

**Н. Г. ДЖУМАМУХАМБЕТОВ, А. Д.* ТУЛЕГУЛОВ,
Д. С. ЕРГАЛИЕВ, А. О. ТОХАЕВА, Г. И. СЕРИКБАЕВА**

Казахский университет технологии и бизнеса

РАДИОБАЙЛАНЫС ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН БАҒАЛАУҒА АРНАЛҒАН АҚПАРАТТЫҚ-ІЗДЕСТІРУ ЖҮЙЕЛЕРІ

Мақалада наноспутниктердің радиобайланыс арнасының тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін ақпараттық-іздеу жүйелерін қолдану мүмкіндіктері талданады. Мәселе соңғы уақытта наноспутниктерді іске қосқаннан кейін жоғалту жағдайлары жиілеп кеткенімен байланысты. Қазіргі заманғы наноспутниктердің салмағы мен габариттерін ескере отырып, оларға қуатты транспондерлерді орналастыру мүмкін емес. Сондай-ақ сыртқы факторлардың әсерін ескеру қажет. Мәселенің шешімі антеннаны дұрыс таңдау болып табылады. Сонымен қатар, күшейтудің оңтайлы коэффициентін анықтау маңызды сәт болып табылады.

Түйін сөздер: радиобайланыс арнасы, наноспутник, транспондер, антенна, жер станция, ақпараттық-іздеу жүйелері.

Анализируются возможности применения информационно-поисковых систем для обеспечения устойчивости канала радиосвязи наноспутников. Проблема связана с тем, что в последнее время участились случаи потери наноспутников после их запуска. Учитывая малый вес и габариты современных наноспутников невозможно разместить на них мощные транспондеры. Также необходимо учитывать влияние внешних факторов. Решением проблемы является правильный подбор антенны. Также важным моментом является определение оптимального коэффициента усиления.

Ключевые слова: канал радиосвязи, наноспутник, транспондер, антенна, наземная станция, информационно-поисковые системы.

The article analyzes the possibilities of using information search systems to ensure the stability of the radio channel of nanosatellites. The problem is related to the fact that recently cases of loss of nanosatellites after their launch have become more frequent. Given the small weight and size of modern nanosatellites, it is impossible to place powerful transponders on them. It is also necessary to take into account the influence of external factors. The solution to the problem is the correct selection of the antenna. It is also important to determine the optimal gain.

Key words: radio channel, the nano-satellite, transponder, antenna, ground station, information retrieval systems.

Кіріспе. Наноспутниктің радиобайланыс тұрақтылығын талдау қазіргі заманның өзекті міндеті болып табылады. Бұл соңғы уақытта орбитаға шыққаннан кейін наноспутниктермен байланысты жоғалту жағдайлары жиілеп кеткен фактормен түсіндіріледі. Ғарыштық аппараттарды жоғалтумен байланысты экономикалық шығындарды ескере отырып, радиобайланыс аппаратурасын әзірлеушілердің алдында сыртқы факторлардың әсерінен байланыс арнасының тұрақтылығын арттыру міндеті қойылады.

Спутниктік байланыста хабар тарату үшін жиілік қатынасы бойынша ең төмені қолданылады. Ол біріншіден төмен орналасқан хабар таратқыш жиілікте кума толқын шамдары (ҚТШ) сияқты қуат күшейткіштерін (жекелей алғанда ең жоғары д.ғ.п.) тиімді іске асыруға байланысты.

Екіншіден, жиіліктің аталған арақатынасында борттық ретрансляциялық кешен (БРК) таратқыш пен қабылдағыш тракттары арасындағы жоғары талаптарды оңай қамтамасыз етеді[1].

Нақты БРК үшін оқшауланған жиілік диапазоны нақты жиілік жоспарын құра отырып, жеке-жеке жиілік санаттарына бөлінеді. Жеке транспондерлердің жұмыс жиіліктерінің жолақтары арасында қорғаныс саңылаулар болады. Саңылау көлемі сөну барысында қаншалықты аз болса, жиілік қордың жоғалу қаупі неғұрлым төмен болып, БРК коммерциялық тиімділігі соншалықты жоғары болады.

Бұл мәліметтерді қолдана отырып, наносеріктің радиожелілер байланысы келесі жиілік диапазонда құрылады:

- Жер - Ғарыш аппаратының борты (жерсерікке команда тарату үшін) – 144-146 МГц;
- Ғарыш аппаратының борты - Жер (жерсеріктен телеметрия хабарлары мен мәліметтерін тарату үшін) – 430-440 МГц.

Бұл диапазон өз кезегінде бағдарланбаған ғарыш аппараттары мен құрамдық бағытта істен шыққан ғарыш аппараттары үшін арақатынасты қамтамасыз ететін, ғарыш аппаратының бортынан бағдарсыз сәулелену кезінде радиосигнал алмасуын жеткілікті сеніммен іске асыратын, қызметтік радиобайланыс желілерін ғарыш аппаратында құруға жағдай жасайтын, сөну және шу деңгейлерінің келісімді үйлесімін береді.[2]

Тиімді жүктеме аппаратынан тұтас мәліметтерді тарату жылдамдығы құрылғының айыру қабылетіне, зерттеу аймағына, сигнал амплитудасының сандық-үйлесімді құрылуының разрядтар мөлшері мен ғарыш аппаратының тиімі жүктеме кешеніндегі құрылғылар санына байланысты. Егер әңгіме жерге жақын орбитада іске қосылатын ғарыш аппараты туралы болса, онда оның жеке орбиталық қозғалысы орбита жазықтығындағы жабынды бетін сканерлеудің ең қарапайым әдісімен қамтамасыз етеді. Құрылғы құрамына енетін арнайы механизм ғарыштық аппарат орбитасындағы перпендикулярлық жазықтық бағытында, жабынды бетін сканерлеуді жүзеге асырады.

Тиімді жүктеме құрылғысынан тұтас хабарды тарату жылдамдығы, DR , келесі арақатынаспен анықталады.[3]

$$DR = \frac{\theta_x V_N h s b}{d^2 q} \quad (1)$$

Мұндағы:

V_N – ғарыш аппаратының жер станциясына қатысты жылдамдығы;

θ_x – ғарыштық аппарат орбитасындағы перпендикулярлық жазықтық, радиан, бағытындағы тиімді жүктеме құрылғысының сканерлеу бұрышы;

d – жер үстіндегі рұқсаттық элементтің диаметрі, немесе Жер үстіндегі пиксельдің проекциясы, метрмен өлшенеді;

h – ғарыш аппаратының ұшу биіктігі, метрмен өлшенеді;

s – 1 пиксельге шағып санаудың мөлшері;

b – бір рет есептеп кодтау үшін биттің мөлшері;

q – кадрлық тиімділік – тұтас ақпарат таратуға бағытталған уақыт бөлігі (түсірудің 90% ... 95% уақытын құрайды). Ғарыштан жерді бақылау ғарыш аппараттарының тұтас ақпараттар тарату бойынша талаптары 1 кестесінде берілген.

1 кесте – Ғарыштан жерді бақылау ғарыш аппараттарының тұтас ақпараттар тарату бойынша талаптары

Параметрлер	Наносерік
Орбита биіктігі, км	600
Жерге қатыстық жылдамдығы, м/с	6900
Жер бетіндегі ұзақтық рұқсаты, м	100
Шолу сызығының ені, км	500
Шолу сызығының ені, градуспен	45,4
Шолу сызығының ұзындығы, градуспен	Үздіксіз
Сканерлеу ұзақтығы	145 мкс
Санаудың пиксельдегі мөлшері	1
Кадрдың қажетті көлемі	0,1
Биттің санаудағы мөлшері	2

1 кестесінде көрсетілген параметрлерді қолдана отырып, 1 формуласымен «төмен» сызықта хабар тарату жылдамдығын есептейміз.

$$DR = \frac{0,8 \cdot 0,1 \cdot 6900 \cdot 600 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 2}{100^2 \cdot 0,9} = 73,6 \frac{\text{байт}}{\text{с}} = 9200 \text{ байт/с}$$

Жер станциясынан наноспутникке хабар тарату үшін “жоғары” линиясы қолданылады. “Жоғары” линиясында хабар тарату жылдамдығы 1200 байт/с немесе 9,6 Кбит/с. [3]

Байланыс арнасын оңтайлы жобалау үшін, бізге хабар тарату жылдамдығы, антеннаның геометриялық өлшемі мен функционалдық сипаттары, байланыс ұзақтығы (радиосигналдың таралу жолының ұзақтығы) және таратқыш күші сияқты өзара байланыс шамасын анықтау қажет. Бұл өзара байланыстар байланыс жүйесіндегі сигнал/шу арақатынасының барлық параметрлерін есептеуге қажетті, арна байланысының энергетикалық потенциалы немесе арна байланысының энергетикалық теңдігімен анықталады [4].

Сандық сызық параметрлерін анықтауда қолданылатын теңдіктер, келесі теңдіктер болып табылады. [3]

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{PL_t G_t L_s L_a G_r}{kT_s R} \quad (2)$$

Мұндағы:

E_b/N_o – шу тығыздығына бір бит есебіндегі энергия қабылдаудың қатынасы;

P – таратқыш қуаты;

L_l – таратқыштан антеннаға дейінгі жүйенің жоғалуы;

G_t – хабарлағыш антеннаның күші;

L_s – ғарыш кеңістігіндегі жоғалу;

L_a – таратқыш арнасындағы жоғалу;

G_r – қабылдағыш антеннаның күшеюі;

k – Больцман тұрақтысы;

T_s – байланыс жүйесінің шулы температурасы;

R – мәліметтерді тарату жылдамдығы.

Жерге жақын орбитада жаһандық сәуледе төмен бағытталатын антенна арқылы жұмыс жасайтын борттық таратқыш күші азаяды, себебі ғарыш аппараты бортынан жерүсті бөлігінің көрінісі азаяды. Борттың таратқыш қуаттылығы 200 МГц -тен 20 ГГц радиожилілік диапазоны үшін жерүсті станциясы орналасқан аймақтағы атмосфералық жауын-шашынның болмауына, жерүсті қабылдау антеннасының дәлдеу терістігіне тәуелсіз параметр болып табылады[5].

Егер ғарыш аппаратының хабар таратқыш борттық антеннасы тар сәулелі болса, онда қуат ағымының тығыздығы изотропты антеннамен (барлық бағытты) сәулеленетін, қуаттың қызмет көрсету ортасының бағытына сәулеленетін, қуат қатынасымен анықталатын G_t , таратқыш антеннаның күшею коэффициенті артады. Жерүсті станциямен қабылданған қуат ағымы тығыздығы таратқыш арнадағы жоғалу коэффициенті көрсеткішіне кемиді. Онда қуат ағымы тығыздығы келесі теңдеумен анықталатын болады.[3]

$$W_f = \frac{P + L_l + G_t}{4\pi S^2} = \frac{\text{ЭИИМ}}{4\pi S^2} \quad (3)$$

Мұндағы қуат ағымы тығыздығы Вт/м² өлшенеді. $PL_t G_t$ шамасы тиімді изотроптық сәулелену қуаты деген атқа ие болып, ваттпен өлшенеді.

Ғарыштық кеңістіктегі децибелге шаққандағы әлсіреу төмендегі формуламен анықталады.[3]

$$L_s = 147,55 - 20\lg S - 20\lg f \quad (4)$$

болып

S – метрмен өлшегендегі байланыс ұзақтығы;

f – герцпен өлшегендегі сигнал жиілігімен белгіленеді.

Децибелмен алғандағы байланыс арнасының энергетикалық теңдеуі 2 келесі сипатта өрбуі мүмкін.[3]

$$\begin{aligned} \frac{E_b}{N_o} &= P + L_l + G_t + L_s + L_a + G_r + 228,6 - 10\lg T_s - 10\lg R = \\ &= (\text{ЭИИМ}) + L_s + L_a + G_r + 228,6 - 10\lg T_s - 10\lg R \end{aligned} \quad (5)$$

Бір бит мәліметтеріне, спектрлі шу тығыздығына тең қабылданған энергия сигналының қатынасын табу үшін, $\frac{E_b}{N_o}$, қабылдағыш және таратқыш антеннаның күшейткіш коэффициенттерін есептеу керек, G_t и G_r . [3]

$$G_t = G_{pt} + L_{pt} \quad (6)$$

$$G_r = G_{pr} + L_{pr} \quad (7)$$

Күшейткіш антеннаның коэффициенті үшін жоғарыда көрсетілген арақатынастар максималды күшейткішке жатады. Алайда қабылдағыш антенна бағыттаушы таратқыш антеннаның басты диаграмма жапырағының ортасында да, керісінше де орналаспауы мүмкін. Өткірбағытты антенналар үшін бағыттау жүйесіндегі кіші қателіктер (шарттасқан, мысалы Жердегі желдің ұйытқуы немесе ғарыш аппаратының тұрақтану қателіктері) күшейткіш күшінің азаюына алып келуі мүмкін. Оның максималды күшеюіне қатысы бойынша антенна күшейткіші L_θ , дБ алғандағы коэффициентінің азаюы, бағыттаушы таратқыш антеннаның басты диаграмма жапырағының ортасына қатысты енімен анықталады, ол келесі теңдеумен суреттеледі.[3]

$$L_\theta = -12 (e / \theta)^2 \quad (8)$$

Мұндағы:

θ – жарты қуаттылық бойынша антенна бағыты диаграммасының ені;

e – антеннаны орнату қателігі.

Алдымен қабылдағыш және таратқыш антеннаның қос сызық үшін 6-8 формулаларының көмегімен күшейткіш коэффициенттерін, G_t және G_r , есептеу керек.

«Жоғары» линиясы үшін хабар қабылдағыш және таратқыш антеннаның күшею коэффициентінің есебін шығарамыз. [3]

Жер станциясындағы таратқыш антеннада спиральды антенна қолданылады. Спиральді антенна келесі параметрлерге ие.

$$\theta_t = 33^\circ$$

$$G_{pt} = 14,05 \text{ дБ}$$

Спутникте қабылдағыш антенна есебінде монопольді антенна қолданылады. Монопольді антенна келесі параметрлерге ие.

$$\theta_r = 207^\circ$$

$$G_{pr} = 0 \text{ дБ}$$

Хабар таратушы антеннаны орнатумен байланысты қуаттың жоғалуын есептейміз.

$$L_{pt} = -12(15/33)^2 = -2,5 \text{ дБ}$$

Тікелей антеннаны орнатумен байланысты қуаттың жоғалуын есептейміз.

$$L_{pr} = -12(1/207)^2 = 0 \text{ дБ}$$

Антеннаның күшею коэффициенттері 8 формулаларымен есептеледі.

$$G_t = 14,05 + (-2,5) = 11,55 \text{ дБ}$$

$$G_r = 0 \text{ дБ}$$

Жиілігі 10 ГГц диапазонынан жоғарылар үшін энергетикалық қор 6-дан 20 децибелді құрау қажет, ол жаңбыр мен ауада кеткен шығындарды өтейді, байланыс

арнасының қажетті энергетикалық қорының нақты мөлшері арна қолжетімділігінің қажетті коэффициент белгісі мен жерүсті станция маңындағы күтілетін ылғалдық мөлшеріне байланысты.[3]

ӘДЕБИЕТ

- 1 Энциклопедияға сілтеме [https://ru.wikipedia.org/wiki/Спутниковая связь](https://ru.wikipedia.org/wiki/Спутниковая_связь)
- 2 Орлов А.Г., Севастьянов Н.Н. БРК спутника связи – Томск, 2014. – 20-22 беттер
- 3 Ларсон В. Space mission analysis and design – Калифорния, 1997. – 575-600 беттер
- 4 Сайтқа сілтеме <http://homework.net.ua/sredstva-sputnikovoj-svyazi/>
- 5 Сайтқа сілтеме <http://telecomstroy.com/sin79.html>