

К.С. Чежимбаева<sup>1\*</sup> , А.Д. Мухамеджанова<sup>1</sup> , Г.К. Кадирбаева<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ,  
Алматы қ., Қазақстан

\*e-mail: k.chezhibayeva@aues.kz

## ҚОЛЖЕТІМДІЛІГІ ҚИЫН АЙМАҚТАРДА ПОРТАТИВТІ ЖЕРСЕРІКТІКТІК БАЙЛАНЫС КЕШЕНІН ПАЙДАЛАНУДЫҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

*Аңдатпа*

Шалғай және жету қиын аудандарды байланыспен қамтамасыз етудің заманауи жағдайында жер бедері мен инфрақұрылымдық шектеулерге қарамастан сенімді және сапалы байланысты қамтамасыз ететін жерсеріктік жүйелер ерекше өзекті болуда. Зерттеудің мақсаты жету қиын аймақтарда байланысты ұйымдастыру үшін ПЖК-400 (портативті жерсеріктік кешені) пайдаланудың тиімділігін бағалау болып табылады. ПЖК-400 негізгі техникалық сипаттамалары, соның ішінде өткізу қабілеті, қамту аймағы, кедергілерге төзімділік және сигналдың кешігуі талданады. Оны әртүрлі жағдайларда пайдалану сценарийлері қарастырылады: таулы аймақтарда, арктикалық аумақтарда, шалғайдағы өндірістік объектілерде және төтенше жағдайлар аймақтарында коммуникацияларды қамтамасыз ету. Тиімділікті бағалау баламалы шешімдермен салыстырмалы талдауға, сондай-ақ тәжірибелік сынақ нәтижелеріне негізделген. ПЖК-400 пайдаланудың артықшылықтары мен мүмкін шектеулері, оның ішінде экономикалық және пайдалану аспектілері анықталған. Зерттеу осы кешенді әртүрлі жағдайларда пайдаланудың артықшылықтарын, шектеулерін және перспективаларын анықтауға бағытталған. Алынған нәтижелер цифрлық инфрақұрылымды дамытуға және шалғай аймақтардағы ақпараттың қолжетімділік деңгейін арттыруға ықпал ете алатын жету қиын аудандарда байланысты ұйымдастыру үшін ПЖК-400 жерсеріктік кешенін пайдаланудың орындылығын растайды.

**Түйін сөздер:** жерсеріктік байланыс, сымсыз байланыс, ПЖК-400, желі, тораб, аумақ.

К.С. Чежимбаева<sup>1</sup>, А.Д. Мухамеджанова<sup>1</sup>, Г.К. Кадирбаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> НАО «Алматинский Университет энергетики и связи им. Г. Даукеева», г. Алматы, Казахстан

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРТАТИВНОГО СПУТНИКОВОГО КОМПЛЕКСА СВЯЗИ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ РАЙОНАХ

*Аннотация*

В современных условиях обеспечения связью удаленных и труднодоступных районов особую актуальность приобретают спутниковые комплексы, обеспечивающие надежную и высококачественную связь независимо от рельефа местности и инфраструктурных ограничений. Целью исследования является проведение оценка эффективности применения ПСК-400 (портативного спутникового комплекса) для организации связи в труднодоступных районах. Анализируются ключевые технические характеристики ПСК-400, включая пропускную способность, зону покрытия, устойчивость к помехам и задержку сигнала. Рассматриваются сценарии его применения в различных условиях: обеспечение связи в горных районах, арктических территориях, отдаленных промышленных объектах и зонах чрезвычайных ситуаций. Оценка эффективности проводится на основе сравнительного анализа с альтернативными решениями, а также результатов практического тестирования. Выявляются преимущества и возможные ограничения использования ПСК-400, включая экономические и эксплуатационные аспекты. Исследование направлено на выявление преимуществ, ограничений и перспектив использования данного комплекса в различных условиях. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения спутникового комплекса ПСК-400 для организации связи в труднодоступных районах, что может способствовать развитию цифровой инфраструктуры и повышению уровня информационной доступности в удаленных регионах.

**Ключевые слова:** спутниковая связь, беспроводная связь, ПСК-400, сеть, узел, территория.

K.S. Chezhimbayeva<sup>1</sup>, A.D. Mukhamejanova<sup>1</sup>, G.K. Kadirbayeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>"Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev" NSJC,  
Almaty, Kazakhstan

## EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF USING THE PORTABLE SATELLITE COMMUNICATION COMPLEX IN HARD-TO-REACH AREAS

### *Abstract*

In the modern conditions of providing communications to remote and hard-to-reach areas, satellite systems that provide reliable and high-quality communications regardless of the terrain and infrastructure limitations are of particular relevance. The purpose of the study is to assess the effectiveness of using the PSC-400 satellite complex to organize communications in hard-to-reach areas. The key technical characteristics of the PSC-400 are analyzed, including throughput, coverage area, resistance to interference and signal delay. Scenarios for its use in various conditions are considered: providing communications in mountainous areas, arctic territories, remote industrial facilities and emergency zones. The effectiveness is assessed based on a comparative analysis with alternative solutions, as well as the results of practical testing. The advantages and possible limitations of using the PSC-400 are identified, including economic and operational aspects. The study is aimed at identifying the advantages, limitations and prospects for using this complex in various conditions. The obtained results confirm the feasibility of using the PSC-400 satellite complex for organizing communications in hard-to-reach areas, which can contribute to the development of digital infrastructure and increase the level of information accessibility in remote regions.

**Keywords:** satellite communication, wireless communication, PSC-400, network, node, territory.

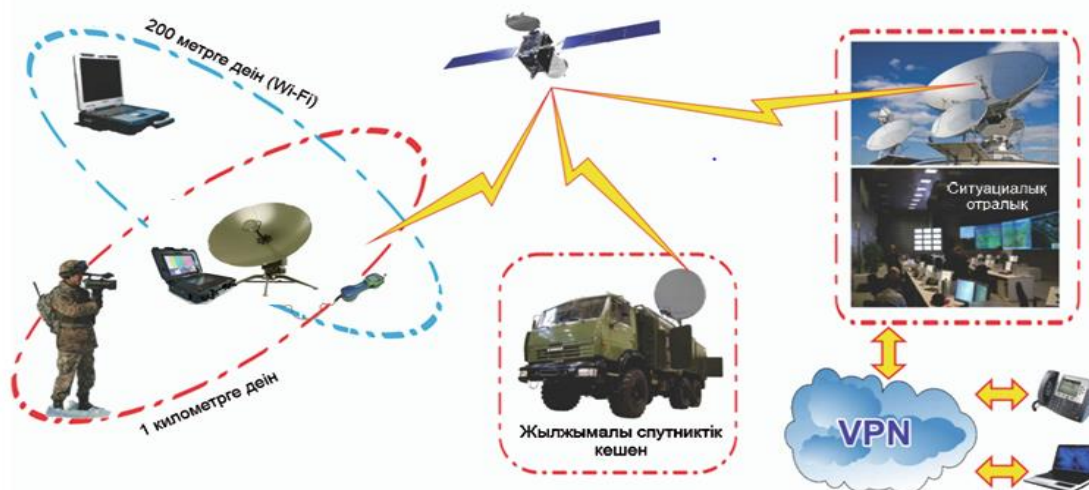
### **Кіріспе**

Қазіргі таңда телекоммуникациялық қызметтерге қолжетімділік экономикалық даму, қауіпсіздік және әлеуметтік тұрақтылықтың негізгі факторларының бірі болып табылады. Алайда Қазақстан сияқты аумағы кең, халқы сирек қоныстанған және географиялық тұрғыдан күрделі аймақтары бар елдерде дәстүрлі жерүсті байланыс инфрақұрылымын дамыту айтарлықтай қиындықтар туғызады. Осыған байланысты шалғай және аз қоныстанған өңірлерде байланысты ұйымдастыру үшін жерсеріктік байланыс жүйелері тиімді балама ретінде қарастырылады [1-3]. Жерсеріктік байланыс жүйелері төмен орбиталық, жоғары эллиптикалық және геостационарлық орбиталар негізінде жұмыс істеп, әртүрлі қолдану сценарийлеріне бейімделе алады. Мұндай жүйелердің архитектурасы мен жұмыс істеу қағидаттары деректерді үлкен қашықтықтарға сенімді жеткізуге мүмкіндік береді, сонымен қатар климаттық және рельефтік шектеулерді еңсеруге жағдай жасайды [3-5]. Әсіресе төтенше жағдайлар, мобильді объектілер және инфрақұрылымы жоқ аймақтар үшін портативті жерсеріктік кешендердің маңызы ерекше [6,7]. Осы тұрғыда ПЖК-400 портативті жерсеріктік кешені шалғай және қолжетімділігі қиын аймақтарда телекоммуникациялық қызметтерді жедел ұйымдастыруға арналған заманауи шешім ретінде қарастырылады. ПЖК-400 жерүсті инфрақұрылымына тәуелсіз жұмыс істейді және деректерді, дыбысты, сондай-ақ бейнені тұрақты әрі үздіксіз жеткізуді қамтамасыз етеді. Мұндай мүмкіндіктер жерсеріктік байланыс жүйелерінің классикалық инженерлік қағидаттарына негізделген [8-10]. ПЖК-400 кешені деректерді беру, телефония және бейнеконференция ұйымдастыруға арналған ықшам әрі тасымалданатын жүйе болып табылады. Кешеннің құрамына портативті жерсеріктік терминал және бейне сигналдарын таратуға арналған сымсыз радио арнаны ұйымдастыратын жабдықтар жиынтығы кіреді. Бұл шешім мобильді қондырғылардан байланысты және бейне таратуды қысқа уақыт ішінде іске қосуға мүмкіндік береді, бұл оның төтенше жағдайлардағы тиімділігін арттырады [8,11]. Дайындалған персонал болған жағдайда ПЖК-400 кешенін орналастыру, жерсерікке бағыттау және байланыс арнасын орнату уақыты 20 минуттан аспайды. Бұл көрсеткіш кешеннің жоғары мобильділігін және жедел пайдалануға дайындығын дәлелдейді [1-5]. Сонымен қатар, жүйе телефон байланысын, TCP/IP протоколы арқылы деректерді беруді, SIP протоколы негізінде бейнеконференция ұйымдастыруды, HDMI

арқылы бейне шығаруды және Wi-Fi желісі арқылы 100 - 200 метр радиуста сымсыз байланысты қамтамасыз етеді [6-9].

Жерсеріктік байланыс жүйелерінің тиімділігі атмосфералық факторларға, әсіресе Ки-диапазонында жаңбыр мен қар әсерінен туындайтын әлсіреуге тәуелді екені белгілі. Бұл мәселе көптеген зерттеулерде қарастырылып, сигнал сапасын арттыру үшін модуляцияны, кодтауды және қуатты басқаруды оңтайландыру қажеттігі көрсетілген [11–14]. Осы тұрғыда ПЖК-400 кешенінің техникалық параметрлерін талдау және оның нақты пайдалану жағдайларындағы тиімділігін бағалау ғылыми және практикалық тұрғыдан өзекті болып табылады.

Осы зерттеудің мақсаты – ПЖК-400 портативті жерсеріктік кешенінің шалғай және қолжетімі қиын аймақтарда қолдану тиімділігін бағалау, негізгі техникалық параметрлердің байланыс сапасына әсерін талдау және жүйені одан әрі жетілдіру жолдарын анықтау. Алынған нәтижелер жерсеріктік байланыс жүйелерін дамыту және оларды Қазақстан жағдайында кеңінен қолдану үшін ғылыми негіз бола алады [12–15]. Құрылымдық сұлбасы келесі 1 суретте көрсетілген



Сурет 1. ПЖК-400-дің құрылымдық байланыс сұлбасы

### Зерттеу әдіснамасы

ПЖК-400 сияқты телеметриялық жүйелердің жұмысы көптеген факторларға, соның ішінде ауа райы жағдайларына байланысты. Сигналдың негізгі әсерлері жаңбыр, қар, ауа ылғалдылығы және басқа да атмосфералық құбылыстарға байланысты аналитикалық формулаларды қолдану арқылы негізгі мәндерді есептейміз. Ки-диапазонын (жоғары байланыс үшін 13,75 –14,5 ГГц және төмен байланыс үшін 10,95–12,75 ГГц) пайдаланатын жүйелер үшін ауа райы жағдайлары байланыс сапасын төмендетудің маңызды факторы болуы мүмкін.

*Атмосфералық әсердің негізгі түрлері.*

Жаңбыр тамшылары сигналды жұтып, шашыратады, бұл әсіресе ПЖК-400 пайдаланатын Ки диапазоны үшін өте маңызды. Шығындар жауынның қарқындылығына ( $R$ , мм/сағ) және атмосфера арқылы өтетін сигнал жолының ұзындығына ( $d$ , км) байланысты. Желдету 1 формуласы:

$$A_{rain} = \gamma_r \times d \quad (1)$$

мұндағы:  $\gamma_r$  – жауын-шашынның жиілігі мен қарқындылығына байланысты әлсіреу коэффициенті (дБ/км).

1. Қар мен мұз. Қар немесе мұз жауын-шашыны қосымша әлсіреуді тудырады, дегенмен деңгей жаңбырдан төмен. Қазақстан жағдайында қардың жаууы қыста сигнал қабылдауға әсер етуі мүмкін.

2. Ылғалдылық. Жоғары ылғалдылық сигналдың сіңірілуін арттырады, әсіресе жоғары температурада. Өсу жоғары ылғалдылық пен ауа температурасының 30°C-тан жоғары комбинациясы кезінде артады.

3. Бұлт және тұман. Бұлт пен тұманның жоғары тығыздығы аз шығынға әкелуі мүмкін, әсіресе су буының мөлшері жоғары болса.

ПЖК-400 жүйесіне ауа райы жағдайларының әсерін модельдеу:

Жиілігі:  $f=14$  ГГц

Атмосфера арқылы жолдың ұзындығы:  $d=5$  км

Жауын-шашын қарқындылығы:  $R=25$  мм/сағ.

Коэффициент затухания  $\gamma_r$  для  $K_u$ -диапазона при  $R=25$  мм/сағ.

$K_u$  – диапазоны үшін жауын қарқындылығы  $R = 25$  мм/сағ кезінде әлсіреу коэффициенті  $\gamma_r$  қолданылады.

$$\gamma_r \approx 0.02 \text{ дБ/км.}$$

Жаңбыр кезінде әлсіреу:

$$A_{rain} = 0.02 \cdot 5 = 0.1 \text{ дБ}$$

Телеметриялық сапа. Тіпті шағын қосымша жоғалтулар телеметрия деректерінің сапасын нашарлатып, кідіріс уақытын арттырады және орналасу және басқару сияқты параметрлердің дәлдігін төмендетеді.

Атмосфералық құбылыстар ПЖК-400 телеметрия деректеріне айтарлықтай әсер етеді, әсіресе  $K_u$ -диапазонында жұмыс істегенде. Қолайсыз жағдайларда жүйенің тұрақтылығын жақсарту үшін жаңбыр, қар және ылғалдылық әсерінен болатын әлсіреуді ескеру қажет, сонымен қатар оны азайту үшін техникалық және бағдарламалық шешімдерді қолдану қажет. Бұл қиын ауа райы жағдайында да тұрақты байланыс пен жоғары сапалы телеметрияны қамтамасыз етеді [3,4]. Сигнал/шум қатынасы (SNR есебі 2,3 формула)

Формуласы:

$$SNR = \frac{P_r}{N} \quad (2)$$

мұндағы:

$$P_r = -94,72 \text{ дБм} = 3,36 \times 10^{-10} \text{ Вт}$$

$$N = k \times T \times B \quad (3)$$

мұндағы:  $k = 1,38 \times 10^{-23}$  Дж/К - Больцман тұрақтысы

$T = 290$  К – жүйенің температурасы,.

$B = 3,32$  МГц.

$$N = 1.38 \times 10^{-23} \times 290 \times 3.32 \times 10^6 = 1.33 \times 10^{-14} \text{ Вт.}$$

$$SNR = \frac{3.36 \times 10^{-10}}{1.33 \times 10^{-14}} = 2.53 \times 10^4,$$

Ал дБ түрінде өрнектейтін болсам:

$$SNR = 10 \times \log_{10}(2.53 \times 10^4) = 44.04 \text{ дБ.}$$

Нәтижесінде сигнал/шум қатынасы (SNR есебі) 44.04 дБ-ға тең болады. Сигнал/шум қатынасы (SNR) – бұл сигналдың қуатының шу деңгейіне қатынасын сипаттайтын көрсеткіш. Бұл жерде 44.04 дБ мәні өте жоғары сигнал/шум қатынасын көрсетеді. Мұндай мән:

- Сигнал сапасы жоғары: сигнал шуға қарағанда айтарлықтай күшті, бұл деректердің сенімді түрде берілуін қамтамасыз етеді.

- Берілген арна тиімділігі: SNR жоғары болған сайын, арна арқылы деректерді жіберу жылдамдығы мен дәлдігі артады.

- Кедергілердің минималды деңгейі: бұл жағдайда сыртқы факторлар (атмосфералық әсерлер, құрылғылар арасындағы интерференция) сигналдың сапасына елеулі әсер етпейді.

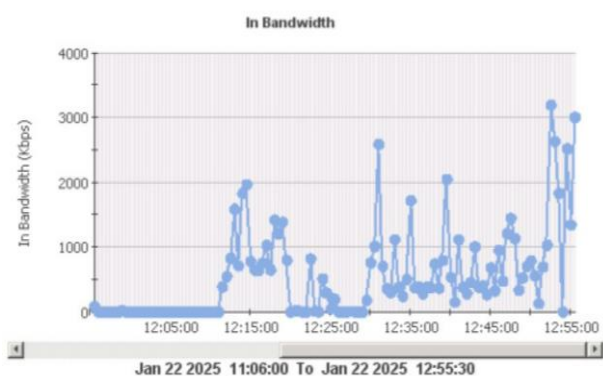
44.04 дБ мәні ПЖК-400 жүйесінің тиімді жұмыс істеп тұрғанын және байланыс тұрақтылығын қамтамасыз ететінін көрсетеді. Бұл көрсеткіш жүйенің деректерді жоғалтпай және кешігусіз жеткізе алатынын дәлелдейді.

### Зерттеу нәтижелері

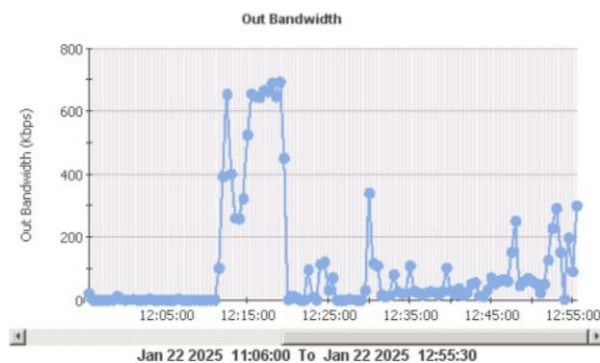
Сыртқы жағдайлардың өзгеруін бақылау және автоматты жауап беру үшін телеметрия жүйелерін жетілдіру. Бағдарламалық қамтамасыз етуді үнемі жаңартып, соңғы қауіпсіздік және өнімділік стандарттарына сәйкес келтіру үшін аудит жүргізілді.

Осы зерттеу ПЖК-400 сияқты портативті жерсеріктіктік кешендердің жұмыс ерекшеліктерін және олардың ұлттық цифрландырудағы рөлін түсінуге елеулі үлес қосады. Ұсынылған ұсынымдар мен технологияларды енгізу ең күрделі жағдайларда да сенімді байланысты қамтамасыз етіп, Қазақстанның ғаламдық жерсеріктіктік байланыс нарығындағы позициясын нығайтуға мүмкіндік береді. Сыртқы факторлардың әсері. Ауа райы жағдайларын талдау мынаны көрсетті: Жауын, қар және жоғары ылғалдылық сигнал сапасына айтарлықтай әсер етеді. Жауын әсерінен сигнал қуатының жоғалуы әрбір 5 км үшін шамамен 0.1 дБ құрайды, бұл антеннаның күшеюін немесе модуляцияны оңтайландыруды қажет етеді.

Жүйенің практикалық қолданылуы. ПЖК-400 жүйесінің нақты жағдайларда қолданылуы оның жоғары бейімделгіштігін көрсетті. Тіпті желінің жоғары жүктемесі немесе қолайсыз ауа райы жағдайларында деректерді тұрақты түрде беру мүмкіндігі жүйенің тиімділігін растайды. Осы зерттеу барысында сигналдардың кірісі мен шығысындағы өткізу қабілетімен айқындайды (2, 3 сурет).



Сурет 2. Кірісіндегі сигналдың өткізу қабілеттілігінің сипаттамасы

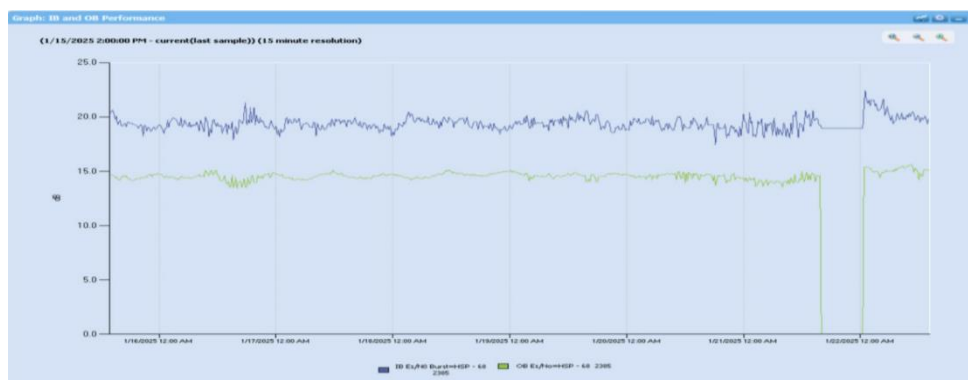


Сурет 3. Жабдықтың шығысындағы сигналдың өткізу қабілеттілігінің сипаттамасы

Графиктен кіріс өткізу қабілеттілігінің кейбір уақыт аралығында ең жоғары деңгейге жеткенін (шамамен 4000 kbps) көруге болады. Басқа кезеңдерде өткізу қабілеттілігі төмендеп, кейбір сәттерде мүлдем деректер түспегенін байқауға болады.

Кейбір уақыт аралықтарында өткізу қабілеттілігі максималды шамаға жеткен (шамамен 800 kbps). Басқа кезеңдерде өткізу қабілеттілігі төмендеген немесе деректер жіберілмеген (4 сурет).

Келесі 4-суреттегі график нәтижесіндегі параметр: IB Es/N0 және OB Es/N0 – бұл жүйенің әртүрлі нүктелеріндегі сигнал сапасын бағалау үшін жерсеріктік байланыста қолданылатын параметрлер.



Сурет 4. Әр түрлі нүктедегі сигналдың сапасын бағалау сипаттамасы

Бұл өлшем сигнал сапасының көрсеткіші болып табылады, Es/N0 мәні неғұрлым жоғары болса, деректердің дұрыс берілу ықтималдығы соғұрлым жоғары болады.

5 суреттегі графиктегі кіріс және шығыс толып кету (IB және OB қайта жіберу пайызы) пайызын көрсетіп тұр.



Сурет 5. SkyEdge жүйесінің кіріс және шығыс трафиінің өнімділік графигі

Жалпы бақылау: 12.08.2024 күні сағат 16:00 шамасында күрт көтерілуді қоспағанда, көрсеткіш негізінен тұрақты. Бұл шың пакеттердің қайта жіберілуін талап ететін маңызды пакеттердің жоғалуын көрсетеді.

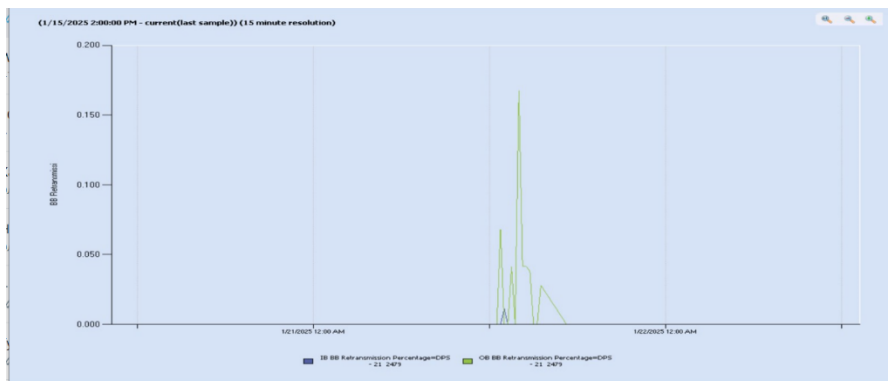
Жарылыс себептері: Ықтимал себептерге техникалық ақаулар, сигнал жағдайындағы кенет өзгерістер (мысалы, ауа райына байланысты) немесе сыртқы кедергілер кіруі мүмкін. Сондай-ақ, жоғары трафик белсенділігіне немесе желілік жабдықтың ақауларына байланысты жүйеде уақытша шамадан тыс жүктелуі мүмкін.

Келесі 6 суреттегі графикте кіріс буферінің асып кетуі (IB буферінің асып кетуі%) пайызы көрсетілген.

Сипаттама: кезеңнің басында 25%-ға дейін күрт өсу байқалады, бұл кіріс деректер буферінің толғанын және кейбір деректердің жоғалғанын көрсетеді.

Салдары: буфердің толып кетуі деректердің айтарлықтай жоғалуына, деректерді беру жылдамдығының төмендеуіне және пайдаланушы тәжірибесі мен жүйе сенімділігіне теріс әсер ететін кідірістің артуына әкелуі мүмкін.

Ықтимал шаралар: буфер өлшемін ұлғайту немесе деректерді өңдеуді оңтайландыру болашақта мұндай оқиғалардың алдын алуға көмектеседі. Ағымдағы трафик қажеттіліктеріңізге сәйкес келетінін анықтау үшін ағымдағы жүйе параметрлерін тексеру де маңызды. Желінің өнімділік көрсеткіштері. График жел тұрақтылығын және қысқа мерзімді құлдырауды көрсететін кіріс (IB) және шығыс (OB) өнімділігін көрсетеді.



Сурет 6. OB BB қайта жіберу пайызы кіріс және шығыс трафигінің өнімділік графигі

### Дискуссия

Осы бөлімге келетін болсақ, өлшеу арқылы алынған графиктен көруге болады: OB BB қайта жіберу пайызы - кең жолақты қосылымның бастапқы бағытта (жерсеріктен немесе қайталағыштан жерге) қаншалықты тиімді жұмыс істейтінін түсінуге көмектесетін көрсеткіш. Оның мониторингі мен талдауы байланыс сапасы мен сенімділігін қамтамасыз ету, сондай-ақ байланыс жүйесінің жұмысын оңтайландыру және мүмкін болатын ақауларды жою үшін маңыздылығын көруге болады.

Атмосфералық жағдайлардың, әсіресе жаңбыр, қар және тұманның сигнал сапасына тигізетін әсері бағаланып, олардың жүйенің жұмысына әсер ететіні анықталды. Бұл факторларды ескере отырып, антенна жүйелерін оңтайландыру және адаптивті модуляция технологияларын қолдану ұсынылды.

ПЖК-400 жүйесінің мобильділігі, сенімділігі және әртүрлі жағдайларда қолдану мүмкіндіктері зерттелді. Жүйенің апаттық жағдайларда байланыс орнатуда, шалғай аудандарды байланыспен қамтамасыз етуде тиімді шешім екені дәлелденді. Сондай-ақ, Es/No сияқты негізгі параметрлерді оңтайландыру арқылы жүйе өнімділігін арттыру жолдары көрсетілді.

Нәтижелерді талқылау барысында өлшеу нәтижесінде алынған графиктер негізінде кең жолақты жерсеріктік байланыстың жұмыс тиімділігі бағаланды. Атап айтқанда, OB BB қайта жіберу пайызы бастапқы бағыттағы (жерсеріктен немесе ретранслятордан жерге дейін) деректерді беру сенімділігін сипаттайтын маңызды көрсеткіш ретінде қарастырылды. Бұл параметрдің мәні байланыс арнасының жүктемесін, қателер ықтималдығын және деректерді қайта жіберу қажеттілігін анықтауға мүмкіндік береді. Оның мониторингі байланыс сапасын үздіксіз бақылауға және жүйенің тұрақты жұмысын қамтамасыз етуге аса маңызды.

Зерттеу нәтижелері атмосфералық факторлардың, атап айтқанда жаңбыр, қар және тұманның, сигнал сапасына айтарлықтай әсер ететінін көрсетті. Бұл әсер сигналдың әлсіреуімен және қайта жіберулер санының артуымен сипатталады. Мұндай нәтижелер Кудиапазонында жұмыс істейтін жерсеріктік жүйелер бойынша жүргізілген өзге де зерттеулермен үйлеседі, онда атмосфералық әлсіреу негізгі шектеуші фактор ретінде көрсетілген. Осыған байланысты антенналарды дәл бағыттау, қуатты басқару және адаптивті модуляция мен кодтау (АСМ) технологияларын қолдану жүйе өнімділігін арттырудың тиімді тәсілі ретінде ұсынылады.

Сонымен қатар, ПЖК-400 жерсеріктік байланыс кешенінің мобильділігі мен сенімділігі әртүрлі пайдалану жағдайларында бағаланды. Зерттеу нәтижелері бұл жүйенің апаттық жағдайларда жедел байланыс орнату, сондай-ақ телекоммуникациялық инфрақұрылымы жоқ немесе әлсіз дамыған шалғай аудандарды байланыспен қамтамасыз ету үшін тиімді шешім екенін дәлелдеді. Бұл тұжырымдар заманауи жерсеріктік байланыс жүйелерінің төтенше жағдайлар мен ауылдық аймақтарда қолданылуын зерттеген басқа авторлардың нәтижелерімен сәйкес келеді.

Жүйенің техникалық параметрлерін талдау барысында Es/No сияқты негізгі көрсеткіштерді оңтайландыру арқылы байланыс сапасын жақсартуға болатыны анықталды. Бұл көрсеткішті басқару деректерді беру жылдамдығын арттыруға және қателер санын азайтуға мүмкіндік береді, нәтижесінде жалпы жүйе тиімділігі жоғарылайды.

Алынған нәтижелер ПЖК-400 кешенін Қазақстанның шалғай және қиын қолжетімді аймақтарында кеңінен қолдану мүмкіндігін негіздейді. Болашақ зерттеулер аясында әртүрлі климаттық аймақтарда ұзақ мерзімді өлшеулер жүргізу, нақты трафик жүктемелері кезінде жүйенің жұмысын модельдеу, сондай-ақ жерсеріктік байланыс кешендерін 5G/NTN желілерімен интеграциялау мәселелерін қарастыру перспективалы бағыттар болып табылады.

### Қорытынды

Қорытындылай келе, ұялы байланыс және жерсеріктік байланыс әр түрлі қамту деңгейлері мен қол жетімділікті қамтамасыз етеді. Ұялы байланыс көптеген адамдар үшін, әсіресе қалалар мен елді мекендерде байланыстың негізгі және кең қол жетімді түрі болып табылады, ал жерсеріктік байланыс ұялы байланыс шектеулі немесе қол жетімді емес шалғай және қол жетімді емес жерлерде қамтуды қамтамасыз етеді.

Жерсеріктік байланыс және ПЖК-400 жүйелерін жетілдіру үшін энергия тиімділігі жоғары технологиялар, автоматтандыру жүйелері және адаптивті байланыс әдістерін енгізу ұсынылды. Бұл шешімдер жерсеріктік байланыс инфрақұрылымын жақсартуға және оның тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Жерсеріктік байланыс технологияларының дамуы, оның ішінде жаңа жерсеріктерді іске қосу, кең жолақты интернетті қамтамасыз ету және 5G желілерімен интеграциялау, саланың болашағының зор екенін көрсетеді. Мұндай жүйелер ұлттық және халықаралық деңгейде байланыс сапасын арттыруға мүмкіндік береді.

Жерсеріктік байланыс пен ПЖК-400 жүйесі қазіргі заманғы байланысты қамтамасыз етуде ерекше рөл атқарады. Бұл зерттеу жұмысы жерсеріктік байланыс жүйелерінің артықшылықтарын анықтап, олардың тиімділігін арттыру бойынша ғылыми және практикалық ұсыныстар берді. Зерттеу нәтижелері Қазақстанның байланыс инфрақұрылымын дамытуда, шалғай аудандарды байланыспен қамтамасыз етуде және апаттық жағдайларда жылдам байланыс орнатуда маңызды рөл атқарады. Зерттеу нәтижелері жерсеріктік байланыс технологияларын жетілдіру мен енгізуге негіз бола алатынын айқындап отыр.

### Пайдаланылған дереккөздер тізімі

[1] Кунегин С.В. Төмен орбиталы спутниктік байланыс жүйелері [Электронды ресурс]. – Қолжетімділік режимі: <https://kunegin.narod.ru/refl/sput/loworb.htm>

[2] Panagopoulos A.D., Arapoglou P.D.M., Cottis P.G. Satellite communications at Ku-, Ka- and V-bands: propagation impairments and mitigation techniques // IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2004, Vol. 6, No. 3, pp. 2–14. <https://doi.org/10.1109/COMST.2004.5342290>

[3] ETSI. EN 302 307-2. Digital Video Broadcasting (DVB); Second Generation Framing Structure, Channel Coding and Modulation Systems for Broadband Satellite Applications (DVB-S2X). – Available at: <https://www.etsi.org>

[4] Бирюкова О.В. Жерсеріктік теледидар. Электронды оқулық. Қолжетімді: <http://www.xn--j1al4b.xn>

- [5] Jamalipour A. Design and implementation of satellite-based broadband networks // *IEEE Communications Magazine*, 2016, Vol. 54, No. 5, pp. 62–68. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2016.7470946>
- [6] Мұқашев С.К. Цифрлық байланыс және ақпарат беру жүйелері. Алматы, 2018. – 356 p.
- [7] Иманқұлова Г. Қазақ жерсеріктіктік жүйелерінің дамуы. Астана, 2020. . – 214 p.
- [8] Pritchard W.L., Suyderhoud J.A., Nelson R.A. *Satellite Communications Systems Engineering*. – Pearson, 2018. – 560 p.
- [9] Shiryayev K. Performance optimization in Ku-band satellite systems // *Journal of Communication Technologies*, 2019, No. 4, pp. 45–52.
- [10] Karimi M. Analysis of rain fade in satellite links // *International Journal of Satellite Communications*, 2018, Vol. 36, No. 2, pp. 123–131. <https://doi.org/10.1002/sat.1214>
- [11] Roddy D. *Satellite Communications*. – McGraw-Hill, 2016. – 432 p.
- [12] Richharia M. *Satellite Communication Systems: Design Principles*. – Wiley, 2016. – 512 p.
- [13] Sklar B. *Digital Communications: Fundamentals and Applications*. – Prentice Hall, 2014. – 1079 p.
- [14] ITU-R. Recommendation ITU-R P.618. Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems. – Available at: <https://www.itu.int>
- [15] ETSI. TR 102 376-2. Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation Guidelines for DVB-S2X. – Available at: <https://www.etsi.org>

#### Reference

- [1] Kunegin S.V. Tomen orbitaly sputniktik bajlanys zhyjeleri [Low-orbit satellite communication systems]. [Jelektronny resurs]. Қолжетімділік режими: <https://kunegin.narod.ru/refl/sput/loworb.htm> (In Kazakh)
- [2] Panagopoulos A.D., Arapoglou P.D.M., Cottis P.G. (2004) *Satellite communications at Ku-, Ka- and V-bands: propagation impairments and mitigation techniques*. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 6, No. 3, 2–14. (In English)
- [3] ETSI. EN 302 307-2. Digital Video Broadcasting (DVB); Second Generation Framing Structure, Channel Coding and Modulation Systems for Broadband Satellite Applications (DVB-S2X). Available at: <https://www.etsi.org> (In English)
- [4] Biryukova O.V. Zherseriktik teledidar [Satellite television]. Electronic textbook. Available at: <http://www.xn--j1a14b.xn> (In Kazakh)
- [5] Jamalipour A. (2016) Design and implementation of satellite-based broadband networks. *IEEE Communications Magazine*, Vol. 54, No. 5, 62–68. (In English)
- [6] Mukashev S.K. (2018) Tsifrlyk bailanys zhane akparat beru zhuyeleri [Digital communication and data transmission systems]. *Almaty, Kazakhstan*, 356 p. (In Kazakh)
- [7] Imankulova G. (2020) Qazaq zherseriktiktik zhuyelerinin damuy [Development of Kazakh satellite systems]. *Astana, Kazakhstan*, 214 p. (In Kazakh)
- [8] Pritchard W.L., Suyderhoud J.A., Nelson R.A. (2018) *Satellite Communications Systems Engineering*. Pearson, 560 p. (In English)
- [9] Shiryayev K. (2019) Performance optimization in Ku-band satellite systems. *Journal of Communication Technologies*, No. 4, 45–52. (In English)
- [10] Karimi M. (2018) Analysis of rain fade in satellite links. *International Journal of Satellite Communications*, Vol. 36, No. 2, 123–131. (In English)
- [11] Roddy D. (2016) *Satellite Communications*. McGraw-Hill, 432 p. (In English)
- [12] Richharia M. (2016) *Satellite Communication Systems: Design Principles*. Wiley, 512 p. (In English)
- [13] Sklar B. (2014) *Digital Communications: Fundamentals and Applications*. Prentice Hall, 1079 p. (In English)
- [14] ITU-R. Recommendation ITU-R P.618. Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems. Available at: <https://www.itu.int> (In English)
- [15] ETSI. TR 102 376-2. Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation Guidelines for DVB-S2X. Available at: <https://www.etsi.org> (In English)