

<https://doi.org/10.51301/ce.2024.i2.05>

The relationship between satellite and mobile networks: comparative analysis of data transfer rate and bandwidth

A. Matkarimova*, A. Umarov, Zh. Ayapbergen, A. Orazay

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: arukamatkarimova@mail.ru

Abstract. This article discusses a methodology for calculating the basic parameters of an information transmission system from a spacecraft to a network of ground stations. The study analyzed the features of the development of mobile and satellite communication systems, their complementarity and technical characteristics. In order to ensure the efficiency of the information transmission system, the necessary calculations were carried out considering the frequency range of the system, the type of modulation, losses in the antenna-feeder system and atmospheric influences. The 7-8 GHz range was chosen as the frequency range used, and the actual operating range was determined in the range of 7.25-7.30 GHz. Differential quadrature-phase modulation ($\pi/4$ -DQPSK) with a $\pi/4$ radial phase shift was used as the modulation method. According to the calculation results, the width of the required frequency band was 5 MHz, while considering the total losses and atmospheric attenuation in the antenna-feeder system. The results of the conducted research can serve as a methodological basis for designing and optimizing mobile and satellite communication systems.

Keywords: space communication system, mobile network, satellite communications, information transmission rate, modulation method, $\pi/4$ -DQPSK, frequency range, antenna-feeder system, atmospheric attenuation, energy equilibrium, communication system efficiency.

1. Кіріспе

Қазіргі замандағы ақпараттық-коммуникациялық технологиялардың қарқынды дамуы бүкіл әлемде байланыс инфрақұрылымдарының үнемі жаңарып, жетілдіріліп отыруын талап етеді. Байланыс жүйелері адамдар арасындағы ақпарат алмасудың негізгі құралына айналып, экономиканың, әлеуметтік саланың және қауіпсіздіктің ажырамас бөлігі болып отыр. Соның ішінде мобильді және спутниктік байланыс жүйелері әлемнің әр түкпіріндегі адамдарды байланыстыруда ерекше рөл атқарады. Мобильді желілердің басты артықшылығы — жоғары жылдамдықтағы деректерді беру мен қолжетімділік, ал спутниктік байланыс шалғай және қолжетімсіз аймақтарды қамти алады. Осы екі жүйенің үйлесімді жұмысы ғаламдық деңгейде үздіксіз және сенімді байланыс орнатуға мүмкіндік береді. Мақалада мобильді және спутниктік байланыс жүйелерінің техникалық сипаттамалары, олардың дамуы, артықшылықтары мен шектеулері талданып, олардың өзара байланысының маңыздылығы көрсетіледі. Сонымен қатар, практикалық есептеулер негізінде екі жүйенің өзара әрекеттесу тиімділігі зерттеледі.

1.1. Мобильді және спутниктік желілердің даму ерекшеліктері

Мобильді байланыс желілерінің эволюциясы бірнеше технологиялық кезеңдерді қамтиды және олардың әрқайсысы деректерді беру жылдамдығы мен желі мүмкіндіктерін айтарлықтай жетілдірді. 2G-ден бастау

алған бұл даму кезеңдері бүгінгі таңда 5G технологиясына дейін жетті.

2G желісі секундына бірнеше килобит жылдамдықпен деректерді жеткізуге мүмкіндік беріп, негізінен дауыс байланысы мен қысқа мәтіндік хабарламалар жіберу үшін қолданылды.

3G технологиясының енгізілуімен деректерді беру жылдамдығы секундына бірнеше мегабитке дейін артып, бейнеқоңыраулар мен интернет қызметтерін тиімді пайдалануға жағдай жасалды.

4G желісі бұл көрсеткіштерді одан әрі жетілдіріп, деректерді беру жылдамдығын ондаған мегабитке дейін жеткізді. Бұл кезеңде жоғары сапалы бейне ағындарын тарату, мобильді қосымшалармен жұмыс істеу және онлайн ойындар қолжетімді болды.

Қазіргі таңда ең жаңа технология болып саналатын 5G желісі секундына бірнеше гигабитке дейінгі деректерді беру жылдамдығын қамтамасыз етеді. Бұл үлкен көлемді файлдарды бір сәтте жүктеуге, виртуалды және кеңейтілген шындық технологияларын үзіліссіз пайдалануға, сондай-ақ «Заттар интернеті» (IoT) экожүйесін кеңінен енгізуге мүмкіндік береді. 5G технологиясы желі сенімділігін, өткізу қабілетін және қызмет көрсету сапасын жаңа деңгейге көтерді.

Ұялы байланыс желілерінің даму кезеңдері мен олардың деректерді беру жылдамдықтары 1-суретте көрсетілген.

Спутниктік байланыс жүйелері де ақпараттық-коммуникациялық инфрақұрылымның маңызды құрамдас бөлігі болып табылады. Бұл технологияның

басты ерекшелігі – жаһандық қамту мүмкіндігі. Спутниктік желілер әлемнің ең шалғай және қолжетімсіз аймақтарында байланыс орнатуға мүмкіндік береді, сондай-ақ төтенше жағдайларда немесе табиғи апаттар кезінде сенімді байланыс құралы ретінде қолданылады.

Телефондық модем	56 кбит/сек
Телефондық ADSL	24 Мбит/сек
Ұялы 2G (GSM, GPRS)	9,6 кбит/сек
Ұялы 3G (UMTS)	384 кбит/сек
Ұялы 4G (LTE Adv.)	100 Мбит/сек

Сурет 1. Мобильді желілердегі деректерді беру жылдамдығының эволюциясы

Дегенмен, спутниктік байланыс жүйелерінің деректерді беру жылдамдығы мен өткізу қабілеті мобильді желілерге қарағанда шектеулі. Қазіргі спутниктік технологиялар деректерді беру жылдамдығын секундына бірнеше килобиттен ондаған мегабитке дейін қамтамасыз ете алады. Бұл көрсеткіш қолданылатын жерсеріктік жүйенің түріне, орбиталық биіктігіне және техникалық параметрлеріне тікелей байланысты.

Жалпы алғанда, мобильді және спутниктік байланыс жүйелерінің даму динамикасы ақпараттық қоғамның қажеттіліктеріне сәйкес желі мүмкіндіктерінің кеңеюін және жаңа технологиялардың енгізілуін көрсетеді. Мобильді желілер жоғары жылдамдықтағы деректер беру мен пайдаланушы тәжірибесін жақсартуға бағытталса, спутниктік байланыс шешімдері жаһандық қамтуды қамтамасыз етуге басымдық береді.

2. Зерттеу әдістері мен материалдары

Бұл зерттеу жобасында ғарыш аппаратынан жердегі станциялар желісіне ақпарат беру арнасының негізгі параметрлері есептеледі. Есептеулер барысында ақпаратты беру жылдамдығы, модуляция түрі, жиілік диапазоны, антенна-фидерлік жүйе сипаттамалары мен қоршаған орта факторлары ескеріледі.

Ақпарат беру жүйесінің техникалық талаптары

Зерттеу объектісі ретінде төмендегі бастапқы деректер алынды:

- Ақпарат беру жылдамдығы — 5 Мбит/с;
- Бір биттегі қатенің орташа ықтималдығы — 10^{-6} -дан жоғары емес;
- Ғарыш аппаратының орбитасы — дөңгелек, биіктігі 300 км;
- Таратушы антеннаның бағыттылық диаграммасы жерсеріктік аймақтың (радио көріну аймағының) астындағы әрбір нүктеде сигнал қуаты ағынының бірдей тығыздығын қамтамасыз етуі тиіс;
- Жұмыс жиілік диапазоны — 7–8 ГГц (Халықаралық Байланыс Одағының регламентіне сәйкес таңдалады);
- Борттық фидерлік жолдың ұзындығы — 1.5 м;
- Жердегі станция фидерлік жолының ұзындығы — 4.5 м;
- Жүйенің жұмыс бұрышы — 10° -дан жоғары;
- Қабылдау жолының эквивалентті шу температурасы — қабылдау жүйесінің техникалық сипаттамаларына байланысты 150–300 К диапазонында таңдалады (есептеу барысында нақтыланады).

Жиілік диапазонының сипаттамасы

Зерттеу барысында қолданылатын жиілік диапазоны — 7–8 ГГц аралығы, яғни Х-диапазонына жатады. Бұл диапазон Халықаралық байланыс регламентіне сәйкес спутниктік байланыс үшін бөлінген және төмендегі техникалық сипаттамаларымен ерекшеленеді:

Кесте 1. Жиілік диапазонының сипаттамасы

Диапазон атауы	Жиілік ауқымы	Ерекшеліктері
Х-диапазон	7–8 ГГц	Орташа жиілікті, аз уақытша кешігу, атмосфералық шығындары төмен, әскери және азаматтық спутниктік байланыс жүйелерінде жиі қолданылады

Х-диапазоны атмосфералық әлсіреу тұрғысынан салыстырмалы түрде тиімді болып табылады және жаңбыр, бұлттылық сияқты табиғи факторлардың әсері К және Ка диапазондарымен салыстырғанда аз.

Антенна-фидерлік жолдағы шығындарды бағалау

Антенна-фидерлік жүйедегі сигналдың әлсіреуі фидердің ұзындығына, жиілік диапазонына және материалдық сипаттамаларына тәуелді. Борттық фидерлік жолдың ұзындығы 1.5 м, жердегі станцияның фидерлік жолының ұзындығы 4.5 м құрайды. Орташа коаксиалды кабель үшін 7–8 ГГц жиілігінде 1 метрге шаққандағы әлсіреу шамамен 0.1–0.2 дБ құрайды. Толық фидерлік шығын есептеу кезінде нақтыланады.

Атмосфералық шығындарды анықтау

Байланыс жолындағы қосымша шығындардың бірі — атмосфера қабаттарындағы сигналдың әлсіреуі. Ол, негізінен, келесі факторлардан тұрады:

- Газ сіңірілуі (оттегі және су буы);
- Жаңбыр және қар әсері;
- Атмосферадағы шашырау құбылыстары.

Зерттеу шарттары бойынша, минималды жұмыс бұрышы 10° болғанда атмосфералық әлсіреу орташа есеппен 0.3–0.8 дБ шегінде болады (Х-диапазоны үшін).

Жалпы тарату жолындағы шығындар

Таратушы ғарыш аппараты антеннасынан қабылдаушы жер станциясының антеннасына дейінгі жалпы шығындар мыналарды қамтиды:

- Еркін кеңістіктегі таралу шығындары;
- Антенна-фидерлік жүйедегі шығындар;
- Атмосфералық әлсіреу.

Жалпы шығындарды есептеу үшін төмендегі формула қолданылады:

$$L_{\text{жалпы}} = L_{\text{еркін}} + L_{\text{фидер}} + L_{\text{атмосфера}} \quad (1)$$

Қабылдау жүйесінің кірісіндегі шу қуатын анықтау

Қабылдау жүйесінің кірісіндегі эквивалентті шу қуаты Никвист формуласы бойынша есептеледі:

$$P_{\text{ш}} = k \cdot T \cdot B \quad (2)$$

мұндағы:

- $k = 1.38 \times 10^{-23}$ Дж/К — Больцман тұрақтысы;
- T — эквивалентті шу температурасы;
- B — жүйенің өткізу қабілеті (Гц).

Жоба барысында қабылдау жүйесінің тиімді жұмыс істеуі үшін қажетті SNR деңгейі қамтамасыз етілуі тиіс.

Антеннаның күшейту коэффициентін анықтау

Таратушы және қабылдаушы антенналардың күшейту коэффициенттері антенна диаметріне, жұмыс жиілігіне және сәуле диаграммасына байланысты анықталады:

$$G = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad (3)$$

мұндағы:

- η — антеннаның тиімділігі (0.55–0.7 шегінде);
- D — антенна диаметрі;
- λ — жұмыс жиілігіне сәйкес толқын ұзындығы.

Осы зерттеу барысында мобильді және спутниктік байланыс жүйелерінің негізгі техникалық сипаттамалары қарастырылып, ақпаратты тарату арнасының негізгі параметрлерін есептеудің әдістемесі ұсынылды. Алынған нәтижелер спутниктік байланыс арналарының энергетикалық теңгерімін бағалауға және байланыс сапасын қамтамасыз ету үшін қажетті техникалық талаптарды анықтауға мүмкіндік береді.

2.1. Модуляция түрін таңдау және қажетті жиілік диапазонын анықтау

Ғарыштық байланыс жүйелерінде ақпаратты тиімді беру үшін модуляция әдісін дұрыс таңдау ерекше маңызды. Бұл таңдауда жүйенің энергетикалық сипаттамалары, өткізу қабілеті, қателік ықтималдығы және жиілік ресурстары ескеріледі.

Модуляция әдісін таңдауда H_2 параметрінің мәні маңызды рөл атқарады. Аталған параметр сигналдардың кодтық комбинацияларының қашықтығына, резервтеу дәрежесіне және код негіздеріне тәуелді. Резервтеу деңгейі мен код негіздерінің жоғарылауы H_2 параметрінің ұлғаюына және, тиісінше, сигнал сапасының жақсаруына алып келеді. Алайда, бұл жиілік диапазонының ұлғаюын талап етеді, яғни спектр тиімділігін төмендетуі мүмкін.

Шектеулі қуат ресурстары жағдайында (әсіресе, ғарыштық байланыс жүйелерінде) өткізу қабілеті мен қуат арасындағы оңтайлы тепе-теңдікті сақтау қажет. Мұндай жағдайда келесі екі негізгі тәсілді қарастыруға болады:

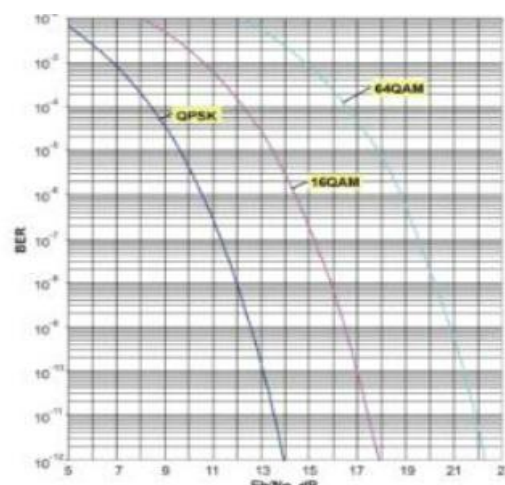
1. Қуаттың бір битке шаққандағы деңгейі тұрақты (E_b/N_0) болғанда, қателік ықтималдығы (P_b) есебінен өткізу қабілетін арттыру;
2. Қателік ықтималдығы тұрақты болғанда, өткізу қабілеті есебінен E_b/N_0 деңгейін төмендету.

Осы зерттеу жобасында ақпарат беру жылдамдығы салыстырмалы түрде төмен (5 Мбит/с) болғандықтан, қажетті сигнал/шу қатынасына (E_b/N_0) салыстырмалы түрде төмен таратқыш қуатында қол жеткізуге болады.

2.2. Модуляция түрлерін салыстыру

Модуляция әдісін таңдау үшін квадратуралық-амплитудалық модуляция (QAM) мен квадратуралық-фазалық модуляция (QPSK) әдістерінің сипаттамалары талданды. Салыстырмалы талдау нәтижесінде QPSK модуляциясы тиімдірек екені анықталды, себебі қатенің бірдей ықтималдығы жағдайында бұл модуляция әдісі сигнал/шу E_b/N_0 қатынасының төмен мәндерінде жұмыс істей алады.

Бұл әдістің басты артықшылығы — қажетті өткізу қабілеттілігі мен деректерді беру сапасын қамтамасыз ете отырып, жиілік диапазонының шамадан тыс кеңеюін талап етпеуі. QAM әдісіне қарағанда, QPSK модуляциясының энергия тиімділігі жоғары, ал қателік ықтималдығы сигнал/шу қатынасына азырақ тәуелді. 2-суретте екі модуляция әдісінің салыстырмалы сипаттамалары көрсетілген.



Сурет 2. Квадратуралық-амплитудалық және квадратуралық-фазалық модуляцияны салыстыру

2.3. Қолданылатын модуляция әдісі

Қосымша салыстыру нәтижесінде QPSK модуляциясының ішінен $\pi/4$ радианға фазалық жылжуымен дифференциалды квадратуралық-фазалық модуляция ($\pi/4$ -DQPSK) ең оңтайлы нұсқа ретінде таңдалды. Бұл әдістің артықшылықтары:

- сигнал спектрі кеңейтілмейді;
- символдар арасындағы интерференция деңгейі төмен;
- энергия тиімділігі жоғары;
- қабылдаушы құрылғыда синхронизация талаптары жеңілдетілген.

$\pi/4$ -DQPSK модуляциясының минималды жолақ ені:

$$T_x = 2T_s T \quad (4)$$

және ол 5 МГц ақпарат беру жылдамдығында толық қамтамасыз етіледі. Бұл жағдайда сигнал/шу қатынасының қажетті мәні шамамен 11 дБ құрайды.

2.4. Қажетті жиілік диапазонын анықтау

Квадратуралық-фазалық модуляция түрлерін одан әрі салыстыру ең оңтайлы түрдің $\pi/4$ ($\pi/4$ -DQPSK) қадамымен дифференциалды квадратуралық фазалық модуляция екенін көрсетті, өйткені ол алатын жолақ минималды ($T_x = 2t_s$) және 5 МГц-ке тең және қажетті сигнал/шу көрсеткіштері де минималды. Осының бәріне сүйене отырып, берілген сапамен ақпарат беру үшін сигнал/шу қатынасының қажетті мәні 11дБ құрайды деген қорытынды жасауға болады.

Қажетті жиілік диапазонын анықтау қажетті жиілік диапазонының ені (SP) - белгілі бір жағдайларда қажетті жылдамдықпен және сапамен хабарламалардың берілуін қамтамасыз ету үшін берілген сәулелену класында жеткілікті жиілік диапазонының ені. Символаралық интерференция болмаған кезде сигналды беру үшін қажетті N жиілік диапазоны 5 формулада көрсетілген:

$$\Delta f = 2/T \quad (5)$$

мұндағы T — арна импульсінің ұзақтығы (T_x).

5 Мбит/с жылдамдықтағы деректерді беру кезінде $T = 0.2 \mu s$ деп алуға болады. Сонда қажетті жиілік диапазоны:

$$\Delta f = 2/0.2 \times 10^{-6} = 10 \text{ МГц}$$

Алайда таңдалған модуляция әдісінің ерекшеліктерін ескере отырып, спектрлік тиімділікті арттыру үшін нақты жүйеде жиілік диапазоны 7–8 ГГц ауқымында таңдалды, бұл Халықаралық байланыс регламентіне толық сәйкес келеді.

3. Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде мобильді және спутниктік байланыс жүйелерінің өзара толықтырылатын, бірін-бірі тиімді толықтыратын жүйелер екендігі анықталды. Мобильді байланыс желілері жоғары деректерді беру жылдамдығын қамтамасыз еткенмен, олардың географиялық қамту аймағы шектеулі. Спутниктік байланыс жүйелері әлемнің кез келген нүктесінде байланыс орнатуға мүмкіндік беріп, мобильді желілердің қамту аймағынан тыс жерлерде сенімді байланыс арнасын ұсынады.

Есептеу нәтижелері бойынша, жүйенің тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін қажетті жиілік диапазоны 5 МГц деп анықталды. Атмосфералық жұтылу мен антенна-фидерлік жүйелердегі сөну ескеріліп, байланыс арнасының энергетикалық тиімділігі бағаланды. Қолданылатын модуляция түрі ретінде $\pi/4$ радиан фазалық жылжумен дифференциалды квадратуралық-фазалық модуляция ($\pi/4$ -DQPSK) таңдалды. Бұл модуляция түрі спектрдің еніне шамадан тыс талап қоймай, қателік ықтималдығы төмен байланыс орнатуға мүмкіндік береді.

Біздің есептеулеріміз бойынша, $\pi/4$ -DQPSK модуляциясының шарттары орындалғанда, арнадағы импульс ұзақтығы $T_X=2T_S$ болғандықтан, қажетті жиілік диапазонының ені 5 МГц құрайды. Таңдалған модуляция түрі радиожүйенің жердегі кодтауға деген қажеттілігін болдырмайды. Себебі жобалық жылдамдық (5 Мбит/с) салыстырмалы түрде төмен және ақпарат берудің қажетті сапасын қамтамасыз ету үшін модуляцияның өзі жеткілікті. Сондықтан кодтау қолдану жүйенің күрделілігі мен құнын арттыратыны ескеріліп, одан бас тарту туралы шешім қабылданды.

Байланыс регламентіне сәйкес, жобаланған жүйе жұмыс істейтін нақты жиілік диапазоны таңдалды. Техникалық талаптарға сәйкес, бұл диапазон 7–8 ГГц аралығында анықталды. Нақты қолданылатын диапазон ретінде 7.25–7.30 ГГц жиіліктері алынды. Бұл диапазон Халықаралық байланыс одағының ережелеріне сәйкес бекітілген және бекітілген жерсеріктік (ғарыш – Жер) және жылжымалы байланыс арналарына бөлінген.

3.1. Антенна-фидерлік құрылғылардағы шығындарды есептеу

Антенна-фидерлік жүйелердегі сигнал әлсіреуін анықтау үшін анықтамалық деректер қолданылды. Жоба бойынша, фидер ретінде тікбұрышты толқын өткізгіш қарастырылды. Сигналдар 7.25–7.30 ГГц жиілік диапазонында берілетіндіктен, жұмыс толқын ұзындығы 4.11–4.14 см аралығында болады. Толқын өткізгіштің көлденең қимасының өлшемдері 2.85×1.25 см.

Мұндай толқын өткізгіш үшін толық ыдырау коэффициенті $\alpha=0.073$ дБ/м деп алынды. Фидерлік желілердің ұзындығы бастапқы деректерге сәйкес:

- Жердегі қабылдау антеннасы үшін: $L_1=4.5$ м
- Борттық беру антеннасы үшін: $L_2=1.5$ м

Сәйкесінше, антенна-фидерлік жүйедегі жиынтық әлсіреу келесі формулалар бойынша есептеледі:

$$L_1 = \alpha * l_1, \text{ дБ}, L_1 = 0.073 * 4.5 = 0.3285 \text{ дБ} \quad (6)$$

$$L_2 = \alpha * l_2, \text{ дБ}, L_2 = 0.073 * 1.5 = 0.1095 \text{ дБ} \quad (7)$$

$$L_{\text{АФТ}} = L_2 + L_1, \text{ дБ}, L_{\text{АФТ}} = 0.3285 + 0.1095 = 0.438 \text{ дБ} \quad (8)$$

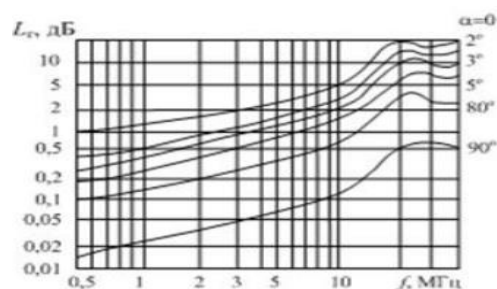
3.2. Атмосфералық шығындарды есептеу

Жерсеріктік байланыс жүйелері үшін тропосфера мен ионосфераның радиотолқындарға әсері ерекше маңызға ие. Радиотолқындардың атмосфера арқылы таралуы кезінде олардың әлсіреуіне келесі факторлар ықпал етеді:

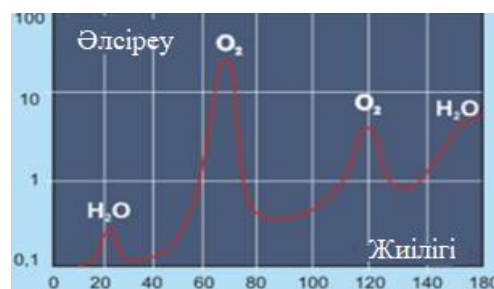
- тропосфералық газдар (оттегі және су буы);
- жауын-шашын (жаңбыр, қар, тұман);
- радиотолқындардың сынуы және поляризация жа-зықтығының өзгеруі;
- атмосфераның жылулық сәулеленуінен пайда бола-тын қосымша шу.

500 МГц-тен жоғары жиілік диапазонында атмосфе-ралық әлсіреудің негізгі көзі — тропосфералық газдар-дың жұтылуы. Гидрометеорсыз тыныш атмосфера жағдайында бұл сіңіру уақыттың 100% ішінде тұрақты шығындармен сипатталады және жиілік диапазонына, сондай-ақ байланыс бағытының минималды бұрышына тәуелді.

3-суретте радиотолқындардың тыныш атмосферадағы сіңуінің жиілікке тәуелділігі, ал 4-суретте сіңірудің толқын ұзындығына тәуелділігі көрсетілген.



Сурет 3. Тыныш атмосферада радиотолқындарды сіңірудің жиілікке тәуелділігі



Сурет 4. Жер атмосферасының сіңіру қабілетінің толқын ұзындығына тәуелділігі

7.25–7.30 ГГц диапазоны мен жер станциясының ан-теннасының минималды жұмыс бұрышы 10° болған жағдайда, атмосфералық сіңіру шамасы: $L_a=3$ дБ. Гидрометеорлар әсерінен болатын қосымша шығындарды есептеу анағұрлым күрделі, себебі бұл шығындар жауын-шашынның түрі мен қарқындылығына, географи-ялық аймақтың ерекшеліктеріне байланысты өзгеріп

отырады. Дегенмен, қалыпты жағдайда атмосфералық шығындардың негізгі бөлігі тропосфералық сіңіруге тиесілі.

4. Қорытынды

Зерттеу нәтижелері мобильді және спутниктік байланыс жүйелерінің өзара байланысының маңыздылығын көрсетті. Бұл екі технология бірін-бірі толықтырып, әртүрлі жағдайларда байланыс қызметтерін тиімді ұсынуға мүмкіндік береді. Мобильді желілердің жоғары жылдамдықтағы деректерді беру қабілеті мен спутниктік жүйелердің жаһандық қамту артықшылықтарын үйлестіру арқылы байланыс сапасын арттыруға болады.

Жүргізілген есептеулер нәтижесінде спутниктік жүйелердің тиімді жұмысын қамтамасыз ету үшін қажетті жиілік диапазоны, модуляция түрі және антенна-фидерлік жүйелердегі шығындар анықталды. Атмосфералық әсерлер мен сигнал/шу қатынасына қойылатын талаптар талданып, тиімді байланыс арнасын құру үшін $\pi/4$ -DQPSK модуляциясының оңтайлы екендігі көрсетілді.

Зерттеу барысында алынған нәтижелер байланыс жүйелерін жобалау мен оңтайландыруда маңызды әдістемелік негіз бола алады. Қазіргі заманғы ақпараттық-коммуникациялық технологиялардың дамуында мобильді және спутниктік желілердің өзара байланысы кең ауқымды және сенімді байланыс инфрақұрылымын құру үшін ерекше рөл атқарады. Бұл зерттеу нәтижелері байланыс жүйелерінің болашақ дамуын болжауға және жаңа буын желілерін жобалауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, зерттеу барысында жасалған есептеулер мен алынған нәтижелер негізінде байланыс инфрақұрылымын жаңғырту, сапасын жақсарту және қызмет көрсету аясын кеңейту бағытында практикалық ұсыныстар беріледі.

Мобильді және спутниктік желілердің өзара байланысын қамтамасыз ету заманауи цифрлық қоғамның сұраныстарын қанағаттандыру үшін ерекше маңызға ие. Әсіресе, төтенше жағдайларда, табиғи апаттар немесе шалғай аймақтарда байланыс мүмкіндігін қамтамасыз ету үшін спутниктік желілердің рөлі жоғары. Ал қалалық және тығыз қоныстанған аудандарда мобильді желілердің өткізу қабілеті мен қызмет көрсету сапасы маңызды фактор болып табылады.

Талдау нәтижелері көрсеткендей, спутниктік және мобильді желілердің үйлесімділігі деректерді беру сапасын арттырып қана қоймай, желінің жалпы сенімділігі мен қолжетімділігін қамтамасыз етеді. Жерсеріктік жүйелер мен мобильді инфрақұрылым арасындағы үйлесімді өзара әрекеттестік пайдаланушылардың байланыс қызметтеріне деген сұранысын қанағаттандырып, ақпараттық теңсіздікті азайтуға ықпал етеді.

Болашақта мобильді және спутниктік байланыс жүйелерін интеграциялау бағытындағы зерттеулерді жалғастыру қажет. Бұл бағыттағы ғылыми жұмыстар байланыс технологияларының жаңа мүмкіндіктерін анықтауға, сондай-ақ жүйенің тиімділігі мен қолжетімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері практикалық қызметте қолданылып, цифрлық инфрақұрылымды дамытуға елеулі үлес қосады.

References / Әдебиеттер

- [1] Chezhimbaeva, K.S., Umarov, A.D. (2024). Sputniktik zheliler men mobil'di zhelilerdin ozara bailany. *The 1st International scientific and practical conference «Advanced technologies for the implementation of new ideas»*, Brussels, Belgium, International Science Group
- [2] Prokop'ev, A.I. (2018). Osnovy postroeniya sistem sputnikovoj svyazi. *Moskva: Radio i svjaz'*
- [3] Chistov, S.S. (2019). Radiotekhnologii mobil'noj i sputnikovoj svyazi. *Sankt-Peterburg: BHV-Peterburg*
- [4] ITU-R Recommendation S.1062-2. (2010). Performance characteristics of satellite communication systems used in the fixed-satellite service. *Geneva: ITU*
- [5] 3GPP TS 38.300. (2018). NR; Overall description; Stage-2 (Release 15). *Sophia Antipolis: 3GPP*
- [6] Borodin, A.V. (2021). Sovremennyye tekhnologii mobil'noj svyazi. *Moskva: Tehnosfera*
- [7] ITU-R Recommendation F.746-1. (2018). Satellite transmission systems and characteristics. *International Telecommunication Union*
- [8] ITU-R Recommendation P.618-13. (2017). Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems. *International Telecommunication Union*

Спутниктік және мобильді желілердің өзара байланысы: деректерді беру жылдамдығы мен өткізу қабілетін салыстырмалы талдау

А. Маткаримова*, А. Умаров, Ж. Аяпберген, Ә. Оразай

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

*Корреспонденция үшін автор: arukamatkarimova@mail.ru

Андатпа. Бұл мақалада ғарыш аппаратынан жердегі станциялар желісіне ақпарат беру жүйесінің негізгі параметрлерін есептеу әдістемесі қарастырылады. Зерттеу барысында мобильді және спутниктік байланыс жүйелерінің даму ерекшеліктері, олардың өзара толықтырылуы және техникалық сипаттамалары талданды. Ақпарат беру жүйесінің тиімділігін қамтамасыз ету мақсатында жүйенің жиілік диапазоны, модуляция түрі, антенна-фидерлік

жүйедегі шығындар және атмосфералық әсерлер ескеріліп, қажетті есептеулер жүргізілді. Қолданылатын жиілік диапазоны ретінде 7–8 ГГц ауқымы таңдалып, нақты жұмыс диапазоны 7,25–7,30 ГГц аралығында анықталды. Модуляция әдісі ретінде $\pi/4$ радиан фазалық жылжуымен дифференциалды квадратуралық-фазалық модуляция ($\pi/4$ -DQPSK) қолданылды. Есептеу нәтижелері бойынша қажетті жиілік жолағының ені 5 МГц құрады, ал антенна-фидерлік жүйедегі жиынтық шығындар мен атмосфералық әлсіреу ескерілді. Жүргізілген зерттеу нәтижелері мобильді және спутниктік байланыс жүйелерін жобалау мен оңтайландыру үшін әдістемелік негіз бола алады.

Негізгі сөздер: *ғарыштық байланыс жүйесі, мобильді желі, спутниктік байланыс, ақпарат беру жылдамдығы, модуляция әдісі, $\pi/4$ -DQPSK, жиілік диапазоны, антенна-фидерлік жүйе, атмосфералық әлсіреу, энергетикалық теңе-теңдік, байланыс жүйесінің тиімділігі.*

Взаимосвязь спутниковых и мобильных сетей: сравнительный анализ скорости передачи данных и пропускной способности

А. Маткаримова*, А. Умаров, Ж. Аяпберген, Ә. Оразай

Satbayev University, Алматы, Казахстан

*Автор для корреспонденции: arukamatkarimova@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается методика расчета основных параметров системы передачи информации от космического аппарата к сети наземных станций. В ходе исследования были проанализированы особенности развития систем мобильной и спутниковой связи, их взаимодополняемость и технические характеристики. В целях обеспечения эффективности системы передачи информации были проведены необходимые расчеты с учетом частотного диапазона системы, типа модуляции, потерь в антенно-фидерной системе и атмосферных воздействий. В качестве используемого диапазона частот был выбран диапазон 7-8 ГГц, а фактический рабочий диапазон определялся в диапазоне 7,25–7,30 ГГц. В качестве метода модуляции использовалась дифференциальная квадратурно-фазовая модуляция ($\pi/4$ -DQPSK) с радиановым фазовым сдвигом $\pi/4$. По результатам расчетов ширина требуемой полосы частот составила 5 МГц, при этом учитывались суммарные потери и атмосферное затухание в антенно-фидерной системе. Результаты проведенного исследования могут служить методологической основой для проектирования и оптимизации систем мобильной и спутниковой связи.

Ключевые слова: *космическая система связи, мобильная сеть, спутниковая связь, скорость передачи информации, метод модуляции, $\pi/4$ -DQPSK, частотный диапазон, антенно-фидерная система, атмосферное затухание, энергетическое равновесие, эффективность системы связи.*

Received: 10 March 2024

Accepted: 15 June 2024

Available online: 30 June 2024