын қалыптастырғыш, АЖ – ажыратқыш жалғаушы

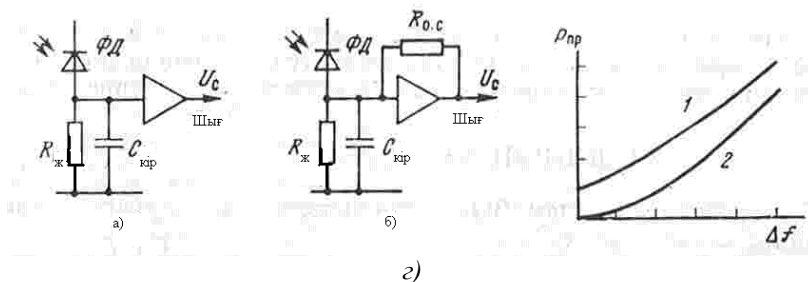
Ақпараттық электрлік сигнал форматты түрлендіргіш СФТ кірісіне келіп түседі, ол бастапқы биполярлық импульстер тізбегінен униполярлық импульстер тізбегін қалыптастырады. Мұның қажеттілігі, өйткені сәулеленіп шығатын сигнал қарқындылығы бойынша модуляцияланады (бірлікке сәулелену импульсі сәйкес келеді де, нөлге импульстің жоқтығы).

Әрі қарай сигнал лазердің толықтыру тогы импульстерін қалыптастырғышқа (ТИҚ) келіп түседі. ТИҚ негізгі арналуы токтың жеткілікті қуатты импульстерін қалыптастыру, одан басқа мұнда бақылаудың кейбір функциялары орындалуы мүмкін, соның ішінде, бақылау жүйесіне сәйкесті сигналдарды беру мен толықтыру тогының максималды мәнін шектеу.

ТИҚ шығысынан ток импульстері оптикалық сәулелендіргішке (ОС) беріледі.

Қабылдағыш станцияның оптикалық қабылдағышы оптикалық сигналды электр тогына (кернеуіне) түрлендіруді іске асырады, бұл сигналдарды электрондық схемалармен өңдеуге мүмкіндік береді.

Қабылдағыш оптикалық модуль (ҚОМ) (2.13-сурет) - фотодетектордан ($p-i-n$ – фотодиодтан немесе ағындық фотодиодтан) және аз шуылдайтын алдын ала күшейткіштен тұратын, ортақ тұрғыда жинастырылған құрылғы. Фотодетектор ретінде $p-i-n$ диодын пайдаланғанда алдын ала күшейткіштің электрондық схемасы қарапайымдалады.



2.13-сурет. ҚОМ принципіал схемасы:

а) күшейткішке фотодетекторды қосуден; б) трансимпеданстық күшейткішпен; г) аналогтық (1) және цифрлық (2) сигналдарды қабылдағандағы қажетті оптикалық қуаттың жолақ еніне тәуелділігі

Талшықтық-оптикалық технологияның кемшіліктерін атап өтейік.

1. Оптикалық шығындары аз және қосып-ажырату мүмкіншілігі жеткілікті оптикалық коннекторлар (жалғағыштар) қажеттілігі. Байланыс желісінің мұндай элементтерін жасау дәлдігі сәулелендіру толқындарының ұзындығына сәйкес келуі тиіс, яғни қателіктері микрон бөлігіндей болуы керек. Сондықтан оптикалық байланыс желісінің мұндай сыңарларын өндіру қымбат тұрады.

2. Екінші кемшілігі, осы оптикалық талшықты монтаждау үшін өте дәл (прецизионды), сондықтан қымбат техникалық жабдықтар қажет.

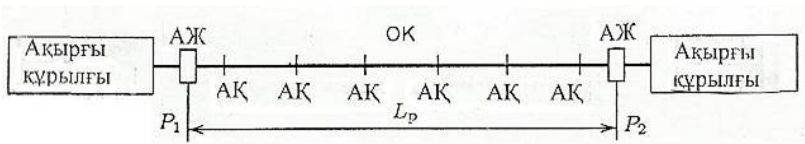
3. Авария болған жағдайда оптикалық кабельдерді қайта қалпына келтіру үшін мыс кабельдерге қарағанда көп шығын кетеді.

Дегенмен, талшықты-оптикалық байланыс желілерінің қолданылу артықшылықтары маңызды. Сондықтан кемшіліктеріне қарамастан олар ақпаратты тасымалдау үшін кеңінен қолданылады.

Мысал 2.1. Регенерация учаскесі ұзындығын есептеу.

Цифрлық ТОВЖ регенерация учаскесінің максималды ұзындығы (немесе жолдық трактының регенераторларсыз максималды ұзындығы) импульстік сигналдардың өшуі және дисперсиясымен шектеледі. Осы көрсеткіштер бір-біріне тәуелсіз болғандықтан, ТОВЖ-ні жобалағанда өшуі бойынша регенерация учаскесі ұзындығын L_{pa} және дисперсия бойынша регенерация учаскесін L_{pd} бөлек есептеу керек.

Регенерация учаскесінің қарапайым құрылымдық сұлбасы 2.14-суретте көрсетілген. Мұнда ақырғы құрылғылар (таратушы және қабылдаушы станциялар, сызықтық регенераторлар) электронды оптикалық түрлендіруді іске асырады. Оларды ішкі (станциялық) кабельдерге жалғау үшін ажыратылмалы оптикалық жалғаушыларды АЖ пайдаланады. Станциялық және сызықтық ОК оптикалық талшықтарын біріктіру, сондай-ақ ОК-дің құрылыстық ұзындықтарын біріктіру пісірілген оптикалық ажыратылмайтын қосылғыштар көмегімен орындалады.



2.14-сурет. Регенерация учаскесінің құрылымдық сұлбасы

Өшуі бойынша регенерация учаскесі ұзындығын есептеу.

Регенерациялық учаскенің жалпы өшуі

$$\alpha_s = 10 \lg \frac{P_1}{P_2} = p_1 - p_2 = \alpha L_{pa} + \alpha_{nc} N_{nc} + \alpha_{pc} N_{pc}. \quad (2.13)$$

мұндағы P_1, p_1 – кабель ОТ-на енгізілетін қуат және қуат деңгейі; P_2, p_2 – қабылданатын қуат және қуат деңгейі; α – ОТ өшу коэффициенті; α_{nc}, α_{pc} – ажыратылмайтын және ажыратылатын оптикалық жалғаушылар енгізетін шығындары, N_{nc} – ажыратылмайтын, N_{pc} – ажыратылатын жалғаушылар саны.

Учаскедегі ажыратылмайтын оптикалық жалғаушылар жалпы саны

$$N_{nc} = L_{p\alpha} / l_{o\gamma} + 1, \quad (2.14)$$

Мұндағы $l_{o\gamma}$ ОК орташа құрылыстық ұзындығы.

Оптикалық қабылдағыш $p_2 \geq p_{ка}$ шартында сигналды қабылдайды және өңдейді, мұнда $p_{ка}$ – деңгейлік сезімталдық (қабылданатын сигналдың қуатының минималды рұқсатты деңгейі). Оптикалық қабылдағыштың алдын ала өзіміз анықтайтын минималды жүктемеленуі M -ді ескере отырып, аламыз

$$p_2 = p_{ка} + M. \quad (2.15)$$

(2.14) пен (2.15)-ті (2.13)-ке қойып табамыз

$$L_{p\alpha} = \frac{A - M - \alpha_{pc} N_{pc} - \alpha_{nc}}{\alpha + \alpha_{nc} / l_{cd}}. \quad (2.16)$$

Мұндағы $A = p_1 - p_{ка}$ – ТОВЖ аппаратурасы қамтитын учаске өшуі мәні (энергетикалық потенциал).

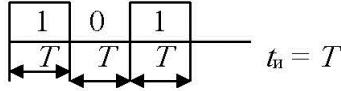
Регенерация учаскесінің минималды ұзындығы, ОТ-қа енгізілетін қуаттың минималды деңгейімен $A_{min} = p_{1min} - p_{ка}$ және құрылғының динамикалық диапазоны D –мен анықталады:

$$L_{p\alpha min} = \frac{A_{min} - \alpha_{pc} N_{pc} - \alpha_{nc}}{\alpha + \alpha_{nc} / l_{cd}}. \quad (2.17)$$

Дисперсия бойынша регенерация учаскесінің ұзындығын есептеу.

Цифрлық ТОВЖ сызықты коды қарапайым түрде берілген дейік (2.15-сурет). Бұл жағдайда регенерациялық учаскенің

басында импульс ұзақтылығы бірлік интервалға тең $t_{и} = T$. Регенерациялық учаскенің соңында импульс ұзақтылығы $t_{и} = T + \tau_0 L_{p0}$, мұндағы $\tau_0 = \tau / L$ – ұзындық бірлігіндегі дисперсия.



2.15-сурет. Қарапайым сызықты код

Оптикалық қабылдағыштың кірісіндегі көрші импульстер арасында бірін-бірі жауып кетпеуі үшін келесі шартты орындау керек $t_{и} = T + \tau_0 L_{p0} 2T$. Сондықтан

$$\tau_0 L_{p0} \leq T. \quad (2.18)$$

Цифрлық ТОВЖ күрежолдарында ақпарат күрделі цифрлық сигналдар – код түрінде берілетіндігін ескерсек, осы шарт былай жазылады

$$\tau_0 L_{p0} \leq T/2. \quad (2.19)$$

Оптогалшықтың кең жолақтылығы $\Delta F = 0,44/\tau_0$, мұнда $\tau_0 = \tau/L$ – ұзындығы 1 км ОТ бөлігіндегі дисперсия (үлестік дисперсия) және жолдық трактыда ақпаратты тарату жылдамдығы $B = 1/T$ екенін ескеріп, дисперсия бойынша учаскенің максималды ұзындығын табамыз

$$L_{p0} = \frac{\Delta F}{0,88B} = \frac{\Delta F}{0,88f_T}, \quad (2.20)$$

мұндағы f_T – жолдық цифрлық сигналдың тактылық жиілігі.

(2.17), (2.20) формулалары бойынша регенерация учаскесі ұзындығын есептеу үшін аппаратураның типтік көрсеткіштерін келтірейік:

негізгі цифрлық арналар (НЦА)..... 480;
тарату жылдамдығы $B_{тжс} = 34,368$ Мбит/с;

жұмыстық толқын ұзындығы $\lambda = 1,3$ мкм;
 сызықтық сигналды тарату жылдамдығы..... $B = 41.242$ Мбит/с;
 энергетикалық потенциал..... $A = 36$ дБ;
 ОК типтік көрсеткіштері:

ОТ типі көп модальды градиентті;
 өшу коэффициенті ($\lambda = 1,3$ мкм) $\alpha = 0,7$ дБ/км;
 кең жолақтылық коэффициенті $\Delta F = 800$ МГц·км;
 орташа құрылыстық ұзындық $l_{oy} = 2,2$ км.

Жолдық трактының көрсеткіштері: $N_{pc} = 2$; $\alpha_{pc} = 0,3$ дБ;
 $\alpha_{nc} = 0,1$ дБ.

(2.15) және (2.20) формулаларынан табамыз:

$$L_{pa} = \frac{A - M - \alpha_{pc} N_{pc} - \alpha_{nc}}{\alpha + \alpha_{nc} / l_{oy}} = \frac{36 - 3 - 0,3 * 2 - 0,1}{0,7 + 0,1 / 2,2} = 43,3 \text{ км};$$

$$L_{po} = \frac{\Delta F}{0,88B} = 22 \text{ км}.$$

Алынған нәтижеден көрініп тұр, ішкі аймақтық ТОТЖ үшін $\alpha = 1$ дБ/км бар арзан ОК-ді таңдап алуға болады.

Бақылау сұрақтары.

1. ТОТЖ –нің қандай артықшылықтары бар?
2. Қазіргі ТОТЖ-і қандай топтарға бөлінеді?
3. Оптикалық талшық қандай материалдан жасалады?
4. Сыну көрсеткішіне байланысты оптикалық талшықтар қандай түрлерге бөлінеді?
5. Оптикалық талшық арқылы қандай сәулелер таралады?
6. Сәулелену модальдары дегеніміз не?
7. Бағытталатын модальдардың қандай түрлері бар?
8. Сандық аппертура дегеніміз не?
9. Мөлдірліктің терезелері дегеніміз не, олар толқын ұзындықтары бойынша қалай ажыратылады?
10. Оптоталшықтың қандай жұмыс істеу күйі пайдалы: бірмодаль ма, әлде көпмодаль ма?
11. Оптикалық талшықта сигналдың өшуінің себептері қандай?

12. Оптикалық кабельдің құрылысы туралы айтып беріңіз.
13. Сәулелендіргіштер ретінде қандай электрондық шалаөткізгіш аспаптар пайдаланылады?
14. Оптикалық таратқыш модулы құрылымы туралы айтып беріңіз.
15. Оптикалық қабылдағыш модулы қандай бөліктерден тұрады?
16. Цифрлық ТОВЖ типтік құрылымдық сұлбасын сызып көрсетіңіз.
17. Жолдық регенераторлар және оптикалық күшейткіштер не үшін пайдаланылады?
18. Жолдық регенераторлар және оптикалық күшейткіштер не үшін пайдаланылады?
19. Оптикалық жалғағыштардың түрлерін және ерекшеліктерін атаңыз.
20. Оптикалық тармақтағыштар қандай функция атқарады?
21. Электрлік сигналдарды уақыттық мультиплексирлеудің сұлбасын сызып көрсетіңіздер.
22. Өшуі бойынша регенерация учаскесі ұзындығы қалай есептеледі?

3. РАДИОРЕЛЕЙЛІК БАЙЛАНЫС ЖҮЙЕСІ

3.1. Тікелей көріністегі радиорелейлік байланыс жолдарын құрудың жалпы принциптері

Радиорелейлік жолдар (РРЖ) таратылатын сигналдардың тізбекті көпретті ретрансляциясын (қабылдауды, түрлендіруді, күшейтуді және таратуды) жүзеге асыратын қабылдау-тарату станцияларының (ақырғы, аралық, тораптық) тізбегі болып табылады.

Радиотолқындардың таралу түрін пайдаланылуына қарай РРЖ-ын екі топқа бөлуге болады: тікелей көріністегі және тропосфералық.

Тікелей көріністегі РРЖ телефондық байланыс сигналдарын таратудың, дыбыстық және теледидарлық (ТД) хабар беру бағдарламаларын, цифрлық деректерді және де басқа хабарларды алыс қашықтыққа берудің жер үстілік негізгі жабдығы болып табылады. Көпарналы телефония мен ТД сигналдарының жиіліктер жолағының ені ондаған мегагерцке жетеді, сондықтан оларды тарату үшін іс жүзінде тек қана дециметрлік және сантиметрлік толқындар пайдаланылуы мүмкін, олардың спектрінің жалпы ені 30 ГГц. Осыдан басқа, осы диапазондарда атмосфералық және өнеркәсіптік бөгеуілдер тіптен де жоқ. Көрші стансалар арасындағы қашықтық (аспа - пролет ұзындығы) R жер беті бедеріне және антенналардың көтерілу биіктігіне тәуелді. Әдетте оны тікелей көріну қашықтығына жақындау немесе теңдей етіп таңдайды. Атмосфералық рефракцияны ескере отырып, Жер бетінің сферикалығынан

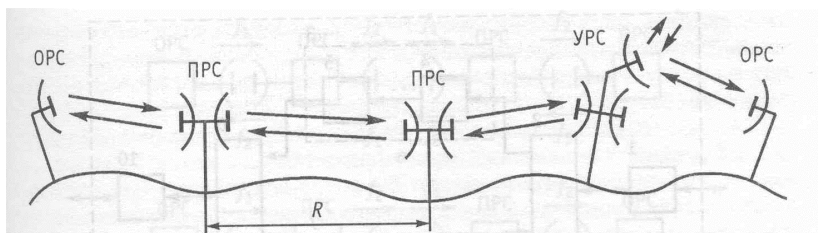
$$R_0 \cong 4,1(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}),$$

мұндағы h_1 және h_2 – сәйкесті түрде таратушы және қабылдаушы антенналардың көтерілу биіктіктері (метрмен). Нақты жағдайда, кедір-бұдырлы жер бетінде 50-100 м антенналық мұнаралардың биіктігінде $R_0 \approx 40 - 70$ км.

Бір тасымалдаушы жиілікте (немесе дуплекстік байланысты ұйымдастыруда екі тасымалдаушы жиілікте) ақпаратты тарату

үшін РРЖ тарату-қабылдау аппаратурасы кешені баған (радиобаған) деп аталатын кең жолақты арнаны құрады. Телефондық мәліметтерді таратуға арналған және радиобағаннан басқа модемдер мен арналарды біріктіру мен ажырату аппаратурасынан тұратын жабдықты телефондық баған деп атайды. Толық теледидар (ТД) сигналдарын (ілеспе дыбыстық сигналдармен, ал көбінесе дыбыстық хабар таратумен бірге) таратуға арналған сәйкесті аппаратураны ТВ бағаны деп атайды. Қазіргі РРЖ –дің көпшілігі көпбағанды болып табылады. Бұл жағдайда, жұмыстық бағандардан басқа бір немесе екі резервтік баған болуы мүмкін, ал кейде қызметтік байланыстың жеке бағаны болады. Бағандар санының өсуіне қарай сәйкесті түрде жабдық көлемі (таратқыштар және қабылдағыштар саны) ұлғаяды.

РРЖ бір бөлігі (мүмкін болатын варианттарының біреуі) 3.1-суретте шартты түрде көрсетілген, онда үш типті радиорелейлік станция белгіленіп берілген: ақырғы АРС(ОРС), аралық АРС (ПРС) және тораптық ТРС (УРС).



3.1-сурет. РРЖ-нің шартты бейнеленуі

Ақырғы станцияда халықаралық телефондық станциялардан (МТС), халықаралық ТД аппараттығынан (МТА) және халықаралық хабар беру аппараттығынан (МХА) жалғаушы желілер арқылы келіп түсетін мәліметтерді РРЖ бойынша таратылатын сигналдарға түрлендіру, сондай-ақ қайтара (кері) түрлендіру жүргізіледі. Ақырғы станцияда сигналдарды таратудың күре жолы (трактысы) басталып және аяқталады.

Өртүрлі РРЖ қиылысында орналасқан ТРС көмегімен РРЖ бойынша таралатын ақпарат ағындары бөлшектенеді және

біріктіріледі. Сондай-ақ ТРС-қа телефондық, ТД және басқа да сигналдарды енгізу мен шығаруды жүзеге асыратын РРЖ станциялары жатады. Олар арқылы ТРС маңында орналасқан елдімекен осы желінің басқа мекендерімен байланысқа түседі.

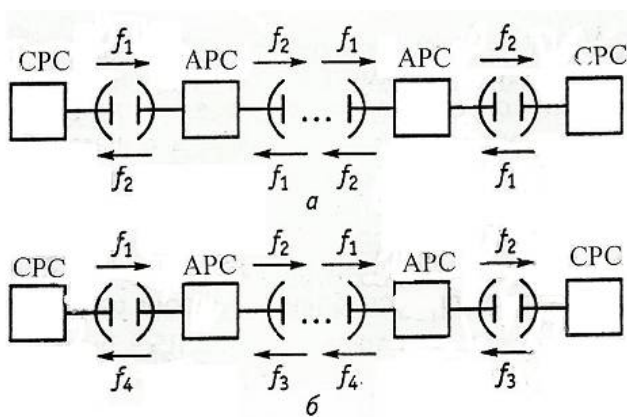
АРС немесе ТРС-да әрқашанда техникалық персонал бар, олар осы станцияларға ғана қызмет көрсетіп қоймай, сонымен қатар арнайы телеқызмет көрсету жүйесі көмегімен жақын жатқан АрРС –ды бақылауды және басқаруды жүзеге асырады. Көрші қызмет көрсетілетін станциялар арасындағы РРЖ учаскесі (300... 500 шақырым), АрРС бір бөлігі бір ТРС (АРС) телеқызмет көрсету аймағына кіріп, ал АрРС екінші бөлігіне басқа ТРС (АРС) көрсететіндей болып шамамен екіге бөлінеді.

АрРС таратылатын электр байланыс сигналдарын бөлектемейтін және жаңаларын енгізбейтін активті ретранслятор функциясын орындайды және де ережеге сәйкес, тұрақты қызмет көрсету персоналынсыз жұмыс істейді. АрРС ретрансляторы құрылымдық сұлбасы 3.2-суретте келтірілген. Сигналдарды активті ретрансляциялағанда АрРС-да бір мұнарада орналастырылған екі антеннаны пайдаланады. Бұл жағдайда таратылатын антеннамен сәулелендіріліп шығарылатын күшейтілген сигналдың қуатының бір бөлігінің қабылдағыш антенна кірісіне берілуін болдырмау мүмкін емес. Арнайы шаралар қолданбаса ретранслятордың күшейткішінің кірісі мен шығысының арасындағы аталған байланыс оның өздігінен қозуына әкеледі. Өз-өзінен қозудың қауіптілігін болдырмаудың тиімді әдісі ретранслятордың кірісі мен шығысындағы сигналдарды жиілік бойынша алшақтату болып табылады. Бұл жағдайда ретрансляторға әртүрлі жиіліктерде жұмыс істейтін қабылдағыштар мен таратқыштарды орнатуға тура келеді. Егер РРЖ-да тікелей және кері бағытта біруақытта байланыс орнату қарастырылған болса, онда қабылдағыштар мен таратқыштар саны екі еселенеді де, мұндай баған дуплекстік деп аталады.

Станциялар мен РРЖ-да бірнеше радиоқұрылғылардың бір уақыттағы жұмысы толығымен алғанда тек қана олардың арасындағы өзара әсер етушілікті жойғанда мүмкін болады.

РРЖ бойынша екі жақтық байланыс үшін (дуплекстік режим) шектік жағдайда тек қана екі жұмыстық жиілікті f_1 мен f_2 -ні пайдалануға болатынын зерттеулер көрсетті.

Осындай екі жиіліктік жоспары бар РРЖ мысалы шартты түрде 3.2 а-суретте бейнеленген.



3.2-сурет. РРЖ-ғы жиіліктердің үлестірілуі сұлбасы

Тіке және кері бағыттарда сигналдарды тарату кезінде 2-жиіліктік және 4-жиіліктік жүйелер қолданылады.

2-жиіліктік жүйе радиорелейлік байланысты ұйымдастыру үшін айқындалған жиілік жолағын қолдануда өте тиімді, бірақ жанама және кері бағытта сигналдарды қабылдаудан және таратудан қорғайтын қасиеттері бар антеннаны қолдануды талап етіледі. 10 ГГц-тен жоғары жиілік аралығында қажетті көрсеткіштерге қол жеткізуге болатын қосымша экрандары бар параболикалық антенналар кеңінен пайдаланылады. Радио жолда жұмыстық жиіліктер саны аз болса, әртүрлі қабылдағыштарға арналған, жиіліктері ұқсас сигналдардың бір-біріне өзара әсер етуін болдырмау соғұрлым қиын болады. РРЖ-да осыған ұқсас жағдайлардан құтылу үшін бүйірлік және артқы жолақтарының мүмкіндігінше кішкене деңгейлері болатын үшкір бағытталу диаграммалы антенналарды қолдануға тырысады. Көрсетілген шараларды қолдану, егер байланыс сантиметрлік диапазонда іске асырылса қиындықтар тудырмайды. Бірақ әлдеқайда кішірек жиіліктерде жұмыс істейтін нақты антенналық құрылғылардың кішкене бағытталу әрекеттігі бар. Бұл жағдайда байланыстың тікелей және кері бағыттары үшін әртүрлі

жиіліктер қосақтарын f_1, f_2 және f_3 пен f_4 (төрт жиіліктік жоспар) пайдаланады (қараңыз 3.2 б-сурет), сөйтіп байланысқа қажетті жиіліктер жолағы екі есе ұлғаяды.

4-жиіліктік жүйе қарапайым және арзан тұратын антенналарды қолданады және өзара бөгеуілдерден байланыс желісінің қорғанысын күшейтеді. Бірақ өте сирек қолданылады.

4-жиіліктік жүйені өте күрделі электрмагниттық жағдайда байланыс желісін ұйымдастыру үшін ұсынуға болады. Радиорелейлік жүйенің экономикалық тиімділігі мен өткізу қабілетін арттыру үшін оларды көп сабақты етеді. Әрбір стансада бірнеше қабылдап-таратқыштар жалпы антенналық-фидерлік құрылғы арқылы әртүрлі жиілікпен жұмыс істейді.

Радиорелейлік байланыс үшін негізінен сантиметрлік толқындар пайдаланылады, сондықтан екі жиіліктік жоспар көп тараған.

Ақпараттық радиожелілердің кең дамуы берілген толқын аралықтарында жұмыс жиілігін қолдануды қатаң түрде бекітуге мәжбүрлеп отыр. Соңғы жылдарды жиіліктік спектрдің пайдалану тиімділігі едәуір екілік поляризациясын қолдану арқылы жаңа жиіліктік жоспарлар даярланады.

Радиорелейлік жолдардың классификациясы

Тікелей көріністегі радиорелейлік жолдарды әртүрлі белгілері мен сипаттамалары бойынша жіктеуге болады. РРЖ-ның солардың ішіндегі маңыздылары бойынша класқа бөлінуін қарайық.

1. Арналуы бойынша бөледі: халықаралық магистралдық, ішкі аймақтық, жергілікті РРЖ.

2. Жұмыстық (тасымалдаушы) жиіліктері диапазоны бойынша РРЖ дециметрлік және сантиметрлік болып бөлінеді. Осы диапазондарда РРЖ ұйымдары үшін радиобайланыс Регламентіне сәйкес 2, 4, 6, 8, 11 және 13 ГГц аумағында орналасқан жиіліктер бөлінген. Қазіргі уақытта 18 ГГц және одан жоғары жиіліктерде радиорелейлік байланысты құру шарттары жөнінде зерттеулер жүріп жатыр. Жоғарғы жиіліктерге көшу тарату жүйелерінің өткізгіштік қабілетін артырар еді.

3. Арналарды тығыздау әдісі және тасымалдаушы жиілікті модуляциялау түріне қарай жіктеуге болады:

а) арналарды жиіліктік тығыздауы (бөлуі) (АЖБ) мен гармоникалық тасымалдаушының жиіліктік модуляциясы (ЖМ) бар РРЖ;

б) арналарды уақыттық тығыздауы (бөлуі) (АУБ) мен импульстарды аналогтық модуляциялауы бар, кейіннен олар тасымалдаушыны модуляциялайтын РРЖ;

в) цифрлық РРЖ, бұларда мәлімет есептемелері деңгейлері бойынша квантталады және кодталады.

4. Қазіргі кезде қабылданған классификацияға сәйкес РРЖ-ды үлкен, орташа және кіші сыйымдылықты деп бөледі.

Үлкен сыйымдылығы бар РРЖ-ға бір бағанда 600 және одан да көп тоналдық жиілік (ТЖ) арналарын ұйымдастыруға мүмкіндік беретін жүйелер жатады, бұлардың өткізгіштік қабілеті 110 Мбит/с -қа және одан жоғары мәнге сәйкес келеді. Егер РРЖ 60-600 немесе 60-тан кем ТЖ арналарын ұйымдастыруға мүмкіндік берсе, онда бұл жүйелер орташа немесе кіші сыйымдылықты байланыс жолдарына жатады. Осындай РРЖ –дың өткізгіштік қабілеті сәйкесті түрде 10-100 Мбит/с және 10 Мбит/с -дан төмен.

Қазіргі телекоммуникациялық жүйелерінде РРЖ-ны ақпараттың үлкен ағынын тарату үшін бірнеше мың шақырымдық стационарлық, магистралдық байланыс жолдарын құруда пайдаланады. Бұл жағдайда үлкен сыйымдылығы бар жүйелерді қолданады. Магистралдық РРЖ-дар көп бағанды болып табылады.

Орташа сыйымдылықты стационарлық РРЖ-дарды аймақтық байланысты ұйымдастыру үшін пайдаланады. Бұл байланыс жолдарының ұзындығы 500-1500 шақырымға жетеді. Осындай РРЖ-лар көп жағдайда ТД (Теледидар) сигналдары мен радиохабар тарату сигналдарын беруге арналған. Көбінесе осы жолдар көпбағанды болып, магистралды РРЖ-дан тармақтанып шығады.

Кішкене сыйымдылықты РРЖ-лар жергілікті байланыс желілерінде қолданылады. Осыдан басқа, аз арналы РРЖ-дар қызметтік байланыспен теміржол транспортын, газқұбырларын, мұнайқұбырларын, энергиямен жабдықтау жолдарын қамтамасыз етеді.

3.2. РРЖ стансасының орналастыратын орнын таңдау. Субрефракция және интерференция әсерінен тыну, Френель аймағы

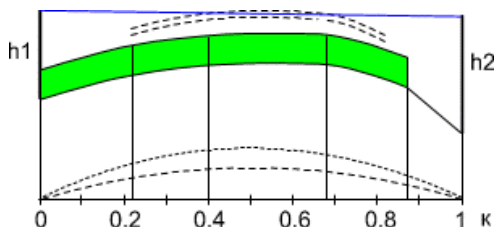
Стансасының орналасатын орнын таңдаған кезде байланыс желісінің «ирек-иректік» ұстанымын, кіріс жолдардың және электртарату желісінің болуын, жердің жалпы бедерін, жер қыртысының сипатын және т.б. ескеру керек. Бұл едәуір ұзақ және бірнеше рет қайталанатын үрдіс, өйткені РРЖ жолдарын жүргізудің мүмкін варианттарының жиынынан таңдау қажет. Сонымен бірге бір аралық «пролет» үшін стансаның орналасу орнын сәтті таңдаған жағдайда ол көрші аралықтар «пролеттер» үшін қолайсыз болуы мүмкін.

Цифрлық РРЛ есептеген кезде әрбір аралықтың «пролеттің» берілген климаттық аудан және субрефракция үшін нөлдік атмосфералық рефракциясы, қалыпты рефракциясы кезіндегі пішінін құрастыру қажет.

Рефракцияның болуы пішіннің трансформациясымен есепке алынады.

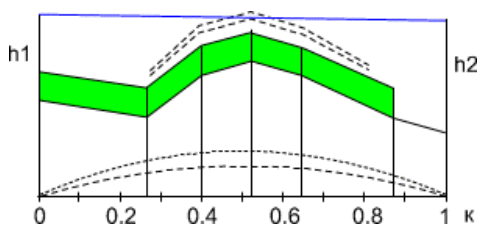
3.3 және 3.8-суреттерде аралықтардың «пролеттердің» бойлық пішінінің (продольный профиль) сипаттық мысалдары көрсетілген. Бұл пішіндердің сипаттық ерекшеліктерін, олардың байланыс желісінің жұмысының орнықтылығына мүмкін болатын әсерін және әртүрлі жағдайларда қолданылу аумағын қарастырайық.

3.3-суретте көрсетілген бойлық пішіннің биіктігінің үлкен ауытқуы жоқ және жоғарғы бетінің едәуір бөлігі орманмен қоршалғанда, 5 см қысқа толқын ұзындығы болатын болса, жоғарғы бетінің диффузионды сипаты бар болғанынан бейнелену коэффициенті $\Phi = 0$. Сәйкесінше интерференциялық тынып қалу құбылысы бойынша мұндай пішін тиімді. Бірақ ол аралықтың (пролеттің) бойлығы 40-60 км болған жағдайда қолайсыз, өйткені бұл кезде субрефракция әсерінен (пунктир) жолдардың жабылу ықтималдығы үлкен. Пішіндегі кедергілер саны көп және жолдар жабылған уақытта бірнеше минутқа, кейде сағатқа созылатын терең тынып қалулар бақыланылады.



3.3-сурет. Биіктігінің үлкен ауытқуы жоқ және жоғарғы бетінің едәуір бөлігі орманмен қоршалған бойлық

Жол жабылмайтындай үлкен жарық сәуленену шамасын таңдап алуға болады. Бірақ пролеттің едәуір үлкен бойлығы кезінде антенна аспасының биіктігі аса үлкен болады. Сөйтіп ол байланыс желісі бағасының қымбаттауына алып келеді. Сондықтан ұзын пролеттерде интервалдың мұндай пішіні қажет емес.

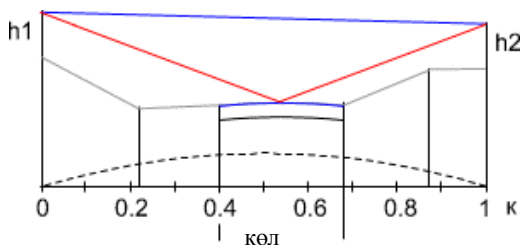


3.4-сурет. Үлкен пролетті бойлық

3.4-суретте сол пролеттің пішіні көрсетілген. Бірақ оң жағындағы антенналық мұнарасы басқа жерге алмастырылған (бұл жағдайда 2 км қашықтыққа). Пішінде кедергі формасының айтарлық өзгермегендігін байқауға болады. Кедергі одан да имеленген, сәйкесінше, жолды жапқан кезде сигналдың тынып қалуы 3.4-суреттегі кедергімен салыстырмалы түрде қарағанда кеміген.

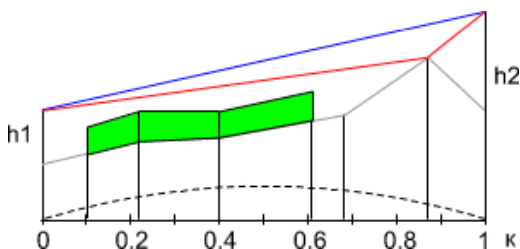
Бойлық пішінде (3.5-сурет) антенналық тірек жоғары орналасқан жерлерге орнатылған. Ол антенналық тіректің биіктігі кішкентай болған жағдайда үлкен сәулеге ашықтық алуға мүмкіндік береді. Дегенмен ($\kappa = 0,2... 0,7$ дейін)

координаталары бар пролеттер аймағында интерференциялық тынып қалуға алып келетін шағылысқан толқындардың пайда болуы мүмкін жазық аумақтары бар. Пролеттің ортасында су кеңістігі бар болғандықтан жағдай тіптен күрделіленеді. Су бетінен шағылысу коэффициенті 1-ге тең (толқын болмаған жағдайда) және шағылысқан толқынның энергиясы тіке толқын энергиясына тең. Ол нөл деңгейіндегі интерференцияда қабылдағыштың кірісінде сигнал қуатының төмендеуіне алып келеді.



3.5-сурет. Антенналық тірек жоғары орналасқан жерлердегі бойлық

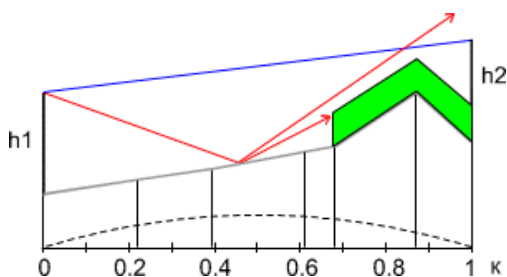
Интерференциялық тынып қалу ұзақтығын секундтар және секундтың ондық бөліктері құрайды. Байланыстың цифрлық жүйелерінде интерференциялық тынып қалулар желінің сапалылығы параметрлерін анықтайды. Сондықтан пішіні осындай пролеттерді тандаған дұрыс емес. Бұл ескертулер қысқа пролеттерге қатысты емес. Өйткені антенналық құрылғылардың бағытталған қасиеттерінің кесірінен мұнда шағылысқан толқындар болмауы мүмкін. Мысалы, мұндай пролет солтүстік Двина арқылы өтетін байланыс желісінде есептелген. Пролеттің бойы 4 км-ге тең, сәулеге ашық болу шамасы – 15 м, жұмыс жиілігі – 11 ГГц, антенналардың күшейту коэффициенті 41 дБ. Осы кезде электромагниттік сәуленің көлденең қимасының радиусы пролеттің ортасы жағында 12 м-ге жуық. Бұл жағдайда шағылысқан толқынның пайда болуы мүмкін емес және пішіннің берілген формасы қолайлы. Пролеттің бойы 20 км болған жағдайда, антеннаның бағытталу диаграммасының ашылу радиусы бірнеше ондаған метрлерге дейін жетеді. Яғни пролеттің мұндай пішіні болғанда байланыс желісінің жұмыс істеу орнықтылығы үшін жарық көріну шамасы бұл шамалардан асуы тиіс.



3.6-сурет. $k = 0.87$ тең аймағы бар пролет пішіні

3.6-суретте көрсетілген пролет пішінінің $k = 0,87$ тең аймағы бар. Ол арқылы шағылысқан толқын пайда болуы мүмкін. Бірақ кедергісінің формасы мынадай, шағылысу қандайда бір беттен емес, бір нүктеден болуы мүмкін. Бұл жағдайда шағылысқан толқын деңгейі үлкен емес, сигналдардың тыныш қалуы интерференция әсерінен терең емес. Пролет пішінінде ($k = 0,22$) кедергінің ең жоғарғы нүктесінен, шағылысу осы жағдайда жоқ, өйткені бұл нүктені орман жауып тастаған. Субрефракция әсерінен жолдарды жабу ықтималдығы берілген пішін үшін үлкен емес, өйткені шағылысудың ықтимал нүктесі антенналық тіректерге жақын орналасқан. Сондықтан пролеттардың мұндай пішіндері байланыс желісінің жұмысының тиімді нәтижелерін алуға мүмкіндік береді.

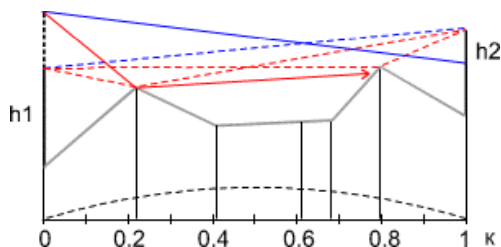
Байланыс желісінің жұмысының ең жақсы сапасын, шағылысқан толқын профилінде (мысалы орманмен) қандай да болмасын кедергілермен экрандалатын пролеттерде алуға мүмкіндік бар. Ол 3.7-суретте көрсетілген.



3.7-сурет. Кедергілермен экрандалатын пролет

Осындай пішіндер (профильдер) болған жағдайда шағылысқан толқынды экрандау атмосфераның диэлектрлік өткізу градиентінің барлық мәндерінде жүргізілуін қадағалап отыру керек, яғни пішіннің қандай да болмасын мүмкін трансформациясында (өзгерісінде).

Пролет пішінінің (3.8-сурет) электромагниттік толқындарды шағылыстыруының екі мүмкін болатын нүктелері бар. Пунктирмен бейнеленген тікелей көріністегі жол және шағылысқан сәулелер мұнда антенналардың шамамен бірдей аспа биіктіктерінде пайда болады. Тәжірибеден белгілі, екі немесе бірнеше шағылысу нүктелері бар болғанда цифрлық РРЖ орнықты жұмысына қол жеткізу өте қиын, әрі қымбат (3.8-сурет). Шағылысудың тек бір ғана нүктесін алуға ұмтылу антенна аспасының әртүрлі биіктіктерін таңдауға мәжбүр етеді. Бұл жағдайда кедергілердің біреуінен шағылысқан толқын басқа кедергімен экрандалады. Әрине, бұл шартты пішінің әртүрлі трансформациясында тексеру қажет.



3.8-сурет. Толқындарды шағылыстыруы бар пролет

Пролет пішінін дұрыс таңдаған жағдайда цифрлық РРЛ-н қазіргі аппаратурасының жоғарғы техникалық сипаттамалары байланыс желілерінің интервалында сәулеленуді және сәйкесті түрде антенналардың аспа биіктіктерін анықтау үшін қарапайым әдістемені қолдануға мүмкіндік береді. 3.1-кестеде қысқаша сәулеленуді таңдау үшін негізгі критерийлері берілген. Френель аймағының бірінші бос аймағы негізгі критерий болып табылады. Френельдің бірінші аймағының радиусы:

$$R_{1\phi} = 17.3 \sqrt{\frac{R_0 k (1-k)}{f}}, \quad (3.1)$$

мұндағы R_0 – пролеттің бойлығы ұзындығы, км,

f – жұмыс жиілігі, ГГц,

k – күре жолдағы ең жоғарғы нүктенің координатасы.

Жердің эквивалентті радиусы

$$a_g = \frac{a}{1 + \frac{a \times g}{2}}, \quad (3.2)$$

мұндағы a – жердің геометриялық радиусы (6370 км), g – атмосфераның диэлектрик өтімділігінің тіке градиенті (1/м). 2.1 - кестеде градиенттер мәні көрсетілген. Сонымен бірге атмосфераның сыну коэффициентін табу үшін график келтірілген.

$$K_{атм.} = \frac{1}{1 + \frac{a \times g}{2}},$$

мұндағы $K_{атм}$ – атмосфераның сыну коэффициенті. Ол эквивалентті жер радиусының жердің геометриялық радиусына қатынасын білдіреді.

3.1-кесте

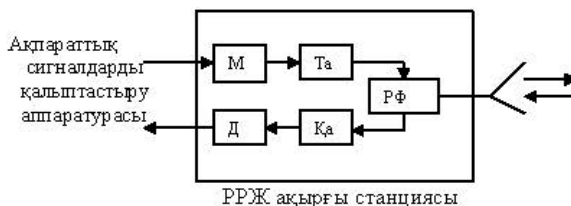
Өлшем	R_0 , км	Катм
Сәулелену шамасы берілген аудан үшін қалыпты атмосфералық рефракция кезіндегі Френельдің 1-ші аймағының радиусына сәйкес болуы тиіс		1.333
Субрефракция кезінде сәулелену шамасы нөлге тең немесе одан үлкен болуы керек	15 >15	0.5 0.7

Көптеген жағдайларда 3.1-кестедегі мәндермен салыстырғанда сәулелену шамасы кішілеу таңдап алынуы мүмкін. Бұл кезде көрсеткіштердің төмендеуіне алып келетін субрефракция әсерінен пролет жабылады, ол Орталық РРЖ дайындығының көрсеткіштерінің нашарлауына әкеледі. Жоғары айтылғандардың барлығы географиялық карталардың қателіктерін ескермеуден болады. Сәулеленудің нақты шамаларын картаның максимал қателігіне дейін арттыру арқылы таңдап алу қажет.

3.3. Радиорелейлік радиобайланыс жүйесі стансалары құрылымы

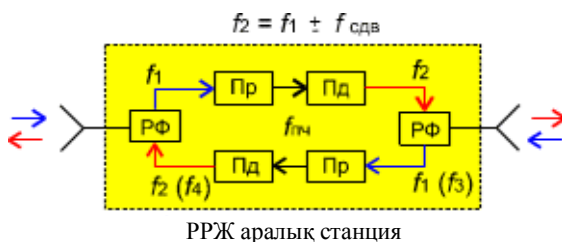
Радиорелейлік байланыс желілері сигналды бірнеше рет ретрансляциялау ұстанымына негізделген. Оның қарапайым құрылымдық сұлбасы 3.9-суретте көрсетілген. Ақырғы, аралық және тораптық стансалар бар.

Ақырғы стансалар байланыс желісінің шеткі тармақтарына орнатылады және құрамында сигналдарды таратуда бағыттаушы модуляторлар және таратқыштары, қабылдағышты бағыттауда демодуляторы бар қабылдағыштары болады. Қабылдау және тарату үшін жолдарына жалғанған бір антенна қолданылады. Сигналдарды модуляциялау және демодуляциялау стандартты аралық жиіліктердің біреуінде (70-1000 МГц) жүргізіледі. Осы кезде модемдер әртүрлі жиілік аралығын қолданатын қабылдап-таратқышпен жұмыс істеуі мүмкін. Таратқыштар аралық жиіліктерді сигналдарды аса жоғары жиіліктегі (АЖЖ) жұмыс аралығындағы сигналдарға түрлендіруге арналған, ал қабылдағыштар – кері түрлендіру үшін және аралық жиіліктің сигналын күшейту үшін қажет. 3.9-суретте ақырғы станцияның қарапайым құрылымдық сұлбасы көрсетілген.



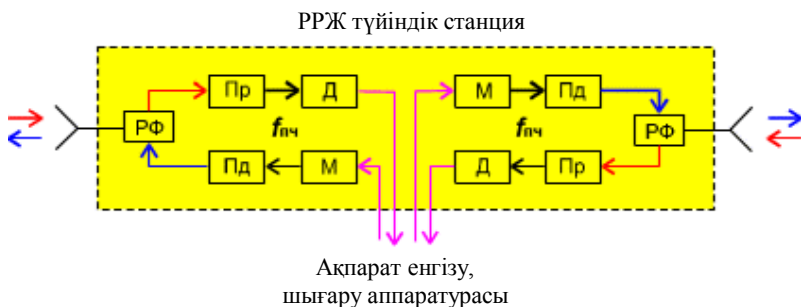
3.9-сурет. Ақырғы станцияның құрылымдық сұлбасы

Аралық стансалар тікелей көріну қашықтығында орналасады және сигналдар қабылдауға, оларды күшейтуге және байланыс желісі бойынша ары қарай тасымалдауға арналған. Аралық стансада сигналдарды қабылдау және тарату жақын орналасқан антенналарды кері сәулелендіру әсерінен болатын қабылдап-таратқыштардағы паразитті байланыстарды жою үшін әртүрлі жиіліктерде жүргізілуі тиіс. Қабылдау және тарату жиіліктерінің арасындағы айырма жылжыту жиілігі деп аталады ($f_{жыл}$). 3.10-суретте аралық стансаның құрылымдық сұлбасы бейнеленген.



3.10-сурет. Аралық станса құрылымы

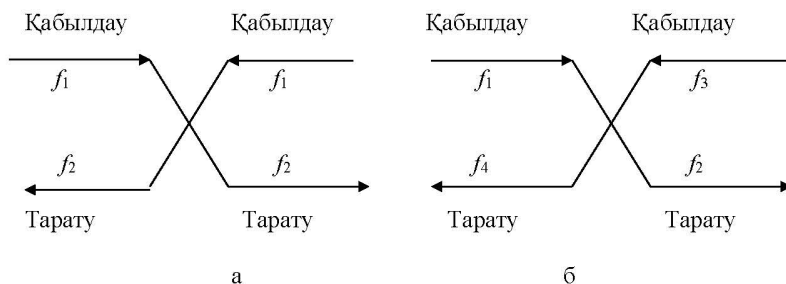
Тораптық стансалар (3.11-сурет) аралық стансаның қызметін және ақпаратты еңгізіп- шығару қызметін атқарады. Сондықтан олар ірі аумақтарда немесе байланыс желісінің қиылысу нүктесінде орнатылады.



3.11-сурет. Тораптық станса құрылымы

Жақын стансалар арасындағы аралық РРЖ аспасы (немесе пролеті) деп аталады. Пролеттің ұзындығы көптеген себептерге тәуелді және орташа 6-8 ГГц дейінгі жиілік аралығында 50-60 км құрайды және 30-50 ГГц аралығында бірнеше км құрайды. Ақырғы станса мен жақын торап арасындағы немесе тораптық стансалар арасындағы аралық РРЛ секциясы деп аталады, ал қабылдап-таратушы жабдықтар жиынтығы РРЛ бағанын құрады. Бағандар бір бағытталған және екіге бағытталған деп бөлінеді.

Тіке және кері бағыттарда сигналдарда тарату кезінде 2-жиіліктік және 4-жиіліктік жүйелер қолданылады.



3.12-сурет. Тіке және кері бағытты таратудың екі жиіліктік жүйесі (а), төрт жиіліктік жүйесі (б)

2-жиіліктік жүйе (3.12 а-сурет) радиорелейлік байланысты ұйымдастыру үшін айқындалған жиілік жолағын қолдануда өте тиімді, бірақ жанама және кері бағытта сигналдарды қабылдаудан және таратудан қорғайтын қасиеттері бар антеннаны қолдану талап етіледі. 10 ГГц-тен жоғары жиілік аралығында қажетті көрсеткіштерге қол жеткізуге болатын қосымша экрандары бар параболикалық антенналар кеңінен пайдаланылады.

4-жиіліктік жүйе (3.12 б-сурет) қарапайым және арзан тұратын антенналарды қолданады және өзара бөгеуілдерден байланыс желісінің қорғанысын күшейтеді. Бірақ өте сирек қолданылады.

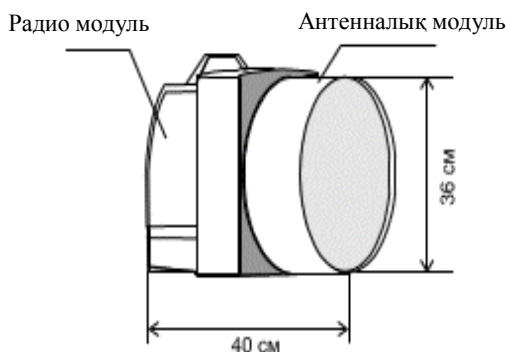
4-жиіліктік жүйені өте күрделі электрмагниттік жағдайда байланыс желісін ұйымдастыру үшін ұсынуға болады.

Радиорелейлік жүйенің экономикалық тиімділігі мен өткізу қабілетін арттыру үшін оларды көп сабақты етеді. Әрбір стансада бірнеше қабылдап-таратқыштар жалпы антенналық-фидерлік құрылғы арқылы әртүрлі жиілікпен жұмыс істейді.

3.4. Тікелей көріністегі радиорелейлік жол аппаратурасы

Ақпараттық радиожелілердің кең дамуы берілген толқын аралықтарында жұмыс жиілігін қолдануды қатаң түрде бекітуге мәжбүрлеп отыр. Соңғы жылдарды жиіліктік спектрдің пайдалану тиімділігінің едәуір екілік поляризациясын қолдану арқылы жаңа жиіліктік жоспарлар даярланды.

Радиорелейлік жүйенің қазіргі аппаратурасының 10 ГГц-тен жоғары жиілік аралығы үшін төмен жиілікті аппаратурамен салыстырғанда құрылмалық орындауда белгілі ерекшелігі бар 10 ГГц дейінгі жиілік аралығында қабылдап-таратқыш аппаратура аппараттық үй-жайда орналасқан ауыр тіреу түрінде орындалады. Антеннамен байланыс едәуір ұзындығы бар және шығындар тудыратын фидерлік толқындармен жүзеге асу аралығында өту аппаратураның құрылмалық орындалуына айтарлықтай өзгеріс енгізді. 10 ГГц-тен жоғары аралықта жұмыс істейтін аппаратураның кішкене габариттері бар және антеннамен бірблокқа бірлескен антенналық тіректің ең жоғарғы нүктесінде орналасады.



3.13-сурет. MINI-LINK цифрлық аппаратурасының қабылдап-таратушы блогының құрылымы

3.13-суретте 23-38 ГГц жиілік аралығы үшін MINI-LINK цифрлық аппаратурасының қабылдап-таратушы блогының құрылымдық орындалу мысалы көрсетілген. Мұндағы параболалық антеннаның диаметрі 30 см және ол қабылдап-таратушы блокпен тікелей толқындарсыз жалғанады.

Қабылдап-таратушы блокты антенналық блоктан ауыстыру, баптау, өңдеу үшін оңай ажыратып алуға болады. Бұл жағдайда блоктың салмағы 11-12 кг құрайды. Аппаратура диаметрі үлкен (0.6 және 1.2 м) антенналарды қолдануға рұқсат береді. Диаметрі 0.6 м антеннаны қолданған кездегі оның конструктивтік орындалуы 3.14-суретте көрсетілгендей. Диаметрі 1.2 м-ге тең антенна қабылдап-таратқышпен қысқа иілгіш толқынжол арқылы жалғанады.

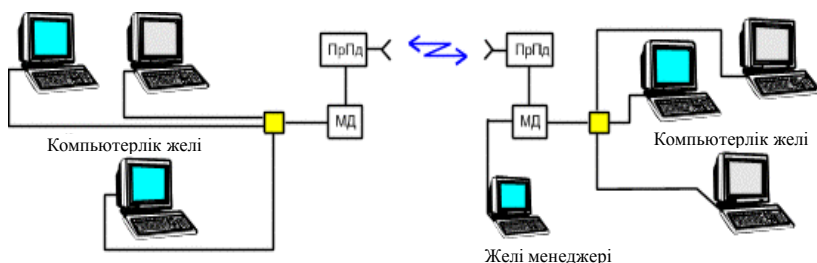
3.14-суретте аппаратура модульдерінің антенналық мұнарада орналасуы бейнеленген.



3.14-сурет. Аппаратура
модульдерінің антенналық
мұнарада орналасуы

8 ГГц-тен жоғары жиілік аралығында қолданылатын аз ғана габариттері және салмағы бар ықшам аппаратура үшбұрышты қиынды түрінде немесе құбырлы құрылма түрінде матчты қолданады. Қабылдап-таратқыш блоктар үй-жайда орналасқан модемдік жабдықпен коаксиал кабелі арқылы жалғанады. Қазіргі модемдік жабдықтар – ол орталық немесе жергілікті компьютерді басқаруды қадағалайтын, жеңіл тасымалданатын жиын. Модемдік жабдық 1-ден 34 Мбит/с

дейінгі жылдамдықта цифрлық ағындарды қалыптастырады, өңдейді, ағындарды мультиплекстеуді жүзеге асырады, кез келген пішін үйлесіндегі (конфигурация) байланыс желілерін ұйымдастыру режимінде қызмет көрсетеді. Мысалға, 2.15-суретте жергілікті компьютерлік желілер арасындағы байланыс жүйесін ұйымдастыру сұлбасы келтірілген. Осындай сұлбаны қозғалыс байланысының базалық станциялары арасындағы байланыс үшін де келтіруге болады.



3.15-сурет

Соңғы кездері микротолқындық көп арналық ақпаратты тарату жүйелері даму үстінде. Бұндай жүйелі жеке немесе ұйым абоненттері үшін теледидарлық бағдарламаның немесе компьютерлік ақпараттың таралуын ұйымдастыруға мүмкіндік береді. MNDS жүйесі 2.7 ГГц жиілік аралығында жұмыс істейтін, антеннасы бар базалық станса желісін білдереді.

Көптеген қабылдағыш абоненттік құрылғылар 25-35 дБ күшейту коэффициенті бар бағытталған антенналармен базалық стансада тікелей көрінетін аймақта орналасады. Базалық стансалармен арасында ақпарат алмасу әртүрлі байланыс жүйелерінің, соның ішінде РРЛ, көмегімен жүзеге асырылады.

3.5. Тропосфералық радиорелейлік жолдар (ТРРЖ)

Дециметрлік және сантиметрлік толқындардың қашықтыққа тропосфералық таралуы құбылысы ашылуы көп арналы ТРРЖ құрудың инженерлік мүмкіндіктерін айтарлықтай ұлғайтуға жағдай жасады. ТРРЖ-ғы алысқа тропосфералық радиотолқындардың

таралуы тропосферадағы қайта сәулеленуден пайда болады. Бұл жағдайда қайта сәулеленудің үш түрі орын алады: тропосфераның көлемдік біртекті еместіктерінен радиотолқындардың шашырауы, тропосфераның барлық қабатынан когерентті және қабат-қабат біртекті еместіктерден когерентті емес шашырауынан. Қайта сәулеленуде таратушы және қабылдаушы антенналардың бағытталу диаграммаларының қиысып өтетін негізгі жапырақшаларымен шектелген тропосфера көлемі қатысады, ол қайта сәулелену көлемі немесе шашырау көлемі деп аталады.

Қазіргі кезде өткізгіштік қабілеті тоналдық жиілікте (ТЖ) 120 арнаға дейінгі, көрші станциялар арасындағы қашықтықтары 300... 400 км, кейбір жағдайда 600 – 800 км-ге дейін болатын тропосфералық РРЖ-дар құрылған. Орасан үлкен территориясы және алыс, әрі қиын қол жететін аудандары бар елдер үшін, мысалы Ресей үшін, тропосфералық РРЖ ерекше қызығушылықты тудырады. Ресей мен Қытай аралығындағы үлкен алқапты алып жатқан Қазақстан үшін де тропосфералық байланыстың маңызы бар. Тропосфералық РРЖ үшін 1,0; 2,0 және 4,5 ГГц диапазонындағы жиіліктер жолағы берілген.

Ультра қысқа жиіліктердің радиотолқындардың қашықтыққа тропосфералық таралуында өзінің ерекшеліктері бар. Біріншіден таралу аймағындағы сигналдың өте күшті әлсіреуі. Сигналдың өшуі қысқы айлардағы радиотолқындардың таралуының нашар кезінде 210... 250 дБ-ге жетеді. Жалпы үлкен сигналдың өшуі жағдайында орнықты байланысты қамтамасыз ету үшін тікелей көріністі РРЖ көрсеткіштеріне қарағанда энергетикалық көрсеткіштері анағұрлым жақсы аппаратураны жасап қолдануға тура келеді. Таратқыш қуаты 3... 10 кВт –қа жетеді, ал кейбір жағдайларда 100 кВт-қа дейін жетуі мүмкін, антенна өлшемдері 1000 м²-тан асуы мүмкін, аз шуылдайтын кіріс күшейткіштер, ЖМ сигналдың деңгейлік табалдырығын төмендететін арнайы құрылғылар пайдаланылады.

Екіншіден, радиосигналдардың қашықтық тропосфералық таралуында сигнал жылдам, баяу және өте баяу (мезгілдік) өзгерістерге (флуктуацияларға) түседі.

Сигналдың жылдам өзгерулері тропосфераның қозғалатын біртекті еместіктерімен қайта сәулеленетін толқындардың интерференциясымен анықталады. Біртекті еместіктердің

қозғалуы келіп түсетін толқынның құрастырушылары фазасы өзгерісін тудырады, ал бұл жылдам тынуларға әкеледі. Жылдам тынулардың жылдамдығы квазипериодпен сипатталады, яғни баяу деңгейді сигналмен екі қиып өту (бір жаққа) арасындағы орташа бес минуттық сеанстық уақытта. Квазипериод әдетте 0,1... 10 с шегінде болады.

Баяу тынулар – бұл 4... 7 мин орташаланған сигнал деңгейі мәндерінің уақыт бойынша өзгерістері. Мұндай орташаландыру аралығы жылдам интерференциялық тынуларды, табиғаты шашырау көлеміндегі біртекті еместіктер қарқындылығы және мөлшерімен байланысты баяу тынулардан бөліп алуға мүмкіндік береді.

Сигналдың мезгілдік өзгерулері (өте баяу тыну) ауа жайы жағдайлары өзгерістерімен анықталады: жазда сигнал қыстағыға қарағанда 5... 14 дБ үлкен болады.

Жол аймағының қалыпты жұмыс істеуі үшін уақыттың 99,9% -де тынуға сигнал деңгейінің қоры 28 дБ болуы тиіс. Бұл өте қиын орындалатын шарт.

ТРРЖ-да интерференциялық тынулармен күресу үшін көбінесе алшақтатып қабылдау жүйелері қолданылады.

Алшақтатып қабылдау мынаған негізделген, қабылдағыш құрылғының шығысындағы сигнал, бір және сол ақпаратты алып жүретін, бірақ тынумен әртүрлі әсерлікке түскен бірнеше кіріс сигналдардың комбинациясы болып табылады. Және мұнда комбинация шығыс сигнал кіріс сигналдарға қарағанда әлдеқайда аз флуктуацияға түсетін болып іске асырылады.

Тропосфералық РРЖ-да алшақтатудың келесі әдістері қолданылады:

- Антенналарды $D \times 100\lambda$ қашықтыққа кеңістіктік алшақтату;
- жиіліктік корреляция радиусынан асып түсетін шамаға алшақтатылған жиіліктердегі сигналдың тыну тәуелсіздігін пайдаланатын, жиіліктік алшақтату;
- сәуленің келіп түсу бұрышы бойынша алшақтату, мұнда бір қабылдағыш антенна және бірнеше сәулендіргіштер пайдаланылады, олардың әрқайсысы көршісіне қарағанда азимуты немесе орны бұрышы бойынша ығысқан өзінің бағытталу диаграммасын құрады;

- комбинацияланған алшақтату, мысалы сигналдар қосағын жиілік бойынша және кеңістікте немесе жиілік және бұрыш бойынша алшақтатумен төрттелген қабылдауда.

Флуктуацияланған радиосигналдың N көшірмесі алынғаннан кейін, оларды тиімді пайдалану қажет, яғни таратылатын ақпараттың шығындары минималды болатындай олардың комбинациясын табу керек.

ТРРЖ-да толқындардың таралуының күрделі сипаты, таралудың үздіксіз кездейсоқ таралу шарттары өтіп жатқан процестердің сандық талдауын қиындатады. Осының салдарынан ТРРЖ-да әлсіреу көбейткішін инженерлік есептеу, эксперименталдық мәліметтерге және статистикалық тәуелділіктерге негізделген жартылай эмпирикалық сипатта болады.

Қайта сәулелену арқылы радиотолқындардың таралуының максималды қашықтығы $r_{\max}$ тропосфераның қалыңдығы h_T -ға тәуелді. Жер бетінің теп-тегістігінде және стандартты рефракцияда

$$r_{\max} \approx \sqrt{8R_3 h_T}, \quad (3.4)$$

мұндағы R_3 – Жердің эквивалентті радиусы, $R_3 = 8500$ км және $h_T = 15$ км, $r_{\max} \approx 1000$ км. (2.4)-тен көрініп тұр, аспанның берілген r ұзындығында, Жер үстіндегі шашырау көлемінің төменгі нүктесінің биіктігі

$$h_0 \approx r^2/8 R_3.$$

Сонымен ТРРЖ-да радиотолқындардың таралуының негізгі ерекшеліктері – таратудағы үлкен шығындар және сигналдардың әртүрлі тынуларының болуы. ТРРЖ аспанындағы шығын мәні 200...250 дБ-ге жетуі мүмкін, бұл РРЖ аспаларындағыдан 80...120 дБ-ге артық.

Бақылау сұрақтары

1. Тікелей көріністі РРЖ көмегімен байланысты ұйымдастыру ұстанымын түсіндіріңдер.
2. Екі аспалы РРЖ сұлбасын сызып көрсетіңдер.
3. РРЖ күрежолын таңдағанда қандай мәліметтерді ескеру қажет?

4. РРЖ күрежолын таңдағанда «ирек-имекті» шарты мәнін түсіндіріңдер.

5. РРЖ бір аспасы қарапайым сұлбасын көрсетіндер.

6. РРЖ үшін негізгі тарату теңдеуін жазып талдаңдар.

7. РРЖ аспасында сигнал қуатының тұрақты түрде шығындануы неге байланысты?

8. РРЖ аспасында сигнал қуатының сигнал қуатының қосымша шығыны қалай пайда болады?

9. Френель аймағы дегеніміз не?

10. Екі көрші радиорелейлік станция арасындағы қашықтық қалай деп аталады?

11. РРЖ-да сигнал қуаты қашықтыққа байланысты азая ма?

12. Аспа бойымен сигнал таралғанда оның деңгейіне атмосфера әсер ете ме?

13. РРЖ –да қолданылатын АЖЖ диапазоны қандай?

14. Ақырғы, аралық және тораптық станциялардың арналуы туралы айтып беріңдер.

15. Қазіргі заманғы РРЖ - да қандай модуляция түрлері пайдаланылады?

16. РРЖ цифрлық бағаны қалай қалыптастырылады?

17. Тропосфералық РРЖ көмегімен байланыс қалай ұйымдастырылады?

18. Тропосфералық РРЖ байланысының қандай ерекшеліктері бар?

4. ҰЯЛЫ РАДИОБАЙЛАНЫСЫ БАР ОСЫ ЗАМАНҒЫ ЖҮЙЕЛЕР

4.1. Ұялы қозғалмалы байланыстың құрылу негіздері

Осы уақыттағы қолданыстағы ұялы байланысы бар перспективті жүйелер (ҰБЖ) бір мезетте байланыспен қатар, орналасу жерлері белгілі территориядағы, ұялы абоненттердің көп мөлшерін қамтамасыз етуге тиісті. Сондықтан тәжірибе жүзінде барлық ҰБЖ көпстанциялы қатынас әдісі бойынша құрылған. Байланыс территориясында *көпстанциялы қатынас* (КҚ) сөзінің астарында “бірмезетте олар арқылы ақпаратты қабылдауға және жіберуге болатын, бірнеше ұялы станциялардың (ҰС) ғарыштық ретрансляторына немесе базалық қабылдап-тарату станцияларының (БҚТС) біреуіне хабарласуға мүмкіндік жатыр”, - деп түсінеді.

КҚ әдістерінің эффективтісі негізінен өткізушілік қабілетіне (көлеміне), шапшаңдылығына, пайдаланатын жиіліктік ресурсына және байланыс жүйесінің кейбір басқа көрсеткіштеріне қарай бағаланады. Бұл жағдайда “кез келген байланыс жүйелерінің көлемі” сөзінің астында: “*әртүрлі (каналдардың) арналардың саны – радиобайланысты, телефонды, телевизиялық, сандық мәліметтерді жіберу және басқалар, немесе жалпылай түрде, сандық жүйелер үшін, секундына биттердің санын – яғни берілген желі арқылы жіберуге болатын “ - деген мағына жатыр деп түсінеді.*

КҚ-тың ең жақын әдісін таңдау қиындығы, радиобайланыс жүйесінің мінездемелері мен оптималды параметрлерін қамтамасыздандыратын, ортогоналды сигналдардың базисін (ансамблін) табуында жатыр. Радиотехникада және ақпаратты беру теориясында ортогоналды сигналдардың базисін құру сигналдарды жиілігі, уақыты және формасы бойынша бөлуіне негізделген. Ортогоналды сигналдардың базистерін құру қабілеттеріне сәйкесінше КҚ-ты ұйымдастырудың үш негізгі әдістерін ерекшелейді. Жұмысты ұйымдастырудың ең қарапайым түрі – *жиіліктік бөлінген* каналдары бар *көпстанциялы қатынас* (ЖБҚК), яғни бұнда әрбір қозғалмалы (мобильді) станция спектрлі диапазонның берілген аумағындағы жиіліктік кейбір жолақтарымен жұмыс істейді. Көрші каналдардың

жұмысшы жолақтарының аралығында, түрлі қозғалмалы станциялардың қабылданатын талапқа сай дәлдікпен бөле алатын, онша үлкен емес жиіліктік қорғаныш интервалдары қарастырылған. Бірақ барлық елдерде пайдаланатын жиіліктік спектр – аса бағалы стратегиялық қор және бұл орны толмас мемлекеттік ресурс.

Жиіліктік спектрдің шектеулігі, *уақыттық бөлінген* каналдары бар *көпстанциялық қатынасты* пайдаланатын (УБКҚ, ағыл-TDMA), қозғалмалы байланыс жүйелерінің таралуына әкеп соқты. Мұндай қатынаста қозғалмалы станциялардағы сигналдардың ортогоналдығына, олардың әрқайсысы үшін жарықталыну немесе сигналдарды қабылдау үшін анықталған, периодты қайталанатын уақыттық интервалдық, TDMA – кадрдың ерекшеленуімен қол жеткізуге болады. Кадрдың ұзақтығы негізінен жүйелік трафиктің (ақпараттық жүктемелеумен, ақпараттық жіберілетін ағындарымен, байланыс желісі арқылы келіп түсетін ақпараттардың мөлшерімен) анықталады. Базалық және мобильді сигналдардың сәулеленіп шығу интервалдары өзара синхрондалған, яғни бұл адамдардың уақыттық бөгелуін (жабылуын) жоққа шығарады немесе болдырмайды.

Қозғалмалы байланыс ұйымдастырудың 3-әдісі – *кодтық бөлінген* каналы бар *көпстанциялық қатынас* (КБКҚ; ағыл - CDMA) кеңжолакты немесе шу тектес сигналдарды пайдалануға негізделген. КБКҚ (CDMA) стандартты ұялы радиобайланыс жүйелерінде каналдардың жиіліктік те, уақыттық та бөлуінің барлық артықшылықтарын пайдаланады. Біріншіден, сигнал үлкен ұзақтыққа ие, уақыт бойынша орналасқан, және сондықтан шыңдық сәулелену қуаты, орташа қуат бірдей болғанымен, ЖБКҚ және УБКҚ-ге қарағанда әлдеқайда аз. Екіншіден, үлкен ұзақтылықты сигналдарда сәулелену импульсінің күшті және қуатты фронттары жоқ. Үшінші артықшылығы – CDMA байланыс жүйелері, сөйлесулердің идеалды жасырындылығын және кедергіден қорғағыштықты қамтамассыздандыратын, көптеген кодтық комбинацияларды енгізуге мүмкіндік береді. Жоғарыда бірөлшемді сигналдардың бөліну әдістері қарастырылғанын атап өтейік. Байланыс және басқа радиотехникалық ақпараттық жүйелерде, радиотолқындардың

кемуіне және олардың кеңістік поляризациясына бағытталған, *кеңістіктік бөлінуімен көпстанциялық қатынастың* (КБКҚ) түрлі әдістері қолданылады.

Қазіргі қозғалмалы жүйелік байланысты үлкен бес топқа бөлуге болады:

- қозғалмалы жүйенің ұялы байланысы (ҚЖҰБ);
- қозғалмалы байланыстың профессионалдык жүйесі (ҚБПЖ);
- жекеленген радио шақырулардың жүйесі (ЖРШЖ);
- жерсеріктіктік байланыстың дамыған жүйесі (ЖСБДЖ);
- сымсыз телефондар жүйесі (СТЖ).

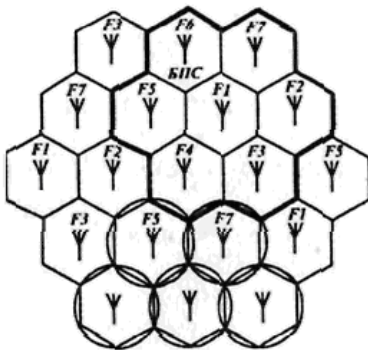
Барлық тізіп шыққан жүйелер ұялы концепция негізінде дамыған байланыстардан құрылған.

Ұялы байланыстың дамыған жүйесі. 1946 жылы телекоммуникация (лат.communication - байланыс) компанияларының бірі АҚШ-та, Миссури штатында, Сент-Луиста ұялы байланыстың бірінші желісін ұйымдастырған. Бұл қарапайым алты арналы (яғни алты жиілігімен) жүйе бір базалы қабылдау қабылдаушы станциясымен байланыс және абоненттік хабарламаны қабылдауға арналған. Бұл желі байланысы шарасыздықтың немесе фатальдылықтың деп аталатын принциппен құрылған: ең үлкен биік көп қабатты үйлі қалада үлкен қуатты жіберуші антеннаны орнатқан. Бұл мүмкін аймақта максималды байланысты қамтамасыз етуге мүмкіндік берді. Бірақ та, мұндай әдіс екі негізгі жетіспеушілікке ие болды. Біріншіден, екі жақта байланысты қамтамасыз ету үшін, ұялы және базалы станцияның қуаты бірдей болу керек. Ол үшін дамыған абоненттік тұрақты токтың генераторы және үлкен сыйымдылықты аккумуляторы қолма - қол қажет болды. Қанша дегенмен, берілген жүйеде үлкен жиілікті қор алынса, онда қызмет көрсететін абоненттердің санының өсуі базалы станцияның тасымалдау жиілігінің саны пропорционалды өсуін талап етеді.

Бірінші тапсырма базалық элементтің қарқындылығы бойынша дамуымен табысты шешілді, жекелей, қажет ететін қуатты ретімен төмендетуге мүмкіндік беретін, өткізетін құралдарды- биполярлы транзисторлардан (биполярлы транзисторды 1948 ж. АҚШ-та Браттейн У.Х, Шокли У, Бардин Дж ойлап тапты; 1952 жылы Шокли өрістік транзисторды жасап шығарды)

құру. Үлкен қорды пайдаланудың эффективті мәселесін байланыс жүйесінің, қарапайым мән ұялы концепциясын шығару жолымен шешуге мүмкіндік болды.

Барлық қамтылған аймақ (территория) араның омартасындай жіңішке рамкасымен аналогты байланыс үлкен емес алтыбұрышты ұяшықты шектесулер – ұяшықтарға бөлінеді (4.1-сурет). Әр ұяшықтың орталығында кішкене қуатты базалы қабылдаушы станция болжанған трафикте келісілген абонентпен байланысты орнату үшін жеткілікті бір немесе бірнеше тасымалдаушы жиілікте (байланыс арнасы) анықталған құрамымен орнатылады. Базалы станция желісі, радиоарналы байланыстар немесе *талшықты – оптикалық байланыс желісі* (ТОБЖ) көмегімен *ортақ пайдаланудың телефонды желісімен* (ОПТЖ) қосылған. Белгілеуді қажет ететін, қандай да бір аймақта радиожабу физикалық ұялы байланыс желісінде ұяшықтармен, айналмалы диаграмманы бағытына ие БҚТС антенналары жүзеге асырылады. Сонымен қатар, нақты байланыс ұялы модель бойынша жүзеге асырылады. Көрші аймақпен қиылысу хорда бойынша болады және алтыбұрышты ұяшықтар көрсетіледі (4.1-суретте дөңгелектер және алтыбұрыштарды қара).



4.1-сурет. Ұялы байланыс құрылымы

Кез келген ұяшықтың әрекет ету радиусы кішкентай болғандықтан, мысалы 1..5 км, бір негізгі станцияның өзі-ақ кіші территорияға қызмет көрсете алады, сондықтан оның қуаты

(ұялы станцияның қуаты секілді) іс жүзінде төмендеуі мүмкін. Шынында да, әр негізгі станцияның қуаты ондаған немесе жүздеген есеге дейін төмендеуі мүмкін, бірақ қуаттарының қосындысы, әрине күшті және сол территорияға қызмет ете алатын бір үлкен БПС-тің қуатындай.

Антенна бағыты дөңгелек диаграммамен бағытталған БҚС бірдей қуатты сигналды жеткізуді шеңбер бойынша жүргізеді, ал бұл көрші сотадағы абоненттік станциялар үшін барлық бағыттағы кедергілерді қабылдаумен бірдей. Мұндай жағдайларда сигналдарды қабылдауда жиіліктік каналдармен сәйкес келетін өзара бөгеуілдер көп әсерін тигізеді. Оларды – арналас кедергілер деп атайды. Бір арналы кедергілердің әсерін болдырмау үшін бірдей жиілікті жиынтықтығы бар сотаны басқа жиілікті жиынтықпен алмастырады. Қызмет көрсету аясындағы әртүрлі жиілікті сота тобын кластер деп, ал жиынтықтағы жиілік санын кластер көлемі деп атайды. 4.1-суретте кластердің көлемі $n=7$ ұялы құрылым қалың сызықпен көрсетілген.

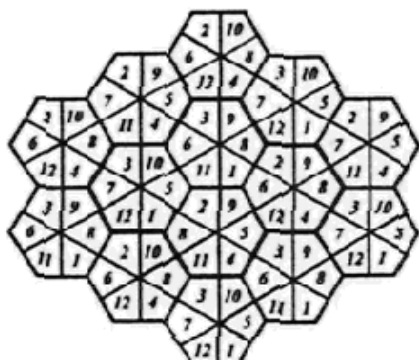
Бірарналы кедергілердің деңгейін айтарлықтай төмендету үшін ДН (Бағытталу диаграммасы) секторы бар БҚТС-ның бірнеше бағытталған антеннасын пайдалану әдісін қолдану керек. ДН секторлы антенна берілген бағыттағы сигналдың барлық дерлік энергиясын шығарады, ал шеткі шығару деңгейі минимумға дейін қысқарады. БҚТС-ның секторлы құрылысы жиілік жиынтығын бір арналы кедергілердің бір мезгілде төмендеткенде қолдану мүмкіншілігін береді.

Ең үлкен сыйымдылықты алты 60 градустық антеннасы бар төрт БҚТС-дан тұратын, радиобайланыстың ұялық модель жүйесі қамтамасыз етеді (4.2-сурет). Осындай модель құрылысының арқасында, төрт БҚТС-ның әрқайсысының әсер ету шегі алты 60 градус антеннаның бір сотаның өзінде 12 топтың жиілігіндей жұмысын атқарады. Қайталамалы жиілік теруін қолданатын барлық ұялы жүйенің байланысы үлкен сұраныспен жасалды. Ұялы абоненттің орналасқан координаты алдын ала белгілі емес және жүйенің қызмет көрсету аясынан тыс жерде.

Сөйлесу сигналдарының сотадан-сотаға «эстафеттік беріліс» идеясы ұялы концепцияға кіреді (ағылш. hand off –

шығарып тастау немесе лақтыру) соның нәтижесінде сотаның шекарасын еркін өту арқылы, бір негізгі станциядан екіншісіне автоматты түрде ауысып, абонент сөйлесуді енгізеді.

Әдетте ұялы жүйе байланысы өте үлкен емес сандардың 1..35 км радиусты үлкен соталарға айналуынан басталады, ол макросот деген атқа ие. Содан макросоттық құрылым біртіндеп 1000 метрге дейін әсерлі радиуспен және көп мөлшердегі кіші соталардың (макросота) жүйесімен трансформатталады. Ұялы жүйе байланысының мұндай түрлендіру әдісі ажырату (расщепление) деп аталады.



4.2-сурет. Он екі топтық жиілігі бар ҚЖҰБ моделі

Бұл кезде радиоқабылдағыштардың негізгі станциясының қуаты еселей азаяды. Микроұяшықтар абонементтердің көшеде, ғимараттарда, вокзал, аэропорттарда қозғалатын немесе қозғалмай тұрған трафиктер үшін керек. Алайда, микроұяшықпен макроұяшықты тораптардың түзілу принципі әртүрлі. Бірінші айырмашылық ол БҚТС-тер арасындағы қосылыстар санының көбеюі, ал бұл деген абоненттердің эстафеталық беріліс кезіндегі қосылыстардың жүру алгоритімінің шапшаң жүзеге асуы қажет. Екінші айырмашылық ол өте тар аймақтағы таралатын радиотолқындардың көрсеткіштерінің болжамдалу шартының қиындылығы. Ал ол үшін арнайы аймақтық топографиялық электрондық аймақтық және де үй құрылыстарының орналасуының картасы керек. Егер бір

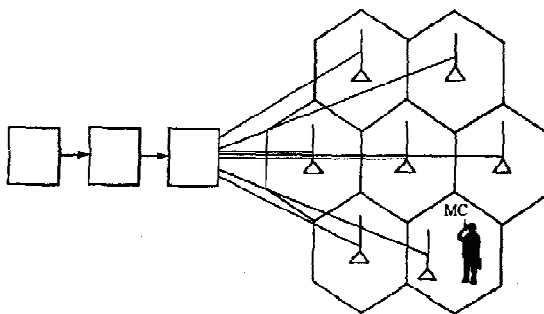
ұяшықта немесе ұяшықтар тобында трафик көрсеткіштерінен асып кетсе, онда ол ұяшық бірнеше кішкентай ұяшықтарға немесе пико ұяшықтарға бөлінеді. Ол ұяшық радиусы 10..100 метрге дейінгі аралықта азайған қуатты БҚТС қабылдағыштарға қызмет көрсетеді. Осындай кезде қанша пиксот құрылса сонша есе орап байланыстың өткізу көрсеткіші өседі. Бірақ микро және пико ұяшықтар кезде тораптың құрамды эстафеталық беріліс және көп есе жіберілетін жиіліктер принципіне қолданылмайды.

Қазіргі электронды және радиотехнологияның қарқынды дамуы ҚЖҰБ-тың құрылымының жаңа концепциясын меңгеруге мүмкіндік береді, бұл ұялы станцияға бағытталған автоматты түрде өзінің диаграммасын құратын БҚС-дағы интеллектуалды антенналар жүйесін қолданумен байланысты. Іс жүзінде цифрлы байланыс жүйесі үшін арнайы жасалған фазалық антенна торларын және адаптивті антенналарды енгізумен мүмкін болды. Қабылдағыштардағы төменгі деңгейдегі бірарналы кедергілерді қамтамасыз ететін және максималды коэффициент жүзеге асыратын антеннаның күшейткіші басты сөйлесу ұялы абоненттің бағытымен жасалған адаптивті ФАР тиімді болып табылды. Интеллектуалды антенна торы қарапайым антенна қатарынан тұрады. Олар амплитудалы микропроцессормен біріккен және қабылданатын радиосигналдардың фазалық анализаторларымен біріктірілген. Ұялы станциядан қарапайым антеннаға түскен фазалық сигналдардың қатынасы және амплитуда анализі нәтижесінде сигналды процессор оптималды қабылдаудың бағытын анықтайды және қажетті ДН торын пішімдейді.

Қазіргі таңда Ресейде көбінесе төрт стандартты ҚЖҰБ қолданылады:

аналогты – NMT-450 (Nordic Mobile Telephone System – Скандинавиялық қозғалмалы телефон байланыс жүйесі) және AMPS (Advanced Mobile Phone System – перспективті қозғалмалы телефон жүйесі), цифрлық – GSM (Global System for Mobile Communications – ғаламдық қозғалмалы байланыс жүйесі), D-AMPS (D-digital - цифрлық) және Qualcomm фирмасының CDMA желісі. Барлық осы қозғалмалы байланыстың жүйесі 0,1-ден 35 км-ға дейінгі ресурстағы үлгілерді қолданады. Іс жүзінде барлық ұялы байланыс жүйесі типтік құрылымдық сұлбамен

құрылады (4.3-сурет). ЖПТЖ және негізгі станция арасында интерфейс болып табылатын ұялы желінің басты элементі – коммутация байланысының орталығы (КБО) (бір нүктеде түйіндесетін үрдістер немесе жүйелер әсерлерін қамтамасыз ететін аппараттық программалар). Жалпы қолданыстағы телефон желісі және ұялы желінің орталық коммутация байланысы (ОКБ) көпарналы байланыс желісінің түрлері арқылы өзара байланысады. Әр БҚТС-ның кез келген сотасында шақыру кезінде жасалған және бір радиоканал арнайы тану каналы бар. Барлық абоненттік ұялы станциялар шақыру каналының «кезекші қабылдау» режимінде жұмыс жасайды. Ұялы абонентті шақыру үшін оның кодталған танылу сигналы бір мезетте барлық негізгі қызмет көрсету аясының станцияларында қосылады. Өзінің шақырту сигналын алған кезде, шақырту каналының жауап беру жиілігінде ҰС қабылдағанын құптайды. Ұлы станция анықталған аймақта осы процедура орнатылғаннан кейін ОКБ сол негізгі станцияның сөйлесу каналының байланысына қосылады. Егер шақырмалы абонентпен жүзеге асырылса, онда оның ҰС-і автоматты түрде табады және байланысқа жауап арадағы негізгі станцияның бос каналына енгізеді.



4.3-сурет. Ұялы байланыс типтік құрылымдық сұлбасы

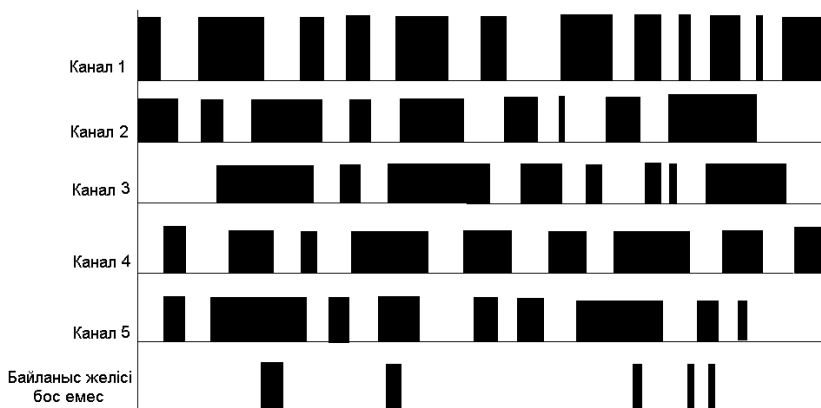
Ұялы байланыс бүкіл Дүниежүзіне таралғаннан бері аз уақыт өтті, алғашқы ұялы станциялар аз габаритті тұтқаларға қарағанда үлкен көлемді және кішігірім алмасу радиостанцияларына

сүзіледі де уақыт аралық жиіліктің екінші күшейткішінен кейін аналогтық-цифрлық түрлендіргішке түседі. Аналогтық - цифрлық түрлендіргіш (АЦТ) аналогтық сигналды цифрлық кодқа түрлендіреді де процессормен операцияланады. Әдетте осындай радиотолқындар аналогтық және цифрлық бөліктерден тұрады.

Мұнда антенна таратқыш және қабылдағыш функциясын бір уақыт аралығында орындай алады. Ол спиральдік антенна деп аталады. Радиотелефонның аналогтық бөлігі әртүрлі жүйелік радиобайланыс классикалық түрінде орындалатын таратқыш және төменгі жиіліктен тұрады. Ұялы радиотелефонның тарату құрылғысы ақпараттық радиосигналды модуляцияның заңы бойынша түрлендіреді. CPU-да түрлендіріліп шығарылған цифрлық сөйлесу сигналы тарату режимінде радиотаратқыштың аналогтық бөлігіне түседі. Модуляциялайтын сигнал, тербеліс генераторының жиілігіне түсетін I/Q генераторында жасалады. Қабылданған сигнал I/Q генераторының шығысында фазалық модуляторына түседі де, f_{FM} тербелісі бергіштің араластырғышына беріледі. Араластырғыштың екінші кірісіне жиілік синтезаторынан $f_{\text{прд}}$ жиілігінің қысымы келеді. Түрленген $f_{\text{с1}}$ сигналы жолақтың керамикалық филтрге сигналдың процессормен басқарылатын күшейтуге болатын қуатқа жіберіледі. Радиотелефонның қуатын белгілі бір БҚС командасы арқылы күшейтуге болады және осы команда арқылы ұялы абонентпен байланыс орындалады. Керекті деңгейге күшейтілген $f_{\text{с1}}$ жиілікті қуат сигналы жолақтық керамикалық филтр арқылы антеннаға түседі де, соның арқасында қоршаған кеңістікке сәуле шашады. Радиотелефонның цифрлық бөлігі берілетін және қабылданатын ақпараттық және қызметтік сигналдарды жасап және түрлендіреді. Оның құрамына цифрлық сигналды процессор, sim-карта, жады, цифрлық пернетақта және дисплейдің каналдық эквалайзері, каналдың кодері\декодері кіреді. Логикалық бөлімі кодтау және кері кодтау операциясын орындайды, қысу және сигналды қалпына келтіру; ақпаратты өңдейді, пернетақтамен басылған және басқа да спецификаны амалдарды орындайды.

4.2. Қозғалмалы байланыстың профессионалдык жүйелері.

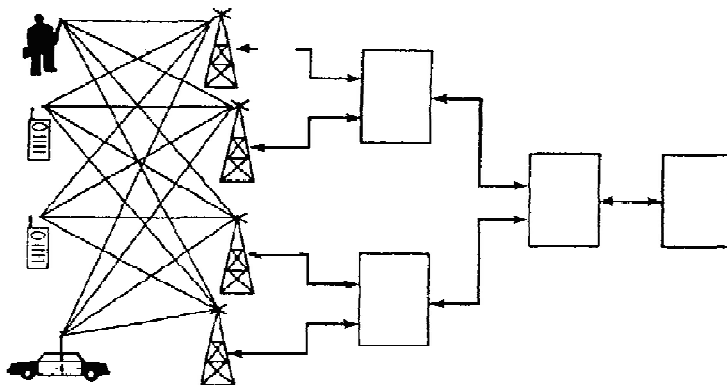
Қимылдың (корпоративті абоненттік топтарға арналған – жедел көмек көрсету бригадасы, төтенше жағдай министрі, өрт сөндіруші, ФСБ, полиция қызметкерлері т.б.) байланыс жүйесі, еркін және ұялық станцияларға рұқсат алу барлық жиілік диапазоңдарға абоненттердегі әр сөйлесу канал желісінде жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Жылжымалы байланыстың профессионалды жүйелерінің әлемдік стандарттарында ұялы абоненттердің байланыстың барлық жүйе каналдарына еркін және қол жеткізу әдісін «транкинг» деп атайды. Осылай бола тұра кез келген еркін сөйлесу каналы, трафик жүйесіне тәуелділігіне байланысты, нақты сеанс үшін уақытша ұялы телефон артына орнатылған. Осы үшін ұялы станцияларда арнайы бағдарланған жиіліктік байланыстарды сканерлеу үшін, жүйеге кіріс кодын және шақырылатын абонемент нөмірін, әр эфирден шығыс сайын өз кодын беріп тұратын, микропроцессорлар орнатылған.



4.5-сурет. Сағаттық трафиктік бес арналы транкингтік байланыс жүйесінің диаграммасы

Енді сағаттық трафиктік бес арналы транкингтік байланыс жүйесінің орташа 3..5 мин. абонент сөйлесулерінің ішіндегі профессионалды қозғалмалы байланыстың диаграммасын қарастырайық.

Берілген суреттің кара ұяшықтары байланыс желілерінің бос емес жағдайларын, ал ақтары бос болған жағдайларын көрсетеді. Егер абонент жеке байланыс желісіне ие болғанда, онда оған әрдайым қосылу мүмкіншілігі 50%-тен аспайтын еді, ал енді кез келген бос каналға қосылудың транкингілік әдісін қолданатын болса, мұндай мүмкіншілік күрт өседі (80-90% дейін).



4.6-сурет. Ұялы байланыстың транкингітік жүйесінің қарапайым құрылымы

4.6-суретте ұялы байланыстың транкингілік жүйесінің қарапайым құрылымы көрсетілген. Транкингілік байланыс жүйесінде абонентке канал бөлудің 2 негізгі әдісі қолданылады:

1. Бос желіні іздеу және шақыру сигналын беруді ұялы абоненттік станция кезекті сканерлеуші *шақырылатын желіні автоматты түрде іздеу (ШЖАІ)* әдісін қолдану арқылы жүзеге асырады. Мұнда, ұялы станция бос желіні ШЖАІ құрылғысының көмегімен сканерлеп іздеген кезде, байланысты орнатпақ бұрын, белгілі бір желінің әрқайсысында тактілік және циклдік синхрондауды қолдану арқылы базалық станциямен байланыс орнату мүмкіндігі жүзеге асырылады. Осының нәтижесінде, байланыс желіні орнату циклінің ұзақтығы белгілі ұялы абоненттің жеке желіемденушілік циклінің ұзындығынан бірнеше есе өседі. Сондықтан, ШЖАІ әдісінің көмегімен кәсіпкерлік транкингілік байланыс жүйесін қолдану 5..10 жиілікті каналдармен жұмыс істегенде өте қолайлы болып келеді.

2. Бос байланыс желісін іздеу *базалық станцияны басқарудың ішкі жүйесі* (БСБЖ) арқасында жүзеге асырылады. Мұнда, базалық станцияны басқарудың арнайы желісі қолданылады. Ол бізге бүкіл жүйенің жұмыс жасау тәртібін басқаруға (оның ішінде орнату, қамтамасыздандыру және байланыс ұзу процедуралары) мүмкіндік береді.

Байланыс жүйесінің негізгі аспектісі – жоғары жиілікті кедергілердің пайда болу жағдайдағы байланыс желісінің басқа бір қолданбалы жиілікке оперативті ауысуы. Бұған қоса, байланыс жүйесінің беріктілігін арттыру мақсатында бұзылыс болған жағдайда түзетілген байланыс каналына автоматты түрде өту немесе шығыс қуатын кеміту қарастырылған.

Жеке радиошақыру жүйелері (ЖРЖ). Пейджинг байланыс жүйелері ұялы абонентке белгілі бір аймақтағы радиоканал арқылы аз көлемді хабарламалардың бірбағытты жеткізілуін қамтамасыз етеді. ЖРЖ – жұмыс жасау принципі бойынша жылжымалы абонентті «әрдайым, кез келген жерде, кез келген адамға» принципін қолдана отырып, қосбағытты байланысқа шақыруға арналған бірбағытты (симплексті) байланыс жүйесі. Бұл жерде «кез келген жер» - жылжымалы байланыс жүйесінің қызмет көрсету аймағымен шектеулі.

Пейджинг байланыс жүйесінің жұмысын қарапайым түрде келесідей көрсетуге болады. Байланыс жүйесінің ұялы абоненттері өзімен бірге әрдайым қабылдау режимінде жұмыс істейтін кішігабаритті жеке шақыру (вызов) қабылдағышын (пейджер) алып жүреді. Бүкіл қызмет көрсету аймағында орналасудың ұялы моделімен сәйкес аз қуатты тасымалдағыш жүйесі болады. Желілі немесе радиоканал байланысының көмегімен бұл тасымалдағыштар жалпы қолданыстағы телефон жүйесімен байланысқан пейджингілік терминал шығысына қосылған. ЖРЖ арқылы ақпараттың кез келген түрін жеткізуге болады, мысалы, дыбыстық сигналдар, цифрлық, жазбалы және цифрлы-таңбалы хабарламалар, т.б. әдетте дыбыстық сигналдар шақырылатын абоненттің көңілін аударту үшін қолданылады. Шақыру (вызов) пейджингілік терминалға телефон жүйесі арқылы немесе көпжиілікті нөмір теру арқылы көпканалды телефон көмегімен немесе жіберілетін хабарламаны қабылдап, терминал компьютеріне енгізетін қызмет көрсету орталығының

диспетчері арқылы телефон жүйесіне қосылған жүйелік компьютерден тікелей пейджингілік терминалға жіберіле алады.

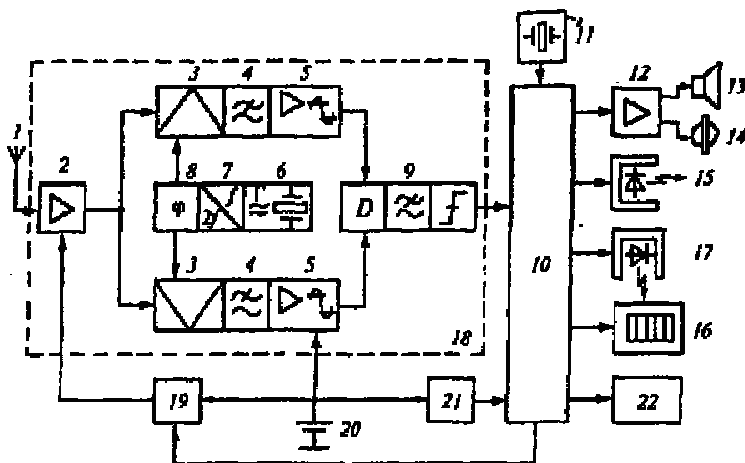
Пейджингілік терминал қабылданған хабарламаны ЖРЖ кодының тиісті форматына түрлендіріп, компьютердің буферлік жадысына алдын ала келіп түскен хабарламалармен қатар орнатады. Одан соң кодталған хабарлама тасымалдағыш жүйесі арқылы өтіп, эфирге жіберіледі. Қабылдауға жіберілген абоненттік пейджерлер түсіп жатқан шақырулар адрестерін үздіксіз сараптап отырады. Сәйкестік болған жағдайда шақыру (вызов) адресінің хабарламасы қабылданып, буфер жадысына жазылады да, пейджер дисплейінде көрінеді. Абонентке түскен хабарлама жайында дыбыстық, жарықтық сигнал немесе қабылдағыш корпусындағы вибрация көмегімен хабарланады.

Қазіргі уақытта ЖРЖ-лер абонентке түрлі хабарламаларды жеткізу үшін әйгілі халықаралық цифрлық POCSAB кодын қолданады. Бұл код 1200 және 2400 бит/с жылдамдықпен жеткізілетін дыбыстық сигналдарды цифрлық, жазбалы және цифрлы-таңбалы хабарламаларды жіберуге мүмкіндік береді. Әдетте, цифрлық ЖРЖ-лер бірқатар елдерде бірыңғай құрылымды және түрлі модификациялы болып келеді.

Мысал үшін 4.7-суретте көрсетілген қазіргі уақыттағы абоненттік қабылдағыштардың бірінің жалпы құрылымдық сұлбасын қарастырайық. Өлшемі қалта калькуляторымен шамалас (50х65х20 см) абоненттік пейджер 150МГц жиілігінде жұмыс істеп, шектелген көлемді цифрлық, жазбалы және цифрлы-таңбалы хабарламаларды қабылдай алады.

Пейджингінің өлшемдерін кішірейту тюнерде (тюнер – қабылдағыштың керекті радиобайланыс каналына, сигналдың жиіліктік селекциясына, демодуляция және күшейту түзетулер блогы) радиосигналдың дыбыстық сигналына тікелей түрлендіру арқылы, бұған қоса, белсенді фильтрлер мен соңғы технологияларды қолдану арқылы жүзеге асырылады. Базалық станциядан жіберілетін ақпараттық және қызметкер радиосигналдарды қабылдау үшін абоненттік пейджерде *жуан жолды енгізілмелі рамалық антенна 1* қолданылады, ол *радиожілікті күшейткішпен 2* тікелей байланысты. Радиосигнал жиілігінің дыбыстық мәніне дейін төмендету *қосканалды квадратуралық түрлендіргіште 3* жүзеге асырылады, оның шығысында *дыбыстық жиілік*

фильтрлер 4 және шектеуіш-күшейткіштер 5 қосылған. Квадратуралық (бір-біріне қатысты фаза бойынша 90° -қа жылжытылған) гетеродинді жоғарыжиілікті кернеулер кварцтық генератордан 6 жиілік түрлендіргішке жиілік еселегіш 7 мен фазайналдырғыш 8 арқылы жетеді. Содан соң түрленген сигналдар өңдеу каналына 9 жіберіледі. Оның құрамына аналогтық өңдеу элементі фильтрлік компаратор және 2-лік кодтық аналогтық-цифрлық түрлендіргіш (АЦТ) кіреді.



4.7-сурет. Абоненттік қабылдағыштардың бірінің жалпы құрылымдық сұлбасы

Декодер және жады модулінің процессоры 10 құрамына таймер кіреді, оның шығыс кедергілерін кварц 11 тұрақтандырады. Жіберілген мәліметтегі абонентінің нөмірінің коды процессор жадысында сақталатын кодпен сәйкес келген жағдайда қабылдағыш хабарламаны қабылдау режиміне өтеді. Осы кезде пейджер қабылдағышында күшейткіш 12 арқылы акустикалық түрлендіргіш 13 пен тактілік (вибрациялық) сигнализаторға 14 өтетін дыбыстық сигнал генерирленеді. Жарық диоды 15 визуалды сигнализацияны жүзеге асырады. Сұйық кристалды таңбалы-цифрлы дисплей 16 қабылданған хабарламаны және оның уақытын көрсетеді. Бұған қоса,

дисплейде ағымдағы уақыт пен күн (дата) көрсетілуі мүмкін. Хабарламаны қараңғыда оқу үшін *жарық диодын* 17 қосу арқылы дисплейді жарықтандыруға болады.

Тюнерді 18 күту режиміндегі программамен қосып-өшіру үшін арнайы *қосқыш* 19 қолданылады. Пейджерді тұрақты токпен қоректендіру *батареялық элемент* 20 арқылы жүзеге асырылады. Құрылғыны ауыстыру не қоректендіру қажеттілігін *шектік разряд анықтаушысы* 21 хабарлайды. Абонент қабылдағышты *хабарламаларды және дыбыстық сигнализацияны орнату режимдерінің қосқышы* 22 көмегімен басқарады.

Әдеттегі пейджерлермен қатар қазіргі уақытта кішігабаритті қосбағытты пейджерлер – твейджерлер немесе трансиверлер қолданысқа ие. Олар базалық станцияға хабарламаның қабылданғаны жайында және қысқа жауап мәліметтерді жібере алады. Бұндай абоненттік қабылдағыштарға қосымша сервистік қызмет көрсетулер енгізіледі.

Соңғы кезде кодталған хабарламаны ғаламшардың кез келген нүктесіне жеткізе алатын бүкіләлемдік халықаралық ЖРЖ-н орнату туралы ой туындайды. Ол спутниктік жүйелер арқылы жүзеге асырылады. Жылжымалы радиобайланыстың спутниктік жүйенің алғашқысы – АҚШ шығарған Sky-Tel атты жүйе. Оның негізгі элементі геостационарлық орбитада орналасқан спутник-ретранслятор болып табылады. Ол үнемі бір нүктеде орналасқандықтан ретранслятор антеннасының сәулелері белгілі бір қызмет көрсету аймағына оңай жетеді. Sky-Tel ЖРЖ-інің АҚШ пен Сингапурдағы 750-ден астам қалада қызмет көрсетеді. Бұл жүйенің жұмыс жасайтын негізгі тасымал жиілігі – 931 МГц.

БИБЛИОГРАФИЯЛЫҚ ТІЗІМ

1. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высш. шк., 1988. – С. 444.
2. Нефедов В. И. Основы радиоэлектроники и связи. – М.: Высш. шк., 2002. – С.510.
3. Головин О. В. Радиоприемные устройства.– М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – С. 384.
4. Скляр О. К. Современные волоконно-оптические системы передачи. – М: солон-р, 2001. – С.237.
5. Каганов В. И., Битюгов В. К. Основы радиоэлектроники и связи. – М.: Горячая линия - Телеком. 2006. – С.551.
7. Кантор Л. Я. Спутниковая связь и вещание. – М: Радио и связь, 1997. – С. 521.
8. Каплун В. А., Браммер Ю. А. и др. Радиотехнические устройства и элементы радиосистем. – М.: Высш.шк., 2002. – С. 294.
9. Катунин Г. П., Мамчев Г. В., Попандопуло В. Н., Шувалов В. П. Телекоммуникационные системы и сети. Радиосвязь, радиовещание, телевидение. Т.2. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – С. 672.
10. Устройство приема и обработки сигналов: Учеб. пособие. Кн.1/ Под ред. С. Б. Макарова и С. А. Подлесного. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2001. – С. 136.
11. Поляков В. Т. Посвящение в радиоэлектронику. – М: Радио и связь, 1988. – С. 352.
12. Мордухович Л. Г. Радиорелейные линии связи. – М: Радио и связь, 1989. – С. 159.
13. Шахгильдян В. В. Радиопередающие устройства. – М: Радио и связь, 1990. – С. 432.
14. Гитин В. Я., Кочановский Л. Н. Волоконно-оптические системы передачи. М: Радио и связь, 2003. – С. 128.
15. Нұрманов М. Ш., Құрманов А. Т., Жанқозин Ә. Ж. Электроника және микросхемотехника. Оқулық. – Алматы.: ҚР ИМ баспасы, 2000. – 233 б.
16. Нұрманов М. Ш. Микросхемотехника негіздері. – Астана.: «Фолиант» баспасы, 2008. – 244 б.
17. Нұрманов М. Ш. ОӘК. Радиотехника негіздері. – Алматы.: ҚазҰТУ баспасы, 2011. – 100 б.

18. *Хачикян В. С., Джаманишлов М. У.* ОӘК. Жерсеріктік байланыс және навигация. – Алматы: ҚазҰТУ, 2009. – 53 б.
19. *Филатчевков С. В., Базаров И. К.* Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС, ИПРЖР. Москва, 1998 г.
20. *Бектыбаев Т. Х., Берікұлы А., Ниеталин Ж. Н., Нұрманов М. Ш., Токтамысов Н. М., Шайхин Б. М.* Қазақша-орысша, орысша-қазақша терминологиялық сөздік. Электроника, радиотехника және байланыс. – Алматы.: Рауан, 2000.– 235 б.
21. *Ж. Ниеталин, М. Нұрманов, Ж. Ниеталина, С. Әлібаева, Н. Жүнісов, С. Әлібаева, Б. Кемелбеков, Н. Құсамбаева, О. Сарсенбаев.* Қазақ тілі терминдерінің салалық ғылыми түсіндірме сөздігі. Электроника, радиотехника және байланыс. – Алматы.: Мектеп, 2007. – 230 б.
22. <http://www.google.kz>
23. <http://www/al-soft.com/saa/satinfo.shtml> – сілтемесі.
24. *Нурманов М. Ш., Тирижанова М. Б.* Жер серіктік навигация және жерді барлап-бақылау жүйелері. Оқу әдістемелік кешені. Алматы: ҚазҰТУ, 2012. – 62-65 б.
25. *Хачикян В. С.,* Система спутниковой связи. Учебно-методич. комплекс. КазНТУ им. К. И. Сатпаева, 2012 г. – 30-33 стр.
26. *Нурманов М. Ш., Тирижанова М. Б.* Физические основы электроники. Учебно-методич. комплекс студента. – Алматы: КазНТУ им. К. И. Сатпаева, 2011 г. – 50-53 стр.

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ	3
1. ЖЕР СЕРІКТІК БАЙЛАНЫС ЖҮЙЕСІ.....	4
1.1. Жер серіктік байланыс жүйелері дамуы және құру принципі.....	4
1.2. Жерсеріктік байланыс жүйелері құрылысы мен сипаттамалары.....	8
1.3. Жерсеріктік және жер байланыс жүйесінің электрмагниттік үйлесімділігі.....	22
1.4. Қозғалмалы жерсеріктік байланыс жүйесі.	31
1.5. Ғарыштық жерсеріктік байланыс жүйелері. IRIDIUM жерсеріктік жүйесі.....	36
1.6. CDMA GLOBALSTAR жерсеріктік жүйесі.....	41
1.7. INMARSAT жерсеріктік жүйесі	50
1.8. GPS және ГЛОНАСС жерсеріктік навигация жүйесі.....	55
1.9. Қолданыстағы ғарыштық радиобайланыс түрлері.....	62
1.10. КазСат-2 Қазақстан Республикасының жерсеріктік байланыс жүйесі.....	66
2. ТАЛШЫҚТЫҚ ОПТИКАЛЫҚ БАЙЛАНЫС ЖҮЙЕСІ.....	83
2.1. Сигналдарды таратудың оптикалық орталары.....	83
2.2. Сәулелендіру көздері.	103
2.3. Талшықты- оптикалық байланыс жүйесі (ТОБЖ) классификациясы және ТОБЖ-ны құру ұстанымдары.....	105
2.4. Таратушы және қабылдаушы оптикалық модульдер.....	111
3. РАДИОРЕЛЕЙЛІК БАЙЛАНЫС ЖҮЙЕСІ.....	118
3.1. Тікелей көріністегі радиорелейлік байланыс жолдарын құрудың жалпы принциптері.....	118
3.2. РРЖ станциясының орналастыратын орнын таңдау. Субрефракция және интерференция әсерінен тыну, Френель аймағы.....	124
3.3. Радиорелейлік радиобайланыс жүйесі стансалары құрылымы.....	130
3.4. Тікелей көріністегі радиорелейлік жол аппаратурасы.....	133
3.5. Тропосфералық радиорелейлік жолдар (ТРРЖ).....	135

4. ҰЯЛЫ РАДИОБАЙЛАНЫСЫ БАР ОСЫ

ЗАМАНҒЫ ЖҮЙЕЛЕР.....	140
4.1. Ұялы қозғалмалы байланыстың құрылу негіздері.....	140
4.2. Қозғалмалы байланыстың профессионалдық жүйелері.....	150

Оқулық басылым

Айнұр Ермакқалиқызы Құттыбаева

ҚАЗІРГІ ЗАМАНҒЫ
РАДИОБАЙЛАНЫСТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР

Оқу құралы

РБ бастығы	<i>З.А. Ғұбайдулина</i>
Редакторы	<i>А.И. Бейсебаева</i>
Компьютерде беттеген	<i>Л.П. Өмірбекова</i>

Басуға қол қойылды 21.01.2015 ж.
Пішімі 60x84 1/16. №1 баспаханалық қағаз.
Көлемі 10,0 есепті баспа табақ. Шартты баспа табағы 9,3.
Таралымы 300 дана. Тапсырыс № 301.
Бағасы келісімді.

Қ.И. Сәтбаев атындағы
Қазақ ұлттық техникалық университетінің басылымы,
Оқу-баспа орталығы.
Алматы қ., Сәтбаев көшесі, 22

ISBN 978-601-228-725-7

