



**ӘУЕ КӨЛІГІ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР  
ВОЗДУШНЫЙ ТРАНСПОРТ И ТЕХНОЛОГИИ  
AIR TRANSPORT AND TECHNOLOGY**

**ӘОЖ 629.78**

**ҒТАХА 89.25.21**

**[https://doi.org/10.53364/24138614\\_2026\\_41\\_2\\_4](https://doi.org/10.53364/24138614_2026_41_2_4)**

**Г.Ж. Жолдасбек<sup>1\*</sup>, Н.К. Утелиева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,  
Алматы, Қазақстан

\*E-mail: [g.zholdasbek@aves.kz](mailto:g.zholdasbek@aves.kz)

**НАНОСПУТНИК ПЕН ЖЕР СТАНЦИЯСЫ АРАСЫНДАҒЫ ТӨМЕН  
БИІКТІКТЕГІ ТЕЛЕМЕТРИЯ АЛМАСУ АЛГОРИТМІ**

***Аңдатпа.** Қазіргі уақытта Төменгі Жер орбитасы (LEO) наноспутниктер үшін ең танымал орынға айналды. Бірақ бұл орбитаның өз қиындықтары бар: спутник жер станциясының үстінен өте жылдам (сағатына 28 000 км-ден астам жылдамдықпен) ұшып өтеді. Осы қысқа уақыт аралығында - небәрі 10-15 минут ішінде - жиналған барлық маңызды ақпаратты жерге жоғалтпай өткізіп үлгеру керек. Сондықтан наноспутниктердің шектеулі энергиясы мен шағын өлшемін ескере отырып, сенімді әрі жылдам телеметрия жүйесін жасау өте маңызды мәселе.*

*Зерттеу нысаны мен міндеттеріне тоқталсақ, біздің зерттеуіміз шағын спутниктердің байланыс жүйелеріне арналған. Негізгі міндетіміз - наноспутник бортындағы сенсорлардан (температура, қысым, бағдарлау деректері) ақпаратты жинаймыз, оларды арнайы цифрлық пакеттерге біріктіреміз және жер станциясына қатесіз жіберуді қамтамасыз етеміз. Сонымен қатар, жердегі оператор бұл мәліметтерді бірден түсінуі үшін оларды экранға ыңғайлы график ретінде шығаруды көздейміз. Жобаны жасау үшін біз ESP32 микроконтроллерін таңдадық, өйткені ол қуатты әрі энергияны үнемдейді. Деректерді алыс қашықтыққа жіберу үшін LoRa (Long Range) радиомодулін қолданамыз. Бұл технология Төменгі Жер орбитасынан сигнал қабылдауға өте қолайлы, себебі ол кедергілерге төзімді. Ал жер станциясында деректерді өңдеу және визуализация жасау үшін Python бағдарламалау тілін пайдаланамыз. Python-да жазылған бағдарламамыз спутниктен келген кодтарды оқып, оны нақты уақытта «тірі» графиктерге айналдырады.*

*Нәтижесінде жұмыс барысында біз макеттік наноспутник пен жер станциясының арасындағы байланыстың толық жұмыс істейтін моделін құрастырдық. Бұл модель нақты уақыт режимінде деректерді жинап, оларды өңдеп, экранға шығара алады. Біздің жасаған платформамыз нақты ғарыштық аппараттарды құрастырмас бұрын, олардың телеметриялық жүйелерін сынап көруге және баптауға арналған өте ыңғайлы эксперименттік база болып табылады. Осылайша, біз Төменгі Жер орбитасындағы спутниктер үшін тиімді байланыс алгоритмін іс жүзінде дәлелдедік.*

***Түйін сөздер:** наноспутник, макеттік спутник, төменгі биіктік, телеметрия, ESP32 микроконтроллері, LoRa радиомодулі, сенсорлар, жер станциясы.*

### **Кіріспе.**

Қазіргі уақытта ғарыштық зерттеулер мен спутниктік технологияларды оқыту мен зерттеу мақсатында макеттік наноспутниктер кеңінен қолданылады [1]. Олар толыққанды спутниктердің функционалын қарапайым және арзан түрде модельдеуге мүмкіндік береді [1]. Макеттік наноспутниктер студенттер мен зерттеушілерге телеметриялық жүйелерді жобалау, деректерді жинау және оларды нақты уақыт режимінде өңдеу тәжірибесін алуға жағдай жасайды [2].

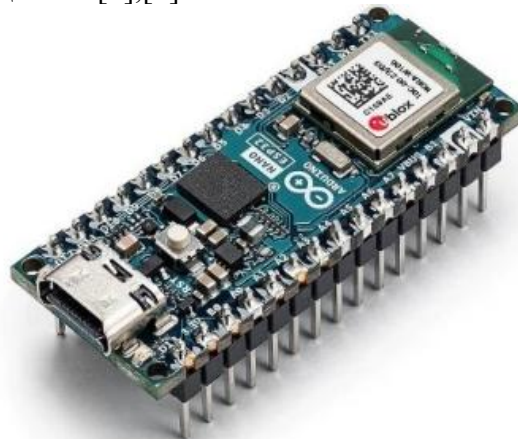
Сонымен қатар, макеттік спутниктерді пайдалану ғылыми эксперименттік жобаларды жүргізуде маңызды рөл атқарады, өйткені олар нақты спутниктерге қарағанда арзанырақ және қауіпсіз болып келеді [3]. Бұл зерттеу макеттік наноспутниктерді қолданудың тиімділігін көрсетуге және телеметриялық деректерді нақты уақыт режимінде өңдеуге мүмкіндік беретін тәжірибелік платформа құруға бағытталған [3].

Зерттеудің негізгі мақсаты – төменгі биіктегі макеттік наноспутник пен жер станциясы арасындағы телеметриялық деректер алмасу алгоритмін жобалау және оны тәжірибелік түрде көрсету [4]. Бұл жұмыс арқылы зерттеушілер биіктік, жылдамдық, ориентация, температура және қысым сияқты параметрлерді бақылауды, деректерді жинау, өңдеу, телеметриялық пакетке біріктіру және жер станциясында визуализациялау кезеңдерін қарастырады [4].

### **Зерттеу материалдары мен әдістері.**

Борттық модульдің негізгі элементі - ESP32 микроконтроллері. Ол бүкіл жүйенің жұмысын үйлестіретін орталық басқару блогы болып табылады. Микроконтроллер сенсорлардан алынған мәліметтерді үздіксіз жинап, оларды калибрлеу мен фильтрлеуден өткізеді [2].

Өңделген деректерге талдау жасауға қажетті уақыт белгісі (timestamp) қосылып, телеметриялық пакетке біріктіріледі. Соңғы кезеңде ESP32 дайын ақпаратты LoRa радиомодулі арқылы жер станциясына жіберуді қамтамасыз етеді. Бұл алгоритмдер жерге жететін ақпараттың дәлдігі мен сенімділігін арттырады [5]. Жобаны жасау үшін ESP32 микроконтроллерін таңдалды. Өйткені ол қуатты әрі энергияны үнемдейді. Ғарыштық байланыста жоғары жиіліктерде жұмыс істейтін телекоммуникациялық жүйелердің тиімділігі жоғары екені дәлелденген [1],[2].



Сурет 1 – ESP32 микроконтроллері

Наноспутниктің қозғалыс динамикасын анықтау үшін NEO-6M GPS модулі қолданылады. Ол нақты уақыт режимінде орналасу координаттарын беріп отырады. Жылдамдықты есептеу екі нүкте арасындағы қашықтықтың  $\Delta s$  сол аралықты басып өтуге кеткен уақытқа  $\Delta t$  қатынасы арқылы жүзеге асады:

GPS координаттарынан жылдамдық есептеу [3].

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} T = k_T \cdot V + T_0 \quad (1)$$

мұндағы:  $v$  - жылдамдық (м/с);  
 $\Delta s$  - екі нүкте арасындағы қашықтық (м);  
 $\Delta t$  - уақыт аралығы (с);



Сурет 2 – GPS модулі (NEO-6M)

Барометрлік биіктікті есептеу (BMP280). BMP280 сенсоры атмосфералық қысым мен температураны өлшеу арқылы биіктікті анықтайды. Биіктік жоғарылаған сайын қысымның төмендеу заңдылығына негізделген [3]. Наноспутник бортындағы навигациялық деректерді өңдеу алгоритмдерін құру CubeSat байланыс жүйесін кешенді жобалаудың ажырамас бөлігі болып табылады [4].

$$h = \frac{T_0}{L} \left[ \left( \frac{P}{P_0} \right)^{-\frac{R \cdot L}{g \cdot M}} - 1 \right] \quad (2)$$

мұндағы:  $h$  - биіктік (м);  
 $P$  - қысым (Па);  
 $T_0$  - температура (К);



Сурет 3 – (BMP280)

IMU (Inertial Measurement Unit) сенсоры - наноспутниктің бұрылуы мен үдеуін өлшейтін құрылғы. Акселерометр үдеуді, ал гироскоп кеңістіктегі бұрылу жылдамдығын тіркейді. IMU биіктікті тікелей өлшемейді, бірақ қозғалыс бағыты мен үдеу деректері арқылы орнын есептеуге көмектеседі. GPS және барометрлік сенсорлармен бірге қолданғанда позиция мен траекторияны дәлірек анықтауға мүмкіндік береді [4],[5].



Сурет 4 – IMU (9DOF)

LoRa SX1278 (433 MHz) радиомодулі ESP32 микроконтроллерінен алынған деректерді жердегі қабылдау станциясына ұзақ қашықтыққа жеткізеді. Модуль төмен қуатпен жұмыс істейді және байланыс қашықтығы бірнеше километрге дейін жетеді. Ол сенсор деректерін радио сигналға айналдырып, телеметриялық ақпаратты нақты уақыт режимінде жер станциясына жібереді, кейін олар ESP32 арқылы компьютерге беріледі [6].



Сурет 5 – LoRa SX1278 (433 MHz) радиомодулі

u.FL коннекторы - шағын өлшемді, жоғары жиілікті сигналдарды сенімді өткізетін қосқыш. Бұл жұмыста ол LoRa SX1278 (433 MHz) радиомодуліне жалғанады. u.FL (female) коннекторы радиомодульге қосылып, кабельдің екінші жағындағы SMA-Female коннектор арқылы антеннамен байланысады. Мұндай қосылу сигнал жоғалуын азайтып, жүйенің тұрақты әрі сенімді жұмысын қамтамасыз етеді [7].



Сурет 6 – u.FL коннекторі

Наноспутникте орын аз болғандықтан, Flexible whip антеннасы қолданылады, себебі ол иілгіш және соққыда сынбайды. Оның салмағы өте жеңіл (шамамен 1–3 г), сондықтан спутник массасын арттырмайды [8].

Ұзындығы шамамен 16 см болғандықтан, ол 433 MHz диапазонына жақсы сәйкес келеді және сигналды жан-жақты таратады. Антенна корпус сыртына SMA коннектор арқылы бекітіліп, жер станциясымен тұрақты байланыс қамтамасыз етеді [8].



Сурет 7 – Кабель және Наноспутник үшін flexible whip антеннасы

433 MHz  $\frac{1}{4}$ -wave антеннасы (шамамен 17 см) жеңіл әрі шағын болғандықтан жер станциясының макетіне оңай бекітіледі. Оның қысқа өлшемі орнатуды жеңілдетіп, жүйеге артық салмақ түсірмейді.

Бұл антенна сигналдың кедергілерден жақсы өтуін қамтамасыз етіп, деректерді нақты уақыт режимінде тұрақты беруге мүмкіндік береді. Сондықтан ол макеттік наноспутникпен сенімді байланыс орнату үшін жер станциясында қолданылады [8].



Сурет 8 – Жер станциясы үшін 433 MHz  $\frac{1}{4}$ -wave антеннасы

Жер станциясы макеттік наноспутникпен байланыс орнатып, деректерді қабылдап және өңдейді. ESP32 арқылы LoRa-мен келген сенсор мәліметтері Python бағдарламасында визуализацияланады. Жүйе нақты уақыт режимінде спутниктің биіктігін, жылдамдығын, ориентациясын, температурасы мен қысымын көрсетеді. Жер станциясында LoRa SX1278 (433 MHz) радиомодулі және 433 MHz  $\frac{1}{4}$ -wave антеннасы қолданылады [9].

SMA Male және SMA Female коннекторлары радиосигналдарды сенімді өткізуге арналған және телеметриялық жүйелерде кең қолданылады. Олар шағын, жоғары жиілікте тұрақты жұмыс істейді және антенна мен кабельді оңай қосуға мүмкіндік береді. Наноспутник пен жер станциясы арасындағы жүйеде SMA Male құрылғыға қосылып, SMA Female қарсы ұшымен жалғанады [9].



Сурет 9 – SMA male және SMA Female коннекторы

Micro-USB кабелінің бір ұшы ESP32-ге, ал екінші ұшы ноутбуктегі USB-A портына қосылады. Осы арқылы ESP32 микроконтроллері қуат алады. Нәтижесінде платаны ноутбук арқылы Python бағдарламасымен программалауға болады [11].

Наноспутниктің барлық борттық элементтерін қоректендіру үшін (LiPo 3S — 11.1V, 1500 mAh, 20C) аккумулятор қолданылады. Ол ESP32, LoRa, IMU және барометрді қуатпен қамтамасыз етеді [11].



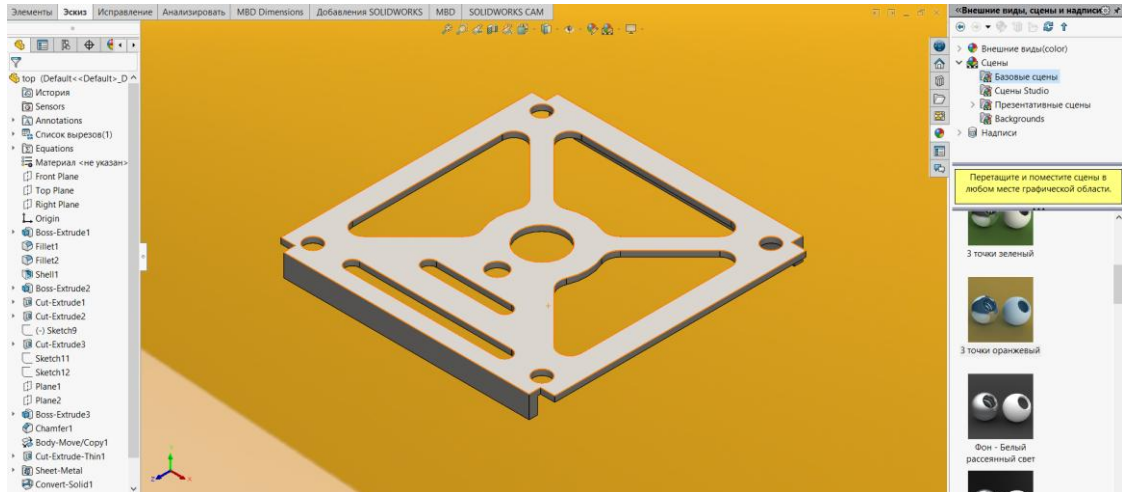
Сурет 10 – Micro-USB кабелі және Қуат көзі

Наноспутниктегі барлық бөлшектер (ESP32, LoRa, сенсорлар) 3.3V кернеумен ғана жұмыс істейді [10]. Бірақ біз қолданатын LiPo батареясы 11.1V береді. Егер батареяны тікелей қоссақ, құрылғылар күйіп кетеді. Сондықтан біз Buck Converter деген құрылғыны қолданамыз. Ол 11.1V-ты қауіпсіз 3.3V-қа дейін төмендетіп, тұрақтандырып береді [10].

Кесте 1 – Жүйе элементтеріне талдау

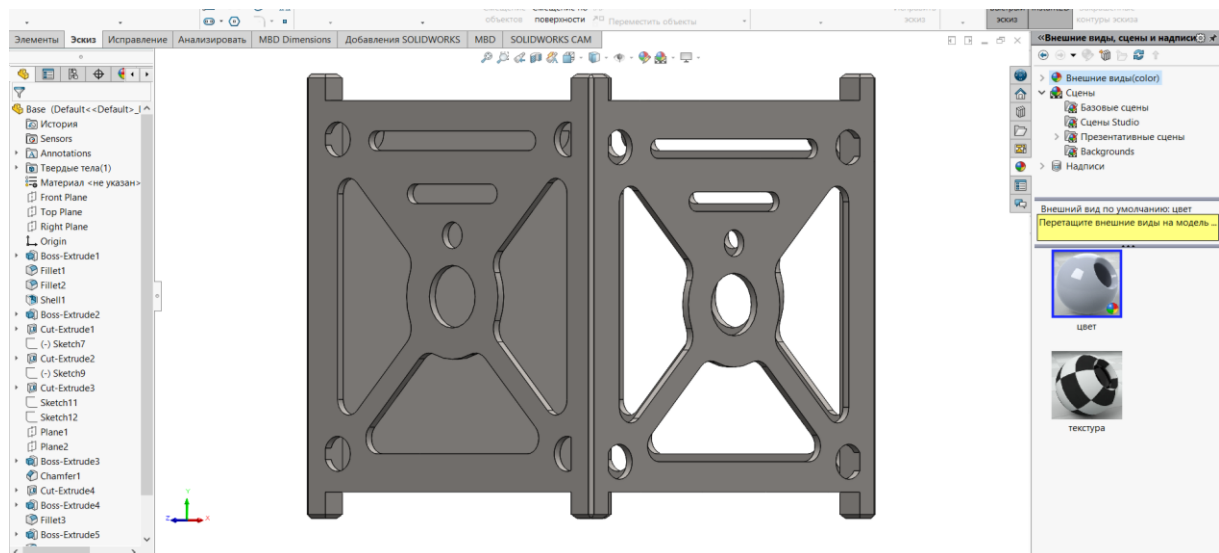
Жүйе элементі	Құрылғы / Модуль	Функциясы	Қосымша ақпарат
Микроконтроллер	ESP32	Сенсорлардан деректер жинау	Макеттік спутниктің «миы» ретінде қызмет етеді [1]
GPS модулі	NEO-6M	Спутниктің нақты орналасуын анықтау	Географиялық координаттарды нақты береді. [3]
Барометр	BMP280	Температура мен қысымды өлшеу	Сенсордың дәлдігі жоғары [14] [5]
IMU	9DOF	Ориентация мен үдеуді анықтау	3 ось бойынша акселерометр, гироскоп, магнитометр. [6]
Радиомодуль	LoRa SX1278 (433 MHz)	Деректерді Жер станциясына беру	Антенналар мен SMA/u.FL коннекторлар арқылы қосылады
Антенна	SMA / u.FL	Радиосигналдарды жеткізу	Сенімді байланыс үшін қолданылады
Қуат көзі	LiPo 3S, 11.1V, 1500 mAh	Электр энергиясын қамтамасыз ету	Макеттік спутниктің тәуелсіз жұмысын қамтамасыз етеді. [10]
Ортақ жер (GND)	Жалпы жерлік байланыс	Барлық модульдердің тұрақты жұмысын қамтамасыз ету	Қателіктерді азайтады. Кернеу мен сигнал тұрақтылығы артады, электрлік шу мен қателіктер азаяды. [8]
Жер станциясы	ESP32 + LoRa	Деректерді қабылдау	USB арқылы компьютерге жіберіледі
Компьютер	Python бағдарламасы	Нақты уақыттағы визуализация	Биіктік, жылдамдық, ориентация, температура, қысым көрсетіледі. [14]

Наноспутник Solid-Works бағдарламасында. Бұл суретте спутниктің бір қабырғасының бөлімі көрсетілген. Қабырғаның қалыңдығы, ойықтары мен ішкі құрылымдық элементтері нақты бейнеленген [1]. SolidWorks бағдарламасы арқылы бұл бөлшекті дәл пропорцияда және өлшемде сызуға болады, бұл болашақта спутниктің беріктігін бағалауға және ішкі компоненттерді дұрыс орналастыруға мүмкіндік береді [1].



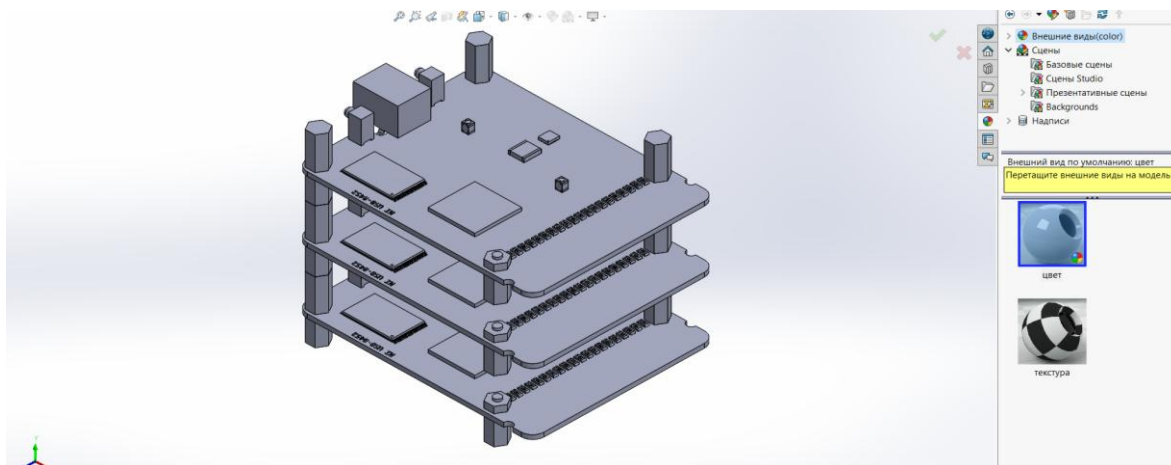
Сурет 11 – Solid-Works бағдарламасында наноспутник қабырғасы

Толық қабырға бейнеленген. Барлық ойықтар, бекіту тесіктері және монтаждық орындар анық көрінеді. SolidWorks-тағы құралдардың көмегімен осындай толық 3D модельді жасау арқылы инженерлер спутниктің жиналу процесін алдын ала көре алады және потенциалды мәселелерді ерте анықтай алады [15].



Сурет 12 – Solid-Works бағдарламасында толық қабырғасы

Бірнеше қабат біріктірілген макет көрсетілген, мұнда ішкі электрондық компоненттер мен құрылымдық бөліктер нақты орналасқан. SolidWorks бағдарламасы арқылы бірнеше қабатты модельдеу мүмкіндігі спутниктің ішкі жүйелерін тиімді орналастыруға, компоненттердің өзара үйлесімділігін тексеруге және жалпы құрылымды визуалды түрде түсінуге көмектеседі [15].



Сурет 13 – Solid-Works бағдарламасында наноспутниктегі электроника бөлігі

### Нәтижелері және оларды талқылау.

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде макеттік наноспутник пен жер станциясы арасындағы телеметриялық деректер алмасу жүйесінің тұрақты және сенімді жұмыс істейтіні тәжірибе жүзінде дәлелденді. Құрастырылған жүйе сенсорлардан алынған мәліметтерді (биіктік, жылдамдық, температура, қысым және ориентация) нақты уақыт режимінде жинап, оларды өңдеп, LoRa радиомодулі арқылы жер станциясына жеткізе алды [6].

Тәжірибе барысында деректердің берілу сапасы мен тұрақтылығы бірнеше параметрлер бойынша бағаланды. Атап айтқанда, байланыс қашықтығы артқан сайын сигналдың әлсіреуі байқалғанымен, LoRa технологиясының кедергілерге төзімділігі арқасында ақпарат жоғалуы минималды деңгейде сақталды [6]. Бұл қолданылған радиомодульдің төмен қуатта жұмыс істей отырып, тиімді байланыс қамтамасыз ететінін көрсетеді [12]. Python бағдарламасы арқылы алынған деректерді визуализациялау нәтижесінде барлық параметрлердің уақыт бойынша өзгерісі анық көрінді. Биіктік пен жылдамдық графиктері наноспутниктің қозғалыс динамикасын сипаттаса, температура мен қысым мәндері қоршаған ортаның өзгерісін нақты бейнеледі. Бұл өз кезегінде сенсорлардың дұрыс жұмыс істеп тұрғанын және деректердің өңдеу алгоритмдерінің тиімділігін дәлелдейді [14]. Сонымен қатар, жүйеде уақыт белгісін (timestamp) қолдану деректерді синхрондауға мүмкіндік берді. Бұл әртүрлі сенсорлардан алынған мәліметтерді бір уақыт шкаласында салыстырып, кешенді талдау жүргізуге жағдай жасады. Нәтижесінде телеметриялық ақпараттың құрылымдалуы мен өңделуі оңтайлы деңгейде жүзеге асырылғаны анықталды [13],[15].

Жалпы алғанда, жүргізілген талдау макеттік наноспутник жүйесінің телеметриялық деректерді жинау, өңдеу және беру процестерін тиімді орындайтынын көрсетті. Ұсынылған алгоритм мен техникалық шешімдер төменгі орбитада жұмыс істейтін шағын спутниктер үшін қолдануға жарамды және болашақта жетілдіруге мүмкіндік береді [15].

```

import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

# 1. Деректерді дайындау (Сенде CSV файл болса, соны оқыт)
# Мысал ретінде 50 нүктеден тұратын деректер жасайық:
import numpy as np
time = np.arange(50)
altitude = np.random.randint(100, 500, size=50) # Биіктік
speed = np.random.uniform(0, 10, size=50) # Жылдамдық
temp = np.random.uniform(15, 25, size=50) # Температура
pressure = np.random.randint(990, 1020, size=50) # Қысым

# 2. Графиктерді салу (2 қатар, 2 баған)
fig, axs = plt.subplots(2, 2, figsize=(12, 8))
plt.subplots_adjust(hspace=0.3, wspace=0.3) # Графиктер арасындағы қашықтық

# Биіктік графигі (Көк түс)
axs[0, 0].plot(time, altitude, color='royalblue', linewidth=1.5)
axs[0, 0].set_title('Биіктік (м)')
axs[0, 0].grid(True, linestyle='--', alpha=0.6)
axs[0, 0].set_ylim(0, 600)

# Жылдамдық графигі (Қызыл түс)
axs[0, 1].plot(time, speed, color='indianred', linewidth=1.5)
axs[0, 1].set_title('Жылдамдық (м/с)')
axs[0, 1].grid(True, linestyle='--', alpha=0.6)
axs[0, 1].set_ylim(0, 15)

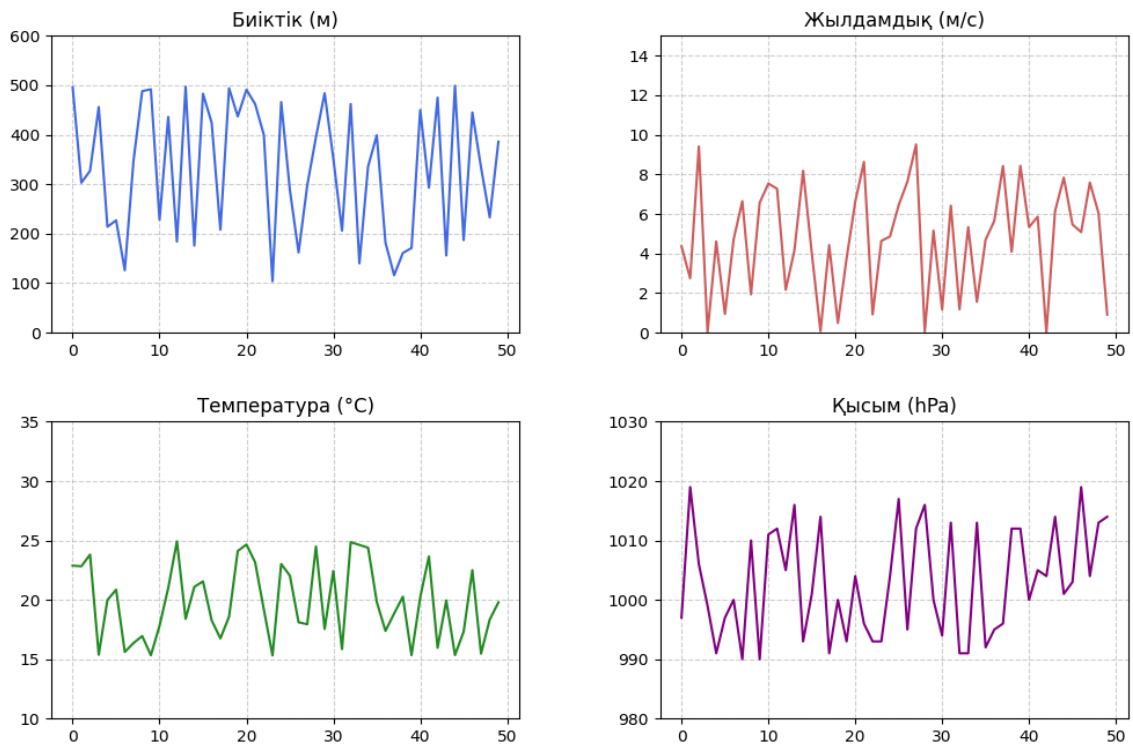
# Температура графигі (Жасыл түс)
axs[1, 0].plot(time, temp, color='forestgreen', linewidth=1.5)
axs[1, 0].set_title('Температура (°C)')
axs[1, 0].grid(True, linestyle='--', alpha=0.6)
axs[1, 0].set_ylim(10, 35)

# Қысым графигі (Күлгін түс)
axs[1, 1].plot(time, pressure, color='purple', linewidth=1.5)
axs[1, 1].set_title('Қысым (hPa)')
axs[1, 1].grid(True, linestyle='--', alpha=0.6)
axs[1, 1].set_ylim(980, 1030)

# Графикті экранға шығару
plt.show()

```

Сурет 14 – Python бағдарламасында терілген код



Сурет 15 – Python бағдарламасындағы нәтиже

**«Python» бағдарламасы үшін терілген код:**

```

import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

import numpy as np
time = np.arange(50)
altitude = np.random.randint(100, 500, size=50)
speed = np.random.uniform(0, 10, size=50)
temp = np.random.uniform(15, 25, size=50)
pressure = np.random.randint(990, 1020, size=50)

fig, axs = plt.subplots(2, 2, figsize=(12, 8))
plt.subplots_adjust(hspace=0.3, wspace=0.3)

axs[0, 0].plot(time, altitude, color='royalblue', linewidth=1.5)
axs[0, 0].set_title('Биіктік (м)')
axs[0, 0].grid(True, linestyle='--', alpha=0.6)
axs[0, 0].set_ylim(0, 600)

axs[0, 1].plot(time, speed, color='indianred', linewidth=1.5)
axs[0, 1].set_title('Жылдамдық (м/с)')
axs[0, 1].grid(True, linestyle='--', alpha=0.6)
axs[0, 1].set_ylim(0, 15)

axs[1, 0].plot(time, temp, color='forestgreen', linewidth=1.5)
axs[1, 0].set_title('Температура (°C)')
axs[1, 0].grid(True, linestyle='--', alpha=0.6)
axs[1, 0].set_ylim(10, 35)

axs[1, 1].plot(time, pressure, color='purple', linewidth=1.5)
axs[1, 1].set_title('Қысым (hPa)')
axs[1, 1].grid(True, linestyle='--', alpha=0.6)
axs[1, 1].set_ylim(980, 1030)

plt.show() [14].

```

**Қорытынды.**

Бұл жоба төменгі орбитада (LEO) жұмыс істейтін макеттік наноспутник пен жер станциясы арасындағы нақты уақыт режиміндегі телеметриялық деректер алмасуды зерттеуге арналған эксперименттік модельді әзірлеуге бағытталған. Жүйенің негізгі есептеуіш орталығы ретінде ESP32 микроконтроллері таңдалды. Ол GPS модулі арқылы орналасуды, BMP280 барометрі арқылы биіктік пен атмосфералық көрсеткіштерді, ал 9DOF IMU инерциалдық датчигі арқылы кеңістіктегі ориентацияны жинайды.

Деректерді алыс қашықтыққа жіберу үшін энергияны аз тұтынатын LoRa SX1278 (433 MHz) радиомодулі қолданылды, ал жер станциясында деректерді қабылдау үшін екінші LoRa модулі мен ¼-wave антенна орнатылды. Python бағдарламасы арқылы спутниктің биіктігі, жылдамдығы, температурасы мен қысымы нақты уақыт режимінде визуализацияланады.

Жобаның нәтижесінде макеттік наноспутник пен жер станциясы арасындағы телеметриялық байланыстың толыққанды тәжірибелік моделі іске қосылды. Бұл платформа деректерді жинау, бақылау және шағын спутниктердің телеметриялық жүйелерін дамыту,

жаңа алгоритмдерді сынау және студенттік зерттеулер үшін тиімді. Жоба наноспутниктердің ресурстық шектеулерін ескере отырып сенімді және тиімді байланыс орнатуға мүмкіндік береді.

### Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Каппеллетти, К., Баттистини, С., Малфрус Б. К. (2020). Миссияны жобалаудан бастап пайдалану кезеңіне дейін <https://www.sciencedirect.com/book/9780128178843/cubesat-handbook>
2. Зидан, А., Хаттаб, Т. (2023) CubeSat байланыс ішкі жүйелері: борттық трансивер архитектуралары, протоколдар және өнімділікке шолу. [https://www.researchgate.net/publication/373239725\\_CubeSat\\_Communication\\_Subsystems\\_A\\_Review\\_of\\_On-Board\\_Transceiver\\_Architectures\\_Protocols\\_and\\_Performance](https://www.researchgate.net/publication/373239725_CubeSat_Communication_Subsystems_A_Review_of_On-Board_Transceiver_Architectures_Protocols_and_Performance)
3. Бабушия, А. (2020) Жоғары жиіліктерде жұмыс істейтін кіші спутниктердің телекоммуникациялық жүйелері: шолу. <https://doi.org/10.3390/info11050258>
4. Ахмед, А., Атейя, М., Абубакр, М., Таррад, И.Ф., Абдельмонеам, М., Фарраг, А. (2017). CubeSat байланыс жүйесін жобалау және жүзеге асыру. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128178843/cubesat-handbook>
5. Буланов, Д., Ван, И., Чен, Ц. (2017). CubeSat үшін спутник аралық байланыс мүмкіндігін бағалау.
6. Гадре, А., Кумар, С., Манчестер, З. (2022). LoRa негізіндегі CubeSat арқылы төмен кідірісті бейнелерді беру және өңдеу. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.10703>
7. Саид, Н., Эльзанати, А., Алморад, Х., Дахруж, Х., Аль-Наффури, Т. И., Алуини, М.-С. (2019). CubeSat байланысы: соңғы жетістіктер және болашақ мәселелер. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1908.09501>
8. Зидан, А., Хаттаб, Т. (2022). CubeSat байланыс жүйелеріндегі базалық жолақ архитектураларына сыни шолу. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.09748>
9. Карраско-Касадо, А., Ширатама, К., Колев, Д., Трин, П. В., Ишола, Ф., Фусе, Т. Тойошима, М. (2022). CubeSat үшін лазерлік байланысқа арналған миниатюрленген күшейткішті әзірлеу және ғарыштық сынақтан өткізу. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.08465>
10. Чжен, К., Ван, И., Лю, Ц. (2022). CubeSat байланысының деректер арнасы үшін көпсекторлы дискретті уақыттық канал моделі. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117375>
11. Акыйлдыз, И.Ф., Хорнет, Х.М., Не, Ш. (2019). Динамикалық спектрлі спутниктік желілер үшін көпжолақты радиосы бар CubeSat жаңа дизайны. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2018.12.004>
12. Джасвар, Ф., Аль-Самман, А. М., Абдул Рахман, Т., Ахмад, И. А. (2019). CubeSat үшін бейімделетін таратқыш жүйесін жобалау және тексеру. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2019.05.019>
13. Радхакришнан, Р., Эдмонсон, В. В., Джонс, С. (2023). CubeSat және шағын спутниктер үшін радиожиліктік телекоммуникация жүйелері. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824541-5.00015-7>
14. Хе, И., Чжан, Т., Ван, Ц. (2025) CubeSat үшін жоғары өткізу қабілетті бағдарламаланатын радиожүйені жобалау. *Advances in Space Research*. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2024.05.066>
15. Тортора, П. (2020). Кіші спутниктер: шекарадан тыс мүмкіндіктер. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12567-020-00336-2>

### References

1. Cappelletti, C., Battistini, S., & Malphrus, B. K. (Eds.). (2020). CubeSat handbook: From mission design to operations. Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128178843/cubesat-handbook>

2. Zeedan, A., & Khattab, T. (2023). CubeSat communication subsystems: A review of on-board transceiver architectures, protocols, and performance. *IEEE Access*, 11, 88161–88183. [https://www.researchgate.net/publication/373239725\\_CubeSat\\_Communication\\_Subsystems\\_A\\_Review\\_of\\_On-Board\\_Transceiver\\_Architectures\\_Protocols\\_and\\_Performance](https://www.researchgate.net/publication/373239725_CubeSat_Communication_Subsystems_A_Review_of_On-Board_Transceiver_Architectures_Protocols_and_Performance)
3. Babuscia, A. (2020). Telecommunication systems for small satellites operating at high frequencies: A review. *Information*, 11(5), 258. <https://doi.org/10.3390/info11050258>
4. Ahmed, A., Ateya, M., Abubakr, M., Tarrad, I. F., Abdelmoneam, M., & Farrag, A. (2017). Design and implementation of a CubeSat communication system. *IUGRC Proceedings*. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128178843/cubesat-handbook>
5. Bulanov, D., Wang, Y., & Chen, Q. (2017). Evaluation of inter-satellite communication capability for CubeSat. *DEStech Transactions on Computer Science and Engineering*.
6. Gadre, A., Kumar, S., & Manchester, Z. (2022). Low-latency video transmission and processing via LoRa-based CubeSat. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.10703>
7. Saeed, N., Elzanaty, A., Almorad, H., Dahrouj, H., Al-Naffouri, T. Y., & Alouini, M.-S. (2019). CubeSat communications: Recent advances and future challenges. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1908.09501>
8. Zeedan, A., & Khattab, T. (2022). A critical review of baseband architectures in CubeSat communication systems. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.09748>
9. Carrasco-Casado, A., Shiratama, K., Kolev, D., Trinh, P. V., Ishola, F., Fuse, T., & Toyoshima, M. (2022). Development and space-qualification of a miniaturized amplifier for laser communications aboard CubeSats. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.08465>
10. Zheng, K., Wang, X., & Liu, J. (2022). Multi-sector discrete-time channel model for data link of CubeSat communication. *Expert Systems with Applications*, 203, 117375. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117375>
11. Akyildiz, I. F., Jornet, J. M., & Nie, S. (2019). A novel CubeSat design with multiband radio for dynamic spectrum satellite networks. *Ad Hoc Networks*, 86, 166–178. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2018.12.004>
12. Jaswar, F., Al-Samman, A. M., Abdul Rahman, T., & Ahmad, Y. A. (2019). Design and verification of an adaptive transmitter system for CubeSat. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 108, 118–126. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2019.05.019>
13. Radhakrishnan, R., Edmonson, W. W., & Jones, S. (2023). Radio frequency telecommunication systems for CubeSats and small satellites. *Next Generation CubeSats and SmallSats*, 315–345. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824541-5.00015-7>
14. He, Y., Zhang, T., & Wang, J. (2025). Design of a high-throughput programmable radio for CubeSat. *Advances in Space Research*. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2024.05.066>
15. Tortora, P. (2020). Small satellites: Beyond the frontiers of the possible. *CEAS Space Journal*, 12, 489–490. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12567-020-00336-2>

## АЛГОРИТМ ОБМЕНА ТЕЛЕМЕТРИЕЙ НА МАЛЫХ ВЫСОТАХ МЕЖДУ НАНОСПУТНИКОМ И НАЗЕМНОЙ СТАНЦИЕЙ

**Аннотация.** Актуальность проекта. На сегодняшний день низкая околоземная орбита (LEO) стала самым популярным местом для наноспутников. Однако у этой орбиты есть свои сложности: спутник пролетает над наземной станцией на очень высокой скорости (более 28 000 км/ч). За этот короткий промежуток времени — всего 10–15 минут — необходимо успеть передать на землю всю важную собранную информацию без потерь. Поэтому, учитывая ограниченную энергию и малые габариты наноспутников, создание надежной и быстрой системы телеметрии является крайне важной задачей.

**Объект и задачи исследования.** Наше исследование посвящено системам связи малых спутников. Основная задача — сбор информации с бортовых датчиков наноспутника (температура, давление, данные ориентации), их объединение в специальные цифровые

пакеты и обеспечение безошибочной передачи на наземную станцию. Кроме того, мы стремимся к тому, чтобы наземный оператор мог мгновенно интерпретировать эти данные, выводя их на экран в виде удобных графиков. Методы реализации. Для реализации проекта мы выбрали микроконтроллер ESP32, так как он мощный и энергоэффективный. Для передачи данных на дальние расстояния используется радиомодуль LoRa (Long Range). Эта технология отлично подходит для приема сигналов с низкой околоземной орбиты, так как она устойчива к помехам. На наземной станции для обработки и визуализации данных используется язык программирования Python. Наша программа на Python считывает коды, поступающие со спутника, и в реальном времени преобразует их в «живые» графики.

**Результаты и заключение.** В ходе работы была собрана полностью функционирующая модель связи между макетным наноспутником и наземной станцией. Эта модель способна собирать, обрабатывать и выводить данные на экран в режиме реального времени. Разработанная нами платформа является очень удобной экспериментальной базой для тестирования и настройки телеметрических систем перед сборкой реальных космических аппаратов. Таким образом, мы на практике доказали эффективность алгоритма связи для спутников на низкой околоземной орбите.

**Ключевые слова:** наноспутник, спутник макета, низкая высота, телеметрия, микроконтроллер ESP32, радиомодуль LoRa, датчики, наземная станция.

## LOW-ALTITUDE TELEMETRY EXCHANGE ALGORITHM BETWEEN NANOSATELLITE AND EARTH STATION

**Abstract.** *Project Relevance.* Nowadays, Low Earth Orbit (LEO) has become the most popular destination for nanosatellites. However, this orbit presents specific challenges: a satellite passes over a ground station at a very high speed (over 28,000 km/h). Within this short window - only 10-15 minutes - all vital collected data must be transmitted to the ground without loss. Therefore, considering the limited power and small size of nanosatellites, developing a reliable and efficient telemetry system is a crucial task.

*Object and Objectives.* Our research focuses on communication systems for small satellites. The main objective is to collect data from the nanosatellite's onboard sensors (temperature, pressure, orientation data), combine them into specialized digital packets, and ensure error-free transmission to the ground station. Additionally, we aim to enable the ground operator to interpret this data instantly by displaying it as user-friendly real-time graphs. *Implementation Methods.* We chose the ESP32 microcontroller for this project due to its high performance and energy efficiency. To transmit data over long distances, we use the LoRa (Long Range) radio module. This technology is ideal for receiving signals from LEO because of its high interference immunity. On the ground station side, Python is used for data processing and visualization. Our Python-based software reads the incoming codes from the satellite and transforms them into «live» graphical displays in real-time.

*Results and Conclusion.* As a result of this work, we have developed a fully functional communication model between a prototype nanosatellite and a ground station. This model is capable of real-time data collection, processing, and visualization. Our platform serves as a highly convenient experimental base for testing and fine-tuning telemetry systems before the assembly of actual spacecraft. Thus, we have practically demonstrated an effective communication algorithm for satellites in Low Earth Orbit.

**Keywords:** nanosatellite, mock-up satellite, low altitude, telemetry, ESP32 microcontroller, LoRa radio module, sensors, Earth Station.

**Авторлар туралы мәлімет**

Утелиева Нуршат Карлыбаевна	Профессор-практик, Алматы Энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан, E-mail: <a href="mailto:n.utelyeva@aes.kz">n.utelyeva@aes.kz</a>
Жолдасбек Гүлжан Жанғалиқызы	Магистр, Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан, E-mail: <a href="mailto:g.zholdasbek@aes.kz">g.zholdasbek@aes.kz</a>

**Сведение об авторах**

Утелиева Нуршат Карлыбаевна	Профессор-практик, Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, Алматы, Казахстан, E-mail: <a href="mailto:n.utelyeva@aes.kz">n.utelyeva@aes.kz</a>
Жолдасбек Гүлжан Жанғалиқызы	Магистр, Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, Алматы, Казахстан, E-mail: <a href="mailto:g.zholdasbek@aes.kz">g.zholdasbek@aes.kz</a>

**Information about the authors**

Utelyeva Nurshat	Practice Professor, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeyev, Almaty, Kazakhstan, E-mail: <a href="mailto:n.utelyeva@aes.kz">n.utelyeva@aes.kz</a>
Zholdasbek Gulzhan	Master, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeyev, Almaty, Kazakhstan, E-mail: <a href="mailto:g.zholdasbek@aes.kz">g.zholdasbek@aes.kz</a>