

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ  
МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Нұрланова Ақнұр Тимурқызы

«Навигациялық жүйелердің спутниктерін зерттеу»

**ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

6B06201 - Телекоммуникациялар

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ  
МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы



ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

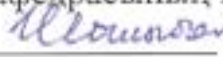
Тақырыбы «Навигациялық жүйелердің спутниктерін зерттеу»

6B06201 – Телекоммуникациялар

Орындаған:

А.Т.Нұрланова

Рецензент:

Ғ. Дәукеев атындағы Алматы ЭЖБУ  
«Энергиямен қамтамасыз ету, электр  
жетегі және электротехника»  
кафедрасының меңгерушісі, PhD докторы  
 Ж.Шыныбай

« 19 » 05 2025 ж.

Ғылыми жетекші  
техн. ғыл. кандидаты,  
ЭТжҒТ каф. қауымдастырылған  
профессоры  
 А.Е.Куттыбаева

« 19 » 05 2025 ж.

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ  
МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыш технологиялар кафедрасы

6B06201 – Телекоммуникациялар



Дипломдық жұмыс орындауға  
ТАПСЫРМА

Білім алушы: Нұрланова Ақнұр Тимурқызы

Тақырыбы: «Навигациялық жүйелердің спутниктерін зерттеу».

Университет ректорының «09» 01 20225 ж. № 2 П/Ө бұйрығымен  
бекітілген

Аяқталған жобаны тапсыру мерізімі «30» сәуір 2025 ж.

Жұмыстың бастапқы мәліметтері:

1) GPS (Global Positioning System): Орбиталар саны: 6; спутниктер саны:  
31.

GLONASS (Ресей): орбиталар саны: 3; Спутниктер саны: 24; Galileo (ЕО):  
орбиталар саны: 3; спутниктер саны: 30; BeiDou (Қытай): орбиталар саны: 3;  
спутниктер саны: 35.

2) Орбиталар биіктігі: 19,000–23,000 км.

3) Орбиталық кезең: ~12 сағат.

4) Орбиталық еңістік: 55°–65°.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) Навигациялық спутниктердің құрылымы мен жұмыс принциптерін  
зерттеу.

б) GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou және басқа жүйелердің ерекшеліктерін  
салыстыру.

в) Навигациялық спутниктердің орбиталық параметрлерін талдау.

2. Parkinson, B.W., Spilker, J.J. Global Positioning System: Theory and Applications. AIAA, 1996. – 200 с.

Дипломдық жұмысты дайындау  
КЕСТЕСІ

| Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі                               | Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерізімі | Ескерту   |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------|
| Навигациялық спутниктердің құрылымы мен жұмыс принциптерін зерттеу.           | 1.02.2025 ж. - 21.02.2025                           | орндалады |
| GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou және басқа жүйелердің ерекшеліктерін салыстыру. | 21.02.2025 - 01.03.2025                             | орндалады |
| Навигациялық спутниктердің орбиталық параметрлерін талдау.                    | 01.03.2025 - 14.05.2025                             | орндалады |
| Спутниктердің сигнал тарату және қабылдау жүйелерінің тиімділігін зерттеу.    | 01.03.2025 - 14.05.2025                             | орндалады |

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа(жобаға) қойған қолтаңбалары

| Бөлімдер атауы                    | Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)          | Қол қойылған күні | Қолы           |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------|
| Диплом жұмысының тақырыбын талдау | Техн.ғыл.канд., ЭТЖҒТ каф.қауымдастырылған профессоры Куттыбаева А.Е. | 1.02.2025         | А.Е.Куттыбаева |
| Теориялық ақпарат                 | Техн.ғыл.канд., ЭТЖҒТ каф.қауымдастырылған профессоры Куттыбаева А.Е. | 7.03.2025         | А.Т.Нұрланова  |
| Норма бақылау                     | ЭТЖҒТ каф.аға оқытушысы Досбаев Ж.М.                                  | 19.05.25          | Досбаев Ж.М.   |

Ғылыми жетекшісі

 А.Е.Куттыбаева

Тапсырманы орындауға алған білім алушы

 А.Т.Нұрланова

Күні « 2 » 02 2025 ж.

г) Спутниктердің сигнал тарату және қабылдау жүйелерінің тиімділігін зерттеу.

Сызбалық материалдар 10 слайдпен ppt форматында көрсетілген. – көрсетілу керек. а) Навигациялық спутниктердің құрылымы б) GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou және басқа жүйелері; в) Навигациялық спутниктердің орбиталық параметрлері.

Ұсынылатын негізгі әдебиет:

1. Misra, P., Enge, P. Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance. Ganga-Jamuna Press, 2011. -100 с.

2. Parkinson, B.W., Spilker, J.J. Global Positioning System: Theory and Applications. AIAA, 1996. – 200 с.

3. Kaplan, E.D., Hegarty, C.J. Understanding GPS: Principles and Applications. Artech House, 2017. – 200 с.

4. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Collins, J. Global Positioning System: Theory and Practice. Springer, 2011. – 150 с.

5. Elliott D. Kaplan. GNSS Technology and Applications. Artech House, 2018. -100 с.

6. Веселов, С.Н. Спутниковые системы навигации. Москва: Радио и связь, 2018. – 200 с.



## **АНДАТПА**

Бұл дипломдық жұмыста жаһандық навигациялық спутниктік жүйелердің (ЖНСЖ) құрылымы, жұмыс істеу принциптері және олардың салыстырмалы сипаттамалары жан-жақты зерттелді. GPS (АҚШ), ГЛОНАСС (Ресей), Galileo (ЕО) және BeiDou (Қытай) жүйелерінің орбиталық параметрлері, сигнал беру жиіліктері, дәлдік сипаттамалары және қолдану салалары талданды.

Зерттеу барысында спутниктердің орбиталық параметрлері есептеліп, навигациялық дәлдікке әсер ететін факторлар, соның ішінде ионосфералық және тропосфералық қателер, сигналдың таралу уақыты мен қашықтығы, сондай-ақ энергетикалық сипаттамалар қарастырылды. MATLAB және Python бағдарламалау тілдері арқылы спутниктік деректерді өңдеу және талдау әдістері ұсынылды.

## **АННОТАЦИЯ**

В данной дипломной работе проведено всестороннее исследование глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS), включая GPS (США), ГЛОНАСС (Россия), Galileo (ЕС) и BeiDou (Китай). Рассмотрены их орбитальные параметры, частоты передачи сигналов, точностные характеристики и области применения.

В процессе исследования были рассчитаны орбитальные параметры спутников и проанализированы факторы, влияющие на точность навигации, такие как ионосферные и тропосферные ошибки, время распространения сигнала и расстояние, а также энергетические характеристики. Предложены методы обработки и анализа спутниковых данных с использованием языков программирования MATLAB и Python.

## **ABSTRACT**

This thesis presents a comprehensive study of global navigation satellite systems (GNSS), including GPS (USA), GLONASS (Russia), Galileo (EU), and BeiDou (China). It examines their orbital parameters, signal transmission frequencies, accuracy characteristics, and areas of application.

During the research, satellite orbital parameters were calculated, and factors affecting navigation accuracy—such as ionospheric and tropospheric errors, signal propagation time and distance, as well as energy characteristics—were analyzed. Methods for processing and analyzing satellite data using MATLAB and Python programming languages are proposed.

## МАЗМҰНЫ

### Кіріспе

|     |                                                                                                       |    |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1   | Навигациялық жүйелердің спутниктері және олардың құрылымы                                             |    |
| 1.1 | Навигациялық спутниктер туралы жалпы түсінік                                                          | 9  |
| 1.2 | Спутниктердің жұмыс істеу принциптері мен радиосигналдарды тарату әдістері                            | 12 |
| 1.3 | Спутниктердің негізгі компоненттері мен құрылымы                                                      | 20 |
| 1.4 | Навигациялық спутниктердің негізгі құрылымдық элементтері                                             | 23 |
| 2   | Навигациялық жүйелердің қазіргі дамуы және қолданылуы                                                 |    |
| 2.1 | Заманауи навигациялық жүйелер және олардың                                                            | 27 |
| 2.2 | Әртүрлі елдердегі навигациялық спутниктер жүйелері (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou және басқа жүйелер) | 30 |
| 2.3 | Спутниктердің навигациялық сигналдары және олардың ерекшеліктері                                      | 37 |
| 3   | Практикалық зерттеу және жүзеге асыру әдістері                                                        |    |
| 3.1 | Навигациялық спутниктерден алынған деректерді өңдеу және талдау әдістері                              | 40 |
| 3.2 | MatLab көмегімен орбиталық параметрлерін есептеу және жергілікті координаталарды анықтау              | 50 |
|     | Қорытынды                                                                                             | 54 |
|     | Пайдаланылған әдебиеттер тізімі                                                                       | 55 |
|     | Қосымша А                                                                                             |    |

## КІРІСПЕ

Цифрлық технологиялардың қарқынды дамуы және ақпараттық жүйелердің жаһандық интеграциясы жағдайында спутниктік навигация қазіргі қоғам инфрақұрылымының ажырамас бөлігіне айналады. Спутниктік навигациялық жүйелер нақты уақыт режимінде координаттарды, жылдамдықты және уақытты дәл анықтауды қамтамасыз етеді, бұл оларды көлік логистикасы мен геодезиядан бастап ауыл шаруашылығына, телекоммуникацияға, қорғанысқа және құтқару жұмыстарына дейін қолданудың кең ауқымында қажет етеді.

Қазіргі әлемде спутниктік навигациялық жүйелер дәл орналасуды, навигацияны және уақытты синхрондауды қамтамасыз етуде шешуші рөл атқарады. Бүгінгі таңда GPS (АҚШ), ГЛОНАСС (Ресей), Галилео (Еуропалық Одақ) және Бейду (Қытай) сияқты бірнеше жаһандық навигациялық спутниктік жүйелер (ЖНСЖ) жұмыс істейді. Олардың әрқайсысы ғарыштық, жер үсті және пайдаланушы сегменттерінің күрделі кешені болып табылады, олардың өзара әрекеттесуі планетаның кез келген жерінде жоғары дәлдіктегі навигацияны қамтамасыз етеді.

Бұл зерттеудің өзектілігі әртүрлі салалардағы навигациялық шешімдердің дәлдігіне, сенімділігіне және тұрақтылығына қойылатын талаптардың артуына, сондай-ақ оларды пайдаланудың тиімділігі мен қауіпсіздігін арттыру үшін әртүрлі жүйелерді біріктіру қажеттілігіне байланысты. Қазіргі ғылыми және инженерлік міндеттер ЖНСЖ жұмыс істеу принциптерін, архитектураның ерекшеліктерін, сигналдарды өңдеу алгоритмдерін және координаталық анықтамалардың дәлдігін арттыру әдістерін терең түсінуді талап етеді.

Осы жұмыстың мақсаты қолданыстағы спутниктік навигациялық жүйелерді кешенді зерттеу, олардың техникалық сипаттамаларын, жұмыс істеу принциптерін және одан әрі даму бағыттарын талдау болып табылады. Жұмыста ЖНСЖ негізгі компоненттері, орбиталық топтарды құру ерекшеліктері, навигациялық сигналдардың түрлері, сондай-ақ әртүрлі салаларда навигациялық жүйелерді қолданудың практикалық аспектілері қарастырылады.



# **1 Навигациялық жүйелердің спутниктері және олардың құрылымы**

## **1.1 Навигациялық спутниктер туралы жалпы түсінік**

Навигациялық спутниктік жүйесі – бұл автономды геопозицияны қамтамасыз ету үшін спутниктерді қолданатын жүйе. Спутниктік навигация құрылғылары көру сызығы бойымен спутниктерден радио арқылы берілетін уақытша сигналдарды қолдана отырып, олардың орналасқан жерін (бойлық, ендік және биіктік) жоғары дәлдікпен (бірнеше сантиметрден метрге дейінгі дәлдікпен) анықтайды. Жүйені орналасқан жерді анықтау, навигация немесе қабылдағышпен жабдықталған объектінің орналасқан жерін бақылау үшін пайдалануға болады (спутниктік бақылау). Сигналдар сонымен қатар электронды қабылдағышқа ағымдағы Жергілікті уақытты жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді, бұл уақытты синхрондауға мүмкіндік береді. Спутниктік навигация жүйелері телефон байланысына немесе интернетке тәуелсіз жұмыс істейді, дегенмен бұл технологиялар пайда болатын орналасу ақпаратының пайдалылығын арттыра алады.

Бірінші спутниктік навигациялық жүйе 1960 жылдары АҚШ әскери күштері орналастырған транзиттік жүйе болды. Транзиттік жүйенің жұмысы Доплер эффектісіне негізделген: спутниктер белгілі траекториялар бойынша қозғалады және сигналдарын белгілі радиожіілкте жібереді. Қабылданған жиілік спутниктің қабылдағышқа қатысты қозғалуына байланысты хабар тарату жиілігінен сәл өзгеше болады. Осы жиіліктің ауысуын қысқа уақыт ішінде бақылай отырып, қабылдағыш өзінің орналасқан жерін спутниктің бір немесе басқа жағында анықтай алады және спутниктің орбитасы туралы нақты біліммен біріктірілген бірнеше осындай өлшемдер белгілі бір орынды түсіре алады. Спутниктің орбиталық орнын анықтаудағы қателіктер радиотолқындардың сынуынан, гравитациялық өрістің өзгеруінен (жердің гравитациялық өрісі гетерогенді болғандықтан) және басқа құбылыстардан туындайды[1].

Жалпы навигация объектінің орналасқан жері мен бағытын анықтау процесі, сонымен қатар түпкілікті мақсатқа жету үшін оның бағытын жоспарлау және басқару. Навигация адамдарды жылжыту үшін де, автомобильдер, кемелер, ұшақтар, ғарыш аппараттары сияқты әртүрлі көліктерді жылжыту үшін де, тіпті бейне ойындар немесе роботтар сияқты виртуалды нысандар кеңістігінде қозғалу үшін де пайдаланылуы мүмкін. Бір немесе бірнеше радионавигациялық құралдардан таратылған сигналдар адамның (бұдан әрі қолданушы деп аталады) өз орнын есептеп анықтауына мүмкіндік береді. Кейбір радионавигациялық құралдар жылдамдықты анықтау және уақытты беру функцияларын да орындай алады. Мұнда ескеретін жайт – дәл осы қолданушының радионавигациялық қабылдағышы сигналдарды өңдеп, нақты орналасқан жерін анықтайды. Қабылдағыш навигация үшін қажетті есептеулерді (мысалы, қашықтық, бағыт және межелі орынға жету уақыты) орындайды. Кейбір жағдайларда қабылдағыш алынған сигналдарды толық өңдемей, тек ішінара өңдеп, негізгі навигациялық есептеулер басқа бір жерде орындалуы мүмкін. Радионавигациялық

құралдардың әртүрлі түрлері болады және бұл мәтінде олар жерүсті және ғарыштық болып екіге бөлінеді. Көп жағдайда жерүсті радионавигациялық құралдардың дәлдігі олардың жұмыс жиілігіне байланысты. Жоғары дәлдіктегі жүйелер, әдетте, қысқа толқында жұмыс істейді және қолданушы құрал көру шегінде (LOS) болуы тиіс. Ал төмен жиілікте (ұзын толқында) жұмыс істейтін жүйелер көру шегімен шектелмейді, бірақ олардың дәлдігі төмен болады. Ерте ғарыштық жүйелер (атап айтқанда, АҚШ Әскери-теңіз күштерінің Transit деп аталатын навигациялық спутниктік жүйесі және Ресейдің Цикада жүйесі) жоғары дәлдікпен екі өлшемде позицияны анықтау қызметін ұсынған. Алайда, позицияны анықтау жиілігі қолданушының географиялық ендігіне байланысты болады [2].

Жаһандық навигациялық спутниктік жүйе (ЖНСЖ) - жердегі орынды, навигацияны және уақытты анықтау үшін қолданылатын сигналдарды жіберетін спутниктік жүйе. ЖНСЖ GPS қабылдағыштары сияқты құрылғыларға Жер шарының кез келген жерінде олардың нақты орнын (ендік, бойлық және биіктік) анықтауға мүмкіндік береді. Бұл жүйелер көлік, картография, геодезия, әскери операциялар және смартфондар сияқты күнделікті құрылғыларды қоса алғанда, әртүрлі қолданбалар үшін қажет. ЖНСЖ осындай түрлерде жіктеледі:

ЖНСЖ-1 – бұл алғашқы буын жүйесі және ол қолданыстағы спутниктік навигациялық жүйелердің (GPS және GLONASS) комбинациясы болып табылады, сондай-ақ спутниктік негіздегі дәлдікті арттыру жүйелері (SBAS) немесе жерге негізделген дәлдікті арттыру жүйелері (GBAS) қосылған. АҚШ-та спутниктік негізделген компонент - бұл Wide Area Augmentation System (WAAS); Еуропада - European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS); Жапонияда - Multi-Functional Satellite Augmentation System (MSAS); Үндістанда - GPS-aided GEO augmented navigation (GAGAN). Жерге негізделген дәлдікті арттыру жүйесі ретінде Local Area Augmentation System (LAAS) сияқты жүйелер қолданылады.

ЖНСЖ-2 – бұл толықтай азаматтық спутниктік навигациялық жүйені өздігінен қамтамасыз ететін екінші буын жүйелері, мысалы, Еуропаның Galileo позициялау жүйесі. Бұл жүйелер азаматтық навигация үшін қажетті дәлдік пен интегритетті бақылауды қамтамасыз етеді; соның ішінде әуе кемелері үшін. Алғашқыда бұл жүйе тек жоғары жиілікті L диапазонының жиілік жиынтығын қамтыды (GPS үшін L1, Galileo үшін E1 және GLONASS үшін G1). Соңғы жылдары ЖНСЖ жүйелері төменгі L диапазонының жиілік жиынтықтарын (GPS үшін L2 және L5, Galileo үшін E5a және E5b, GLONASS үшін G3) азаматтық қолдануға қосуға кірісті; олар жоғары жинақталған дәлдікке ие және сигналдың шағылысуымен байланысты кемшіліктер азайды. 2018 жылдың соңында кейбір тұтынушылық ЖНСЖ құрылғылары сатылымға шығып, олар екі жиілікті пайдалануды қолдайды. Бұл құрылғылар әдетте "Dual band GNSS" немесе "Dual band GPS" деп аталады [3].

Жаһандық навигациялық спутниктік жүйелер (ЖНСЖ) – бұл жер бетінде орналасқан пайдаланушыларға нақты орын мен уақыт жөнінде ақпарат беретін жерсерікке негізделген навигациялық жүйелер. Ең танымал жүйе – АҚШ-тың

GPS (Жаһандық позициялау жүйесі), алайда басқа мемлекеттер де өздерінің ұқсас жүйелерін әзірлеп жатыр немесе оларды пайдалануға енгізу үдерісінде. Оларға Ресейдің GLONASS, Еуропалық Одақтың Galileo және Қытайдың BeiDou жүйелері жатады. GPS жүйесін дамыту 1970-жылдары басталды, бұл жоба АҚШ Қорғаныс министрлігінің әскери мақсаттағы навигациялық жүйе ретінде құрылған болатын. Алғашқы GPS спутнигі 1978 жылы ұшырылды, ал жүйенің толыққанды жұмыс істеуі 1995 жылы 24 спутниктің орбитада болуы арқылы жүзеге асты. Бастапқыда GPS тек әскери қолдануға арналды, бірақ 1980-жылдары АҚШ үкіметі жүйені азаматтық мақсатта да пайдалануға рұқсат берді, кейбір шектеулермен. 2000 жылы Клинтон әкімшілігі әскери сигналдың әдейі бұрмалануын тоқтататынын жариялап, осылайша жүйенің азаматтық дәлдігін айтарлықтай арттырды. Ресейлік GLONASS жүйесі GPS-тің баламасы ретінде 1976 жылы ұсынылып, 1993 жылдан бастап жұмыс істей бастады. Алайда бұл жүйе қаржыландыру мен техникалық қиындықтарға байланысты ұзақ уақыт бойы толық қуатында жұмыс істей алмады. 2000-жылдардың басында жүйеде тек бірнеше ғана спутник белсенді болған. Кейін Ресей үкіметі бұл жүйеге қайта инвестиция құйып, қазіргі уақытта GLONASS GPS-пен салыстырмалы деңгейде, толыққанды жұмыс істеп тұр. Galileo жүйесін Еуропалық Одақ 2000-жылдардың басында ұсынған болатын. Мақсат – Еуропа елдері үшін тәуелсіз басқарылатын навигациялық жүйе құру. Алғашқы Galileo спутнигі 2011 жылы ұшырылып, 2016 жылы жүйе жартылай жұмыс істей бастады. Толыққанды қызмет көрсету 2020 жылы іске қосылды [4].

Қытайдың BeiDou жүйесі 1990-жылдары қолға алынып, алғашқы спутник 2000 жылы ғарышқа жіберілді. Бірінші буын – BeiDou-1 шектеулі қамту аймағына ие болып, негізінен Қытай аумағында қолданылды. Келесі кезең – BeiDou-2 немесе Compass деп аталды және 2011 жылы аяқталып, аймақтық навигацияны қамтамасыз етті. Қазіргі кезеңдегі BeiDou-3 жүйесі 2020 жылға қарай жаһандық деңгейде қызмет көрсете бастады. Жалпы алғанда, ЖНСЖ технологиясының дамуы спутниктік навигацияның дәлдігі мен мүмкіндіктерін едәуір арттырды. Қазіргі таңда мұндай жүйелер көлік, геодезия, ауыл шаруашылығы және басқа да көптеген салаларда таптырмас құралға айналып отыр.

Бүгінде әлемде әртүрлі сипаттамалары мен мүмкіндіктері бар бірнеше навигациялық жүйе қолданылады. Төменде ЖНСЖ пен басқа жүйелердің салыстырмалы талдауы келтірілген:

1. GPS (Жаһандық позициялау жүйесі): GPS – АҚШ үкіметі басқаратын ЖНСЖ түрі. Ол Жер орбитасында айналатын 31 спутниктен тұратын жүйе арқылы бүкіл әлем бойынша пайдаланушыларға нақты орын жайлы ақпарат ұсынады. Басқа навигациялық жүйелермен салыстырғанда, GPS – ең кең қамту аймағына ие және әлемде ең жиі қолданылатын жүйе болып саналады.

2. GLONASS (Ғаламдық навигациялық спутниктік жүйе): GLONASS — Ресей үкіметі басқаратын ЖНСЖ түрі. Бұл жүйе 24 спутниктен тұрады және Ресейде және әлемнің басқа да аймақтарында нақты орналасу туралы мәлімет

береді. GLONASS-тың қамту аймағы сәл кіші болғанымен, дәлдігі ұқсас деңгейде.

3. BeiDou (Compass): BeiDou – Қытай үкіметі басқаратын ЖНСЖ түрі. Жер орбитасында айналатын 35 спутниктен тұрады және Қытайда, сондай-ақ Азия-Тынық мұхиты аймағында нақты координаттармен қамтамасыз етеді. GPS пен GLONASS-пен салыстырғанда, BeiDou-дың қамту аймағы алғашында тарлау болды, бірақ қазіргі уақытта жаһандық деңгейге кеңейіп келеді.

4. Galileo: Galileo – Еуропалық Одақ тарапынан басқаратын ЖНСЖ жүйесі. Бұл жүйе 30 спутниктен тұрады және Еуропада және басқа аймақтарда нақты навигациялық ақпарат береді. GPS, GLONASS және BeiDou жүйелерімен салыстырғанда, Galileo әлі толық енгізіліп бітпеген және кейбір бөліктері ғана жұмыс істеп тұр.

Қазіргі заманғы технологиялар дамыған сайын навигациялық спутниктер адам өмірінің көптеген салаларында маңызды рөл атқара бастады. Олар тек әскери немесе арнайы қызметтерге ғана емес, сонымен қатар қарапайым азаматтар мен түрлі салаларға – көлік, ауыл шаруашылығы, геодезия, авиация және теңіз навигациясы сияқты бағыттарға да қолданылады. Навигациялық спутниктердің басты мақсаты – пайдаланушыға нақты уақыт пен кеңістіктегі орнын дәл көрсету. Бұл қызмет жер шарының кез келген нүктесінде қолжетімді болуы үшін спутниктер Жер орбитасына арнайы траекториялармен орналастырылады. Спутниктерден алынатын сигналдар арқылы әртүрлі құрылғылар өзінің координаттарын нақты анықтап, тиімді жұмыс істеуге мүмкіндік алады. Бүгінгі таңда әлемде бірнеше ірі жаһандық навигациялық жүйелер жұмыс істейді: АҚШ-тың GPS, Ресейдің GLONASS, Қытайдың BeiDou және Еуропалық Одақтың Galileo жүйелері. Олардың әрқайсысы түрлі техникалық мүмкіндіктерімен ерекшеленеді, алайда ортақ мақсат – жоғары дәлдіктегі, сенімді және үздіксіз навигациялық қызмет көрсету [5].

## **1.2 Спутниктердің жұмыс істеу принциптері мен радиосигналдарды тарату әдістері**

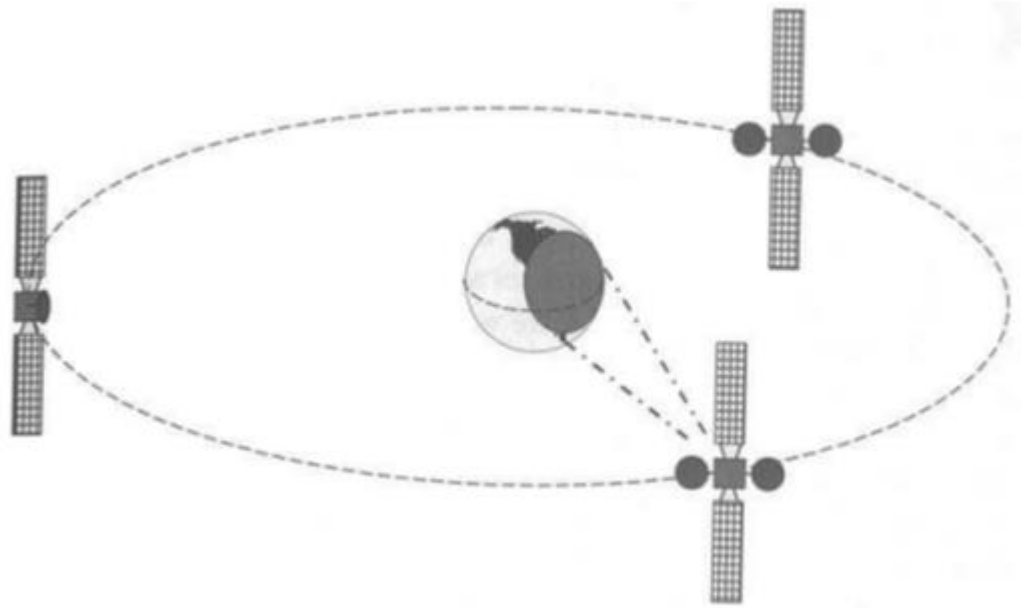
Спутниктер – орбиталық механика мен радиоэлектроника заңдылықтарына негізделі отырып жұмыс істейтін күрделі техникалық құрылғылар. Олар арнайы зымыран – тасығыштар арқылы ғарышқа ұшырылып, белгіленген биіктік пен жылдамдыққа байланысты Жерді айналып өтетін орбитаға шығарылады. Спутниктің орбитадағы қозғалысы бастапқы жылдамдығы мен ұшырылған биіктігіне тәуелді. Орбитаға жеткен соң, серік өз қозғалысын инерция мен Жердің гравитациялық тартылысының әсерінен жалғастырады. Бұл тартылыс күші спутниктің түзу сызықты қозғалысын шеңберлі жолға бағыттайтын центрге тартқыш үдеуді тудырады.

Спутниктер өздеріне жүктелген міндеттерді атқару үшін әртүрлі техникалық жүйелермен жабдықталады. Негізгі жүйелер құрамына мыналар кіреді:

- энергиямен қамтамасыз ету жүйесі;
- бағытты анықтау және тұрақтандыру жүйесі;
- байланыс жүйесі;
- ғылыми аспаптар кешені;
- басқару жүйесі.

Энергетикалық жүйе күн батареялары мен аккумуляторлардан тұрады. Бұл элементтер спутниктің үздіксіз жұмысын қамтамасыз ету үшін қажетті электр қуатын өндіреді және сақтайды. Бағытты тұрақтандыру жүйесі гироскоптар мен шағын реактивті қозғалтқыштар арқылы спутниктің Жер мен Күнге қатысты дұрыс бағытта тұруын қамтамасыз етеді. Спутниктерді басқару арнайы жердегі басқару станцияларынан жіберілетін командалар арқылы жүзеге асады. Бұл командалар спутниктің орбитасын түзетуге, ғылыми құралдарды баптауға және мәліметтерді жинауға мүмкіндік береді. Соңғы жылдары ультрақысқа толқын (УКТ) диапазонында жұмыс істейтін әуесқой спутниктер де кеңінен дамып келеді. Мұндай шағын көлемдегі жасанды серіктер әуесқой байланыс операторлары мен түрлі білім беру, ғылыми мекемелердің бастамасымен жасалып, ғарышқа ұшырылады. Олар радиобайланысқа арналған арнайы жиіліктерде жұмыс істеп, радиоұнатушыларға тәжірибе жүргізуге, байланыс орнатуға және деректер алмасуға мүмкіндік береді [6].

Байланыс спутнигі – бұл микротолқынды сигналдарды қайталап жіберуге арналған ғарыштық станция, ол арнайы жер станциялары бар екі немесе одан да көп пайдаланушыларға әртүрлі пішіндегі ақпаратты жеткізуге немесе алмасуға мүмкіндік береді. Геостационарлық Жер орбитасында (ГЕО) орналасқан спутник Жердің экватор жазықтығында 24 сағат ішінде толық айналым жасап, Жердің өз осіндегі айналуымен дәл сәйкес қозғалады. 24 сағаттық айналу кезеңі бар тағы екі орбита түрі бар: геосинхронды орбита және жоғары эллипстік синхронды орбита. Бұл орбиталарда қозғалатын спутниктер Жердегі бекітілген бір нүктеге қатысты қозғалып тұрғандай көрінеді. Белгілі болғандай, геостационарлық орбитада бір-бірінен 120 градус бойлыққа бөлінген үш спутниктен тұратын жүйе. Жердің адам мекендейтін аумақтарының көп бөлігін қамтып, радиосигналдарды қабылдап-беруге мүмкіндік береді (1.1-суретте көрсетілген). Алайда  $81^{\circ}$  солтүстік ендіктен жоғары және  $81^{\circ}$  оңтүстік ендіктен төмен орналасқан шағын аймақтар қамтылмайды.



1.1-сурет – Үш геостационарлық байланыс спутниктік жүйесі бүкіл әлем бойынша қамтуды қамтамасыз етеді.

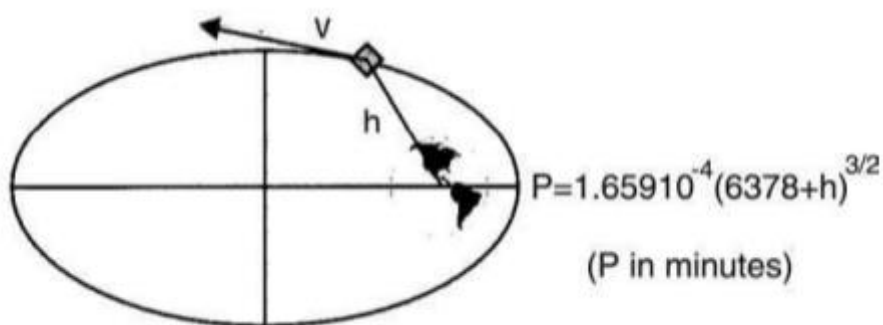
Әрбір ГЕО спутнигінің өз қамту аймағы бар, ол сопақша көлеңкелі аймақ ретінде көрсетіледі. Бұл аймақ ішіндегі жер станциялары спутникпен байланыс орнатып, деректер алмаса алады. Қолданушыдан спутникке дейінгі қашықтық шамамен 36 000 км құрайды, бұл микротолқынды байланыс арнасын жобалау кезінде жеткілікті қабылдау қуатын қамтамасыз ету тұрғысынан белгілі бір техникалық талаптар қояды. Сонымен қатар, бұл қашықтық сигналдың таралуында шамамен ширек секундтық кідіріс тудырады. ГЕО – геосинхронды (немесе синхронды) орбиталар класының ең қолайлы түрі. Бұл орбиталардың барлығы 24 сағаттық айналу мерзіміне ие, бірақ көбінесе экватор жазықтығына еңістелген немесе эллипстік пішінде болады. Жерден қарағанда, мұндай еңіс орбитадағы спутник тәулігі бойы аспандағы қалыпты орнынан жоғары-төмен жылжып тұрғандай әсер береді [7].

ГЕО шеңберлі орбитасы идеалды нұсқа болғанымен, ол толығымен тұрақты емес. Уақыт өте келе орбитаның еңісі ұлғая бастайды. Бұл еңістікті басқару үшін спутниктің бортындағы қозғалтқыш жүйесі пайдаланылады, ол спутниктің бүкіл жұмыс мерзіміне жеткілікті отын қорымен жабдықталады. ГЕО емес синхронды спутниктерге қосымша отын мөлшері әлдеқайда аз қажет болады. Коммерциялық қызмет үшін орбита еңістігі 0.1 градустан асатын жағдай әдетте қолайсыз болып саналады, тек жер станциялары спутник орнын автоматты түрде бақылап отыра алса ғана пайдаланылады. Мұндай жағдайда ең тиімді әдіс – механикалық қадағалау, дегенмен бұл күрделі әрі ауқымды шешім. Арнайы мақсаттарға, мысалы, әуе мобильді байланысында қолдану үшін электрондық сәулені бағыттау жүйелері де бар.



Спутниктер әртүрлі байланыс салаларында кеңінен қолданылады, себебі олардың тиімділігі нақты физикалық артықшылықтарға негізделген. Бұл артықшылықтардың ішіндегі ең маңыздысы – спутниктің бір уақытта Жердің үлкен географиялық аумағын “көру” қабілеті. Сонымен қатар, спутниктер микротолқынды радиосигналдарды пайдаланады, бұл оларға сымсыз байланыс арқылы еркіндік пен қозғалғыштық береді. Кейбір артықшылықтар өзара тығыз байланысты болса, басқалары технология мен қолдану салалары дамыған сайын маңызға ие бола бастайды.

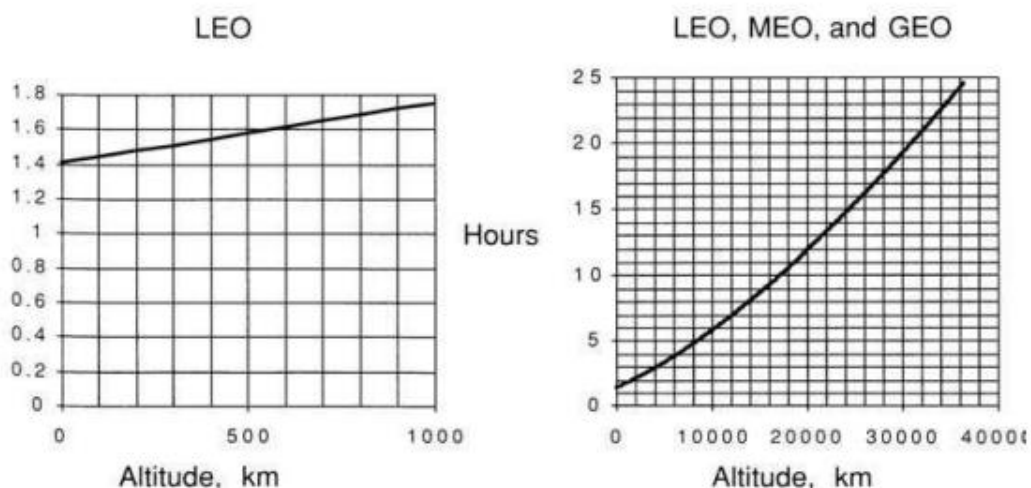
Бұл артықшылықтардың негізгі мәні – байланыс қызметін немесе жүйесін дамытушы өзінің мүмкіндіктерін дұрыс пайдалана алса, спутниктік байланыс қуатты құралға айналуы мүмкін. Мысалы, тікелей спутник арқылы абоненттерге телехабар тарататын спутниктік теледидар желілері, жерүсті деректер желісі нашар немесе бытыраңқы аймақтарда VSAT жүйелерін пайдаланатын ұлттық сауда желілері, және кемелер мен жағалау арасындағы сенімді байланысты қажет ететін мұхит кемелері – бәрі спутникті негізгі құрал ретінде қолданады [8].



1.2-сурет – Кеплердің планеталар қозғалысы туралы заңдарының иллюстрациясы.

Жер орбитасындағы спутниктің қозғалысы Кеплердің планеталардың қозғалыс заңдарына бағынады, бұл заңдарды жасанды жерсеріктерге қатысты келесідей тұжырымдауға болады:

1. Әрбір спутниктің орбитасы – эллипс, оның бір фокусында Жер орналасқан.
2. Спутник пен Жердің орталығын қосатын түзу сызық бірдей уақыт аралығында бірдей ауадан сыпырып өтеді. Бұл ауадан – орбитаның доға бөлігімен және Жер орталығынан жүргізілген екі түзу сызықпен шектелген.
3. Спутниктің периодының квадраты Оның Жердің центрінен орташа қашықтығының кубына пропорционал.

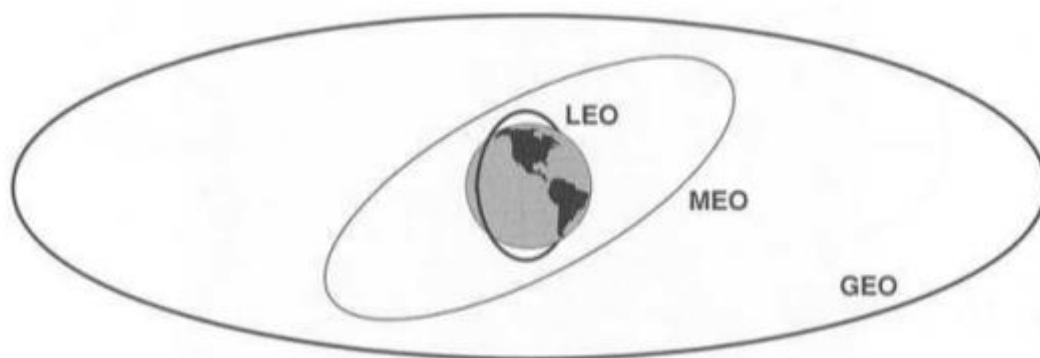


1.3-сурет – Кеплердің үшінші заңына негізделген биіктікке қарсы орбиталық период (сағатпен).

1.3-суретте Жер орбитасының үш классикалық сызбасы және олардың негізгі сипаттамалары көрсетілген. LEO жүйелері спутниктерді 500–1000 км биіктікте орналастырады. Осы диапазонда орбиталық айналу уақыты 1.6–1.8 сағатты құрайды, мұндағы биік орбита – сәл ұзактау айналу кезеңін білдіреді. Орбита уақытының бұл аз ғана өзгерісі жер бетінен өлшенетін биіктікке емес, Жердің орталығынан есептелетін қашықтыққа тәуелді екендігімен түсіндіріледі. Орташа биіктіктегі орбиталардың (MEO) биіктігі шамамен 10 000 км және бұл шамамен 6 сағаттық орбиталық кезеңге сәйкес келеді. 2000–8000 км аралығында Ван Аллен радиациялық белдеуі орналасқан, бұл аймақ электрондық құрылғылар үшін қолайсыз орта болып есептеледі.

LEO спутниктерінің басты артықшылығы – радиосигналдың жүріп өтетін қашықтығы аз, бұл қуат тұтынуын азайтып, таралым кідірісін қысқартады. Бір «жоғары-төмен» секіріс (hop) үшін кідірістің ауқымы 1.3-суреттің оң жақ жоғарғы бөлігінде көрсетілген. LEO спутниктерінің орбиталық кезеңі қысқа болғандықтан, белгілі бір пайдаланушыны қамту уақыты да қысқа болады. 8000–10 000 км биіктікте орналасқан MEO спутниктері ұзактау орбиталық кезеңге ие және сондықтан Жер бетіндегі бір аймақты бірнеше сағат бойы қамтып тұра алады. Жіберу қашықтығы мен таралым кідірісі LEO-ға қарағанда үлкен, бірақ GEO-мен салыстырғанда едәуір аз.

GEO жағдайында 24 сағаттық орбита кезеңі бар екі орбита класы бар. Геосинхронды орбита экватор жазықтығына қатысты эллипстік немесе көлбеу болуы мүмкін (немесе екеуі де қатар). Ерекше жағдай – экватор бойындағы 24 сағаттық шеңберлі орбита, бұл жағдайда спутник Жер бетіндегі белгілі бір нүктенің үстінде тұрақты орналасқандай көрінеді (спутник орбитада экватор бойында, белгілі бір бойлықта ұсталады). Мұндай орбита GEO деп аталады.



1.4-сурет – Байланыс спутниктері үшін ең көп қолданылатын үш орбита — LEO, MEO және GEO.

Олардың биіктік диапазоны келесідей: LEO үшін 500 км-ден 1000 км-ге дейін, MEO үшін 5000 км-ден 12 000 км-ге дейін, ал GEO үшін 36 000 км. Бұл жерде әр биіктікке бір ғана орбита көрсетілгенімен, LEO және MEO спутниктері үздіксіз қызмет көрсету үшін бірнеше орбитаны қажет етеді.

Экваторға қатысты көлбеу 24 сағаттық шеңберлі геосинхронды орбита GEO болып саналмайды, себебі бұл жағдайда спутник Жер бетіндегі тұрақты нүктеге қатысты қозғалып тұрғандай көрінеді. GEO спутнигі үшін жердегі антенналар спутникті қадағалауды қажет етпейді, ал көлбеу геосинхронды орбитадағы спутник үшін мұндай қадағалау жүйесі қажет болуы мүмкін. Уақыт өте келе басқа да GEO емес орбиталар қолданылған, мысалы, жоғары эллипстік Жер орбитасы (HEO) – бұл негізінен солтүстік ендіктерді қамту мақсатында пайдаланылған.

Спутниктер радиотолқындар арқылы байланыс орнатады. Жердегі станциядан жіберілген сигнал (uplink) спутникке жетіп, ол өңделіп немесе күшейтіліп, Жерге қайта (downlink) жіберіледі. Бұл процесте спутник транспондер деп аталатын құрылғыларды пайдаланады.

Қолданылатын жиіліктер:

- а) С-диапазоны (3.5–6.5 ГГц)
- б) Ku-диапазоны (10.5–14.5 ГГц)
- с) Ka-диапазоны (20–30 ГГц)

Сигналдың таралуында кідіріс болады (әсіресе GEO спутниктерінде), бірақ ол дұрыс жобаланған жүйелер үшін елеулі мәселе болып табылмайды.

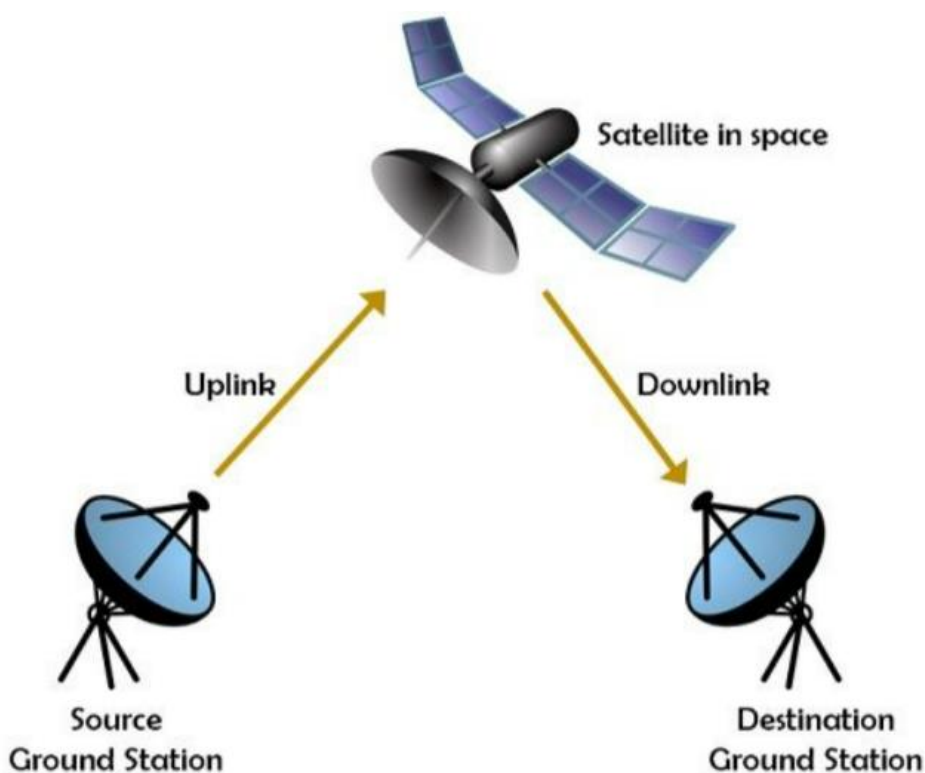
Спутниктердің барлық жүйелері электр қуатын қажет етеді. Бұл қажеттілік негізінен күн батареялары арқылы қамтамасыз етіледі. Спутник Күн сәулесін жинап, күн панельдері арқылы оны электр энергиясына айналдырады. Түнгі немесе көлеңкелі кезеңдерде аккумуляторлар қолданылады. Спутниктер – қазіргі заманғы технологиялық жүйелердің ажырамас бөлігі. Олардың жұмыс істеу принциптері орбиталық механика, радиотехника, энергиямен қамтамасыз ету және басқару жүйелерінің өзара үйлесімділігіне негізделген. Ғарыштық аппараттардың дамуы – байланыс, навигация, зерттеу және қауіпсіздік

салаларында жаңа мүмкіндіктер ашып, адамзат өркениетінің ілгерілеуіне зор үлес қосуда [9].

Біз спутниктік байланыстың негізгі жұмыс принциптерін білеміз: Жер бетінде орналасқан жер станциясынан спутникке сигнал жіберіледі. Кейін бұл сигнал спутник арқылы әртүрлі мақсаттарға байланысты Жердің әр аймағында орналасқан басқа жер станцияларына қайта беріледі. Осылайша, uplink деп жер станциясынан спутникке қарай радиотолқын жіберу процесі аталады, ал downlink – спутниктен жер станциясына қарай сигнал тарату процесін білдіреді.

Жер станциясынан спутникке жіберілетін сигнал жиілігі uplink жиілігі, ал спутниктен жерге қарай таратылатын сигнал жиілігі downlink жиілігі деп аталады. Спутниктік байланыста жиілік таңдау – өте маңызды фактор. Бұл жерде ерекше атап өтерлік жайт – uplink жиілігі әрқашан downlink жиілігінен жоғары болуы тиіс.

Спутниктер арқылы радиосигналдарды жеткізу қазіргі заманғы телекоммуникация жүйесінің маңызды бөлігі болып табылады. Радиосигналдарды беру процесі арнайы тарату әдістері мен техникалық шешімдерге негізделеді. Бұл әдістер сигналдың сапалы әрі тиімді түрде Жер мен спутник арасында алмасуын қамтамасыз етеді.



1.5-сурет – Спутниктік радиобайланысты беру тәсілдері.

Uplink – бұл жердегі станциядан (Жер бетіндегі) ғарыштағы спутникке деректерді жіберу процесі. Бұл процесс – спутникке командалар, сигналдар немесе деректер жіберу үшін өте маңызды, мейлі ол байланыс, спутникті басқару немесе ақпаратты сұрау мақсатында болсын. Uplink сигналдары, әдетте, төмен

қарай бағытталған сигналдармен (downlink) кедергі болмауы үшін жоғары жиіліктерде жіберіледі.

Uplink қалай жұмыс істейді: Жердегі үлкен антенналармен жабдықталған станция сигнал жасайды, ол кейін спутникке бағытталап жіберіледі. Спутник бұл сигналды өзінің борттағы транспондерлері арқылы қабылдап, деректерді өңдейді немесе декодтайды. Бұл сигнал байланысқа арналған ақпарат, хабар тарату деректері немесе бақылау спутниктері үшін ғылыми мәлімет болуы мүмкін. Uplink үшін қолданылатын жиіліктер: Uplink сигналдары көбінесе жоғары жиілікті диапазондарда таратылады, мысалы:

- a) Ka-диапазоны (26.5 – 40 ГГц);
- b) Ku-диапазоны (12 – 18 ГГц);
- c) C-диапазоны (4 – 8 ГГц).

Жоғары жиіліктер көбірек деректерді жіберуге мүмкіндік береді және спутниктен Жерге келетін сигналдарға (downlink) кедергі келтірмейді.

Downlink термині спутниктің ғарыштан Жерге қарай деректерді жіберу процесін білдіреді. Бұл деректер – хабар тарату сигналдары, интернет мәліметтері, спутниктік суреттер немесе ғылыми өлшемдер болуы мүмкін. Downlink – ақпаратты пайдаланушыларға жеткізудегі маңызды кезең, мейлі ол байланыс, навигация немесе зерттеу мақсатында қолданылсын.

Downlink қалай жұмыс істейді: спутник деректерді қабылдағаннан кейін, оларды өңдейді немесе жинайды (егер бұл бақылау спутнигі болса) және жоғары қуатты таратқыштар арқылы Жерге қайта жібереді. Жердегі станциялар параболалық антенналармен жабдықталған және бұл сигналдарды қабылдап, оларды интернет байланысы, телехабар немесе ғылыми деректер сияқты қолдануға ыңғайлы пішінге айналдырады. Downlink үшін қолданылатын жиіліктер: Downlink сигналдары, әдетте, uplink сигналдарымен салыстырғанда төменгі жиіліктерде жүзеге асырылады.

Кең таралған жиілік диапазондары:

- a) X-диапазоны (8 – 12 ГГц);
- b) C-диапазоны (2– 8 ГГц);
- c) L-диапазоны (1 – 2 ГГц).

Бұл жиіліктер Жер атмосферасына оңай еніп, сигналдың қабылдануын жеңілдетеді және сапалы байланысты қамтамасыз етеді.

Uplink пен downlink неге әртүрлі жиілік диапазондарын қолданады деген сұрақ туындауы мүмкін. Бұл сұрақтың жауабы – сигналдардың кедергі келтіру ықтималдығы мен деректердің тұтастығы мәселесінде жатыр. Жиіліктерді бөлек қолдану uplink пен downlink сигналдарының бір-біріне кедергі келтіруін болдырмайды. Себебі жер станциясы сигналдарды қабылдау мен жіберу қызметтерін қатар атқарады, ал бұл жағдайда қуатты uplink сигналы әлсіз downlink сигналын «жұтып» жіберуі мүмкін.

Сонымен қатар, uplink үшін қолданылатын жоғары жиіліктер деректерді қысқа уақытта көбірек көлемде жіберуге мүмкіндік береді. Ал downlink үшін қолданылатын төменгі жиіліктер атмосфералық кедергілерге, әсіресе жауын-шашын немесе ауа райының қолайсыз жағдайларына, төзімдірек келеді. Осы

тепе-теңдік Жер мен спутниктер арасындағы тұрақты әрі сенімді байланыс арнасын қамтамасыз етеді. Uplink пен downlink механизмдері – спутниктік байланыс жүйелерінің негізгі тірегі. Олардың көмегімен жүзеге асатын ең маңызды қолдану салаларының қатарына мыналар жатады:

Телекоммуникация: спутниктер арқылы дауыс, бейне және деректер сигналдары әлемнің әр түкпіріндегі нүктелер арасында таратылады. Байланыс операторлары сигналдарды спутниктерге жіберу үшін uplink қолданады, ал спутниктер оларды әлемнің басқа аймақтарына downlink арқылы жеткізеді.

Хабар тарату: Теледидар және радио станциялары сигналдарды спутникке uplink арқылы жібереді. Бұл сигналдар кейін спутниктен жерге downlink арқылы таратылып, үйлерге, кәсіпорындарға және құрылғыларға жеткізіледі.

Спутниктік интернет: Uplink және downlink технологиялары спутниктік интернет қызметтерінің негізі болып табылады. Бұл технологиялар жер үсті инфрақұрылымы жоқ шалғай аймақтарға жоғары жылдамдықты интернетке қол жеткізуге мүмкіндік береді. Starlink және басқа да спутниктік интернет провайдерлері LEO (төмен орбиталы) спутниктер арқылы бұл қызметті жүзеге асырады.

GPS және навигация: Ғаламдық позициялау жүйесі (GPS) спутниктері жердегі GPS қабылдағыштары қабылдай алатын downlink сигналдарын жібереді. Бұл сигналдар нақты уақыттағы орналасу, бағытты анықтау және уақытты белгілеу қызметтерін ұсынады, ол жеке пайдаланудан бастап әскери қолдануға дейін кеңінен қолданылады.

Жерді қашықтықтан зондтау: Ауа райын болжау, қоршаған ортаны зерттеу және ғарыштан бақылау сияқты мақсаттарға арналған спутниктер жинаған мәліметтерін Жерге downlink арқылы жібереді. Бұл мәліметтер ауа райын бақылау, климаттың өзгеруін қадағалау және табиғи апаттарға жедел әрекет ету үшін аса маңызды.

Uplink және downlink байланыс жүйелері – спутниктік деректерді тасымалдаудың іргетасы. Телекоммуникация, хабар тарату немесе интернет қызметі болсын, осы технологиялар арқылы спутниктерге деректер жіберіліп, олардан қабылданады. Технологияның дамуына байланысты бұл жүйелердің тиімділігі мен сенімділігі артып, спутниктік қызметтер бұрынғыдан да жылдам әрі қолжетімді болуда. Спутниктердің жаһандық байланысты қамтамасыз етудегі рөлі артып келе жатқан қазіргі уақытта, uplink пен downlink жүйелерінің техникалық ерекшеліктерін түсіну – ғарыш технологияларына, телекоммуникацияға немесе интернет қызметтеріне қызығушылық танытқан кез келген адам үшін маңызды [10].

### **1.3 Спутниктердің негізгі компоненттері мен құрылымы**

Көп жағдайда спутниктік желілер негізгі жерүсті желілермен байланысады және өзара әрекеттеседі. Алғашқы коммерциялық спутниктер қызметке кіріскен кезде бұл бірігу әртүрлі елдердің шлюздері арасында телефон қоңырауларын

беру түрінде көрініс тапты. Осылайша, спутниктік дауыс желілері ішкі және халықаралық телефон жүйелерімен мүлде айқын (transparently) жұмыс істеуі тиіс болды. Сол сияқты, теледидар сигналдары кеңістіктегі қайталағыштардың қамту аймағы мен тарату мүмкіндігін пайдалану үшін жерүсті микротолқынды және талшықты жүйелер арасында беріледі.

Соңғы жылдары деректерді жерүсті және спутниктік байланыстар арқылы үздіксіз тасымалдайтын интернет қызметтері мен қосымшалар пайда болды. Алдағы жылдары спутниктер әртүрлі пайдаланушы терминалдарына біртұтас қызмет жеткізу үшін жерүсті сымсыз байланыс жүйелерімен біріктірілуі мүмкін. Бұл – кең ауқымды деректерді таратуға мүмкіндік беретін үшінші буын ұялы байланыс (3G) технологиясына көшудің заңды жалғасы. Жаңа жүйелер мобильді спутниктік байланыс (MSS) үшін қолданылатын спутниктік жиіліктердің 2G және 3G ұялы байланыс технологияларына ортақ жиілік диапазонында орналасқанын тиімді пайдаланады [11].

Спутниктік платформа – бұл спутниктің дұрыс жұмыс істеуін қамтамасыз ететін маңызды құрамдастарды біріктіретін және оның негізгі құрылымдық бөлігі болып саналатын элемент. Спутникті пайдаланатын ұйымдар өздерінің миссия талаптарына сай спутниктік платформаның құрылымын өзгерте алады немесе Boeing, Airbus сынды беделді өндірушілерден дайын платформаларды сатып ала алады. Спутниктік платформаның негізгі құрамдастарына мыналар жатады:

Энергиямен қамтамасыз ету жүйесі – спутниктің барлық функцияларын атқаруы үшін қажетті негізгі компоненттердің бірі. Көптеген спутниктердің негізгі қуат көзі – Күн панельдері, олар күн сәулесінен энергия алып, оны электр тогына айналдырады. Бұл электр энергиясы спутниктің жүйелерін қамтамасыз етуге және борттағы аккумуляторларды зарядтауға пайдаланылады. Бұл аккумуляторлар күн сәулесі болмаған жағдайда (мысалы, тұтылу кезінде) энергия көзі ретінде қолданылады. Қазіргі заманғы электрлі спутниктер иондық қозғалысты жүзеге асыру үшін электростатикалық, электромагниттік немесе электротермиялық әдістерді қолдана отырып, қозғалтқыш сұйықтықтарын (пропелленттер) үдетеді. Кейбір спутниктер ксенон газын қолданатын иондық қозғалтқыштарды пайдаланады, бұл оларға жоғары тиімділікпен қозғалуға мүмкіндік береді.

GNC жүйесі – спутниктің орбитадағы қозғалысын дәл басқаруға арналған жоғары технологиялық инженерлік сала. Бұл жүйе спутниктің өз орбитасында тұрақты болуын (station keeping) қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, GNC күн сәулесінің қысымы немесе атмосфералық кедергі сияқты факторлардың әсерін өтеу үшін бағытты дәл реттеуді де қамтиды. Бұл компонент көптеген сенсорларға, күрделі алгоритмдерге және дәл басқару механизмдеріне сүйене отырып жұмыс істейді. GNC спутниктің дәлдігі мен сенімді жұмыс істеуіне тікелей жауап береді.

Спутниктер үшін байланыс маңызды, сондықтан антенналар деректерді жіберу мен қабылдау үшін қажет. Олар арқылы спутник миссияға қатысты деректерді ғана емес, сонымен қатар GNC бұйрықтарын, энергетикалық

нұсқауларды және басқа да техникалық ақпаратты алмастырады. Антеннаның мөлшері неғұрлым үлкен болса, соғұрлым деректерді тиімді жеткізуге мүмкіндік береді. Жоғары ажыратымдылықтағы контентті Жерге жіберетін кең жолақты спутниктер ірі антенналарды пайдаланады.

Авиондық жүйелер – спутниктің электрлік жұмысын басқаратын және оның үздіксіз жұмысын қамтамасыз ететін жүйелер. Бұл жүйелер ғарыш аппаратындағы жерден тікелей басқаруға келмейтін функцияларды басқарады.

Авиондық жүйенің негізгі компоненті – борттық компьютер, ол спутниктің негізгі бағдарламалық қамтамасыз етуін басқарады. Бұл жүйе GNC алгоритмдерін орындау, сенсорлардан өлшеу нәтижелерін алу және деректерді өңдеу сияқты негізгі процестерді автоматтандырады. Автономия мен сенімділік осы жүйелердің сапасына байланысты.

Пайдалы жүктеме – спутниктің нақты миссиясын орындауға арналған арнайы жабдықтар мен құралдар жиынтығы. Жүктеменің құрамы спутниктің мақсатына қарай әртүрлі болуы мүмкін. Олар: камералар, сенсорлар, антенналар, транспондерлер және басқа да арнайы құрылғылар. Спутниктің тағы бір маңызды бөлігі – оның пайдалы жүктемесі. Бұл компонент спутниктің негізгі мақсаттарын жүзеге асыратын арнайы құралдардан тұрады. Мысалы, байланыс спутниктерінде бұл – телекоммуникациялық жабдықтар, ал ғылыми спутниктерде – камералар, спектрометрлер немесе басқа да зерттеу құралдары болуы мүмкін. Жүктеменің түрі спутниктің міндетіне қарай өзгереді. Осылайша, спутниктің барлық компоненттері бір-бірімен тығыз байланысты, және олардың үйлесімді жұмысы аппараттың тиімділігі мен ұзақмерзімділігіне әсер етеді.

Спутниктің ең басты элементі – оның құрылымдық қаңқасы. Бұл платформа спутниктің барлық техникалық жүйелерін біріктіреді және оларды сыртқы әсерлерден қорғайды. Қаңқа материалдары ғарыш жағдайына – вакуум, температураның күрт ауытқуы, микрометеориттер және радиацияға төзімді болуы қажет. Спутниктің ішкі жүйелері осы қаңқаның ішінде орналасады және бір-бірімен электрлік және бағдарламалық түрде байланысқан. Энергиямен қамтамасыз ету жүйесі спутниктің барлық электрондық құрылғыларының үздіксіз жұмыс істеуін қамтамасыз етеді. Көптеген спутниктерде энергия көзі ретінде күн батареялары пайдаланылады. Олар күн сәулесін электр энергиясына айналдырады. Электр энергиясы аккумуляторларға жиналып, спутник көлеңкелі аймаққа енгенде немесе күн сәулесі түспеген жағдайда пайдаланылады. Кейбір заманауи спутниктер иондық қозғалтқыштар немесе электрлік пропульсия жүйелерін қолдана отырып, өз орбитасын сақтау үшін қосымша энергияны қажет етеді.

Байланыс жүйесі спутниктің жердегі басқару орталықтарымен және басқа спутниктермен ақпарат алмасуын қамтамасыз етеді. Бұл жүйе радиосигналдарды қабылдау мен жіберуге арналған антенналар мен транспондерлерден тұрады. Антенналар арқылы спутник өз миссиясына байланысты ақпаратты Жерге жібереді немесе жерден командалар қабылдайды. Байланыс сапасы антеннаның түрі мен қуатына байланысты.



Авиондық жүйе спутниктің барлық ішкі процестерін басқаруға арналған. Бұл жүйе автоматты түрде жұмыс істейтін борттық компьютерді қамтиды. Ол спутниктің бағытын анықтау, орбитадағы орнын сақтау, сенсорлардан ақпарат жинау және жүйелердің дұрыс жұмыс істеуін қамтамасыз етуге арналған бағдарламаларды басқарады. Борттық компьютер автономды режимде әрекет ете алады, бұл Жермен байланыс уақытша үзілген жағдайда өте маңызды. Бағдарлау және тұрақтандыру жүйесі спутниктің орбитада дұрыс бағытта орналасуын қамтамасыз етеді. Бұл үшін гироскоптар, қозғалтқыштар және арнайы датчиктер қолданылады. Бұл жүйе күн, жұлдыздар немесе Жерге қатысты бағдарды сақтап тұруға көмектеседі. Миссияның дәл орындалуы осы жүйенің жұмысына тікелей байланысты [12].

#### **1.4 Навигациялық спутниктердің негізгі құрылымдық элементтері**

Навигациялық спутниктердің негізгі құрылымдық элементтері: антенналық жүйелер, қуат көзі (күн панельдері), борттық атом сағаттар, басқару модульдері, байланыс жүйелерін қарастыру болып табылады.

Навигациялық спутниктер – Жер бетіне дәл уақыт пен координаталық ақпаратты үздіксіз жеткізетін күрделі ғарыштық жүйелер. Олар автономды жұмыс істеу үшін бірқатар функционалдық ішкі жүйелерден тұрады. Бұл ішкі жүйелердің бірлесіп жұмыс істеуі спутниктің сенімділігі мен дәлдігіне тікелей әсер етеді.

Антенналық жүйелер Антенналар спутниктен навигациялық сигналдарды Жерге бағыттап таратады және жердегі басқару орталықтарымен екіжақты байланыс орнатады. Әдетте, спутникте:

Навигациялық антенна – сигналдың негізгі таратушысы болып табылады;

Телеметриялық және командалық антенналар – басқару станцияларымен байланыс орнатуға қолданылады. Антенналар фазалық бағытталу технологиясын қолдана отырып, сигнал сапасын арттырады.

Қуат көзі (күн панельдері) Спутник өз қуатын ғарыштағы күн панельдері арқылы алады. Бұл панельдер:

- Күн сәулесінен ток өндіреді;
- Электр энергиясын борт жүйелеріне таратады;
- Батарея арқылы энергияны түнгі режимде сақтап отырады.

Спутниктің жұмыс істеу ұзақтығы күн панельдерінің тиімділігіне байланысты.

Борттағы атом сағаттар – жүйенің уақыт дәлдігін қамтамасыз ететін негізгі элемент. GPS спутниктерінде рубидийлік және цезийлік сағаттар қолданылады. Олардың көмегімен сигналдың Жерге жету уақыты дәл өлшеніп, координат есептеледі. Әдетте, әр спутникте бірнеше атом сағат болады, оның біреуі негізгі, қалғандары резервтік. Басқару модульдері (борттық компьютерлер):

- Спутниктің ішкі жүйелерін басқарады;
- Жаңа бағдарламалық қамтамасыз етуді қабылдайды;

– Навигациялық сигналды өңдеп, таратуға дайындайды.

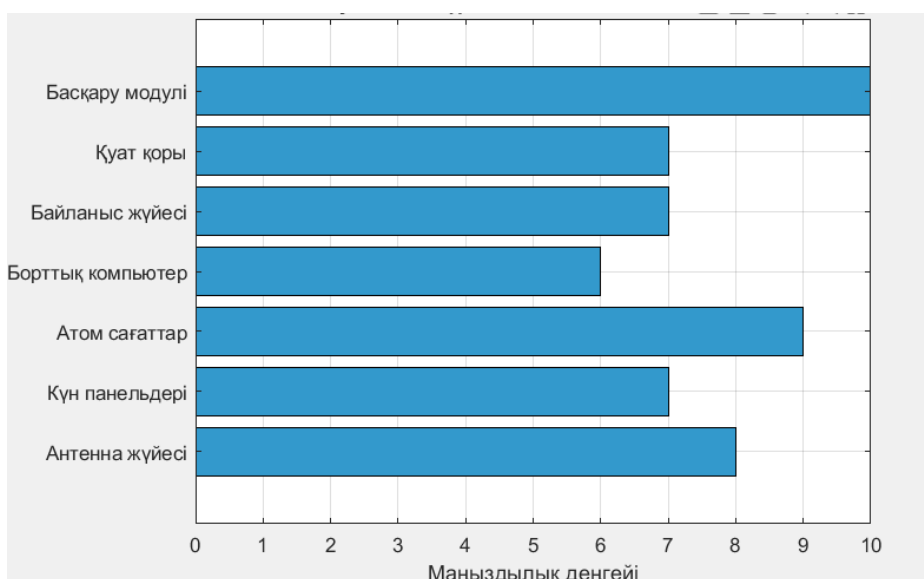
Бұл модульдер спутниктің автономды жұмыс істеуін қамтамасыз етеді және ақау кезінде өзін-өзі қалпына келтіру мүмкіндігіне ие [13].

Спутниктің байланыс жүйелері:

- Жермен телеметриялық деректер мен командалар алмасуға;
- Навигациялық деректерді (альманах, эфемерид, уақыт) жіберуге;
- Спутниктің күйін бақылауға арналған;
- Сигналдар S және X диапазонында таралады.

Кесте 1.1 – Навигациялық спутниктің құрылымдық элементтерінің маңыздылық компоненттері

| Компонент           | Сипаттамасы                                                                           |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Антенна жүйесі      | Жердегі қабылдағыштарға сигнал жіберетін және қабылдайтын құрылғы.                    |
| Күн панельдері      | Спутникті күн сәулесі арқылы қуатпен қамтамасыз ететін негізгі энергия көзі.          |
| Атом сағаттар       | Уақытты дәл анықтауға мүмкіндік беретін жоғары дәлдіктегі уақыт көзі.                 |
| Борттық компьютер   | Барлық операцияларды басқаратын және жүйелер жұмысын үйлестіретін орталық процессор.  |
| Байланыс жүйесі     | Спутник пен Жер станциясы арасында мәлімет алмасуды қамтамасыз етеді.                 |
| Қуат қоры (батарея) | Энергияны жинақтап, күн сәулесі болмаған кезде қуат көзі ретінде жұмыс істейді.       |
| Басқару модулі      | Барлық жүйелердің үйлесімді жұмысын қадағалап, негізгі басқару шешімдерін қабылдайды. |



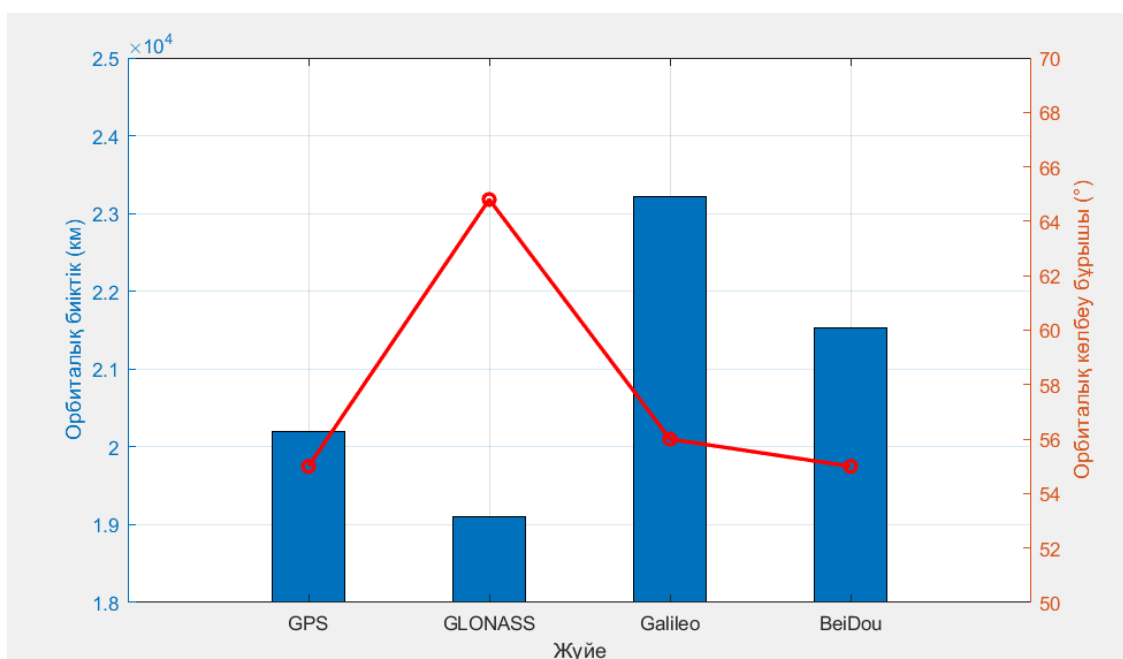
1.6-сурет – Навигациялық спутниктің құрылымдық элементтерінің маңыздылық деңгей графигі

1.6-суретте MATLAB бағдарламасында навигациялық спутниктің құрылымдық элементтерінің маңыздылығы бойынша графигі. Бұл диаграмма әрбір элементтің жүйедегі салыстырмалы рөлін көрсетуге көмектеседі.

X осі – элементтердің маңыздылық деңгейі,

Y осі – жүйе компоненттері.

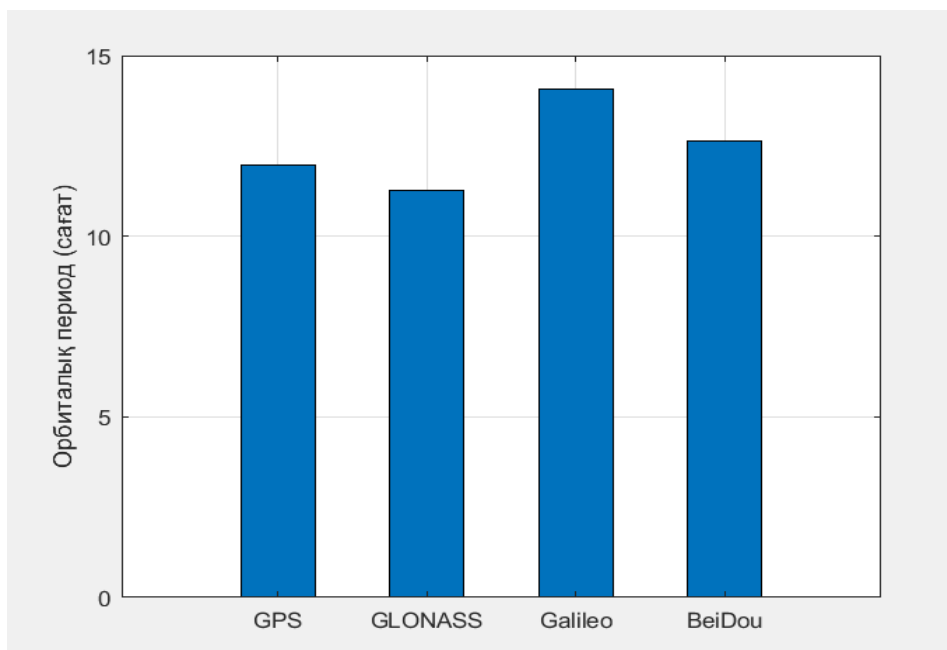
Бұл график навигациялық спутниктің негізгі құрылымдық элементтерінің жалпы жүйедегі маңыздылық деңгейін салыстырмалы түрде бейнелеу үшін құрастырылған. Ол қай компоненттің спутниктің дұрыс жұмыс істеуінде неғұрлым маңызды рөл атқаратынын визуалды түрде көрсетуге мүмкіндік береді.



1.7-сурет – Орбиталық биіктік пен көлбеу бұрыш диаграммасы

Навигациялық спутниктердің орбиталық параметрлерін MATLAB-та талдау үшін жиі қолданылатын параметрлер:

- Орбиталық биіктік (Altitude)
- Орбитаның көлбеу бұрышы (Inclination)
- Орбита типі (MEO, GEO, IGSO т.б.)
- Орбиталық период (Orbital Period)



1.8-сурет – Орбиталық период графигі

Бұл графикте әрбір жүйенің спутниктері Жерді толық айналып шығуға қанша уақыт кететінін көрсетеді:

- Galileo спутниктері – ең баяу 14.08 сағат;
- GPS спутниктері 12 сағат;
- BeiDou спутниктері 12.12 сағат;
- GLONASS – ең жылдам айналатын спутниктер 11.26 сағат.

## 2 Навигациялық жүйелердің қазіргі дамуы және қолданылуы

### 2.1 Заманауи навигациялық жүйелер және олардың түрлері

Қазіргі заманғы навигациялық жүйелер – бұл адамның кеңістікте дәл бағыт табуы мен қозғалысын бақылауға арналған жоғары технологиялық шешімдер кешені. Мұндай жүйелер ғарыштық, жерүсті және цифрлық технологиялардың үйлесімі негізінде жұмыс істейді. Олар көлік, әскери, ауыл шаруашылығы, геодезия, ғылым және күнделікті өмір салаларында кеңінен қолданылады. Навигациялық жүйелер тек координаттармен шектелмейді, сонымен қатар жылдамдық, уақыт, қозғалыс бағыты сияқты маңызды параметрлерді де анықтай алады.

Ең танымал жаһандық навигациялық спутниктік жүйелерге GPS (АҚШ), GLONASS (Ресей), Galileo (Еуропалық Одақ) және BeiDou (Қытай) жатады. Бұл жүйелердің әрқайсысы Жер орбитасында жүздеген спутниктерден тұратын өз желісіне ие және бүкіл әлем бойынша нақты уақыт режимінде ақпарат тарата алады. Мұндай жүйелер GNSS (Global Navigation Satellite System) деп аталады және пайдаланушыларға метрден бастап сантиметрге дейінгі дәлдікпен орналасқан орнын анықтауға мүмкіндік береді.

Instrument Landing System (ILS) – бұл радионавигациялық көмекші жүйе, ол UHF және VHF жиіліктерін пайдаланады және қауіпсіз қону процесін жетілдіру мақсатында әуежайларда орнатылады. Ол өте дәл және IFR жағдайларында қонуға сенімді түрде пайдаланылуы мүмкін. ILS жүйесі локалайзер таратқышынан, глиссадалық траектория таратқышынан, сыртқы маркерлерден және қонуға арналған жарықтандыру жүйесінен тұрады. Ол әуежайға көлденең және тік бағытта жоғары дәлдіктегі кіруді қамтамасыз етіп, қауіпсіз қонуды едәуір арттырады.

Локалайзер – бұл VHF жиілігінде жұмыс істейтін таратқыш және антеннамен жабдықталып, ұшаққа көлденең бағытта жол көрсетеді. Глиссадалық траектория құрылғысы тік бағытта бағыттама береді, ал маркер ұшақтың ұшу-қону жолағына дейінгі қашықтығын көрсетеді. Жарықтандыру жүйесі – ILS-тің маңызды бөлігі болып табылады және ол қону кезінде ұшқышқа визуалды көмек көрсетеді. Жарықтандыру жүйесіне: қонуға арналған жарық жүйесі (ALS), тізбекті жарқылдау жарығы (SFL), қону аймағының шамдары (TDZ) және орталық сызық шамдары жатады. Area navigation (RNAV) – бұл навигация әдісі, оған VOR/DME, LORAN, GPS және INS сияқты құрылғылар кіруі мүмкін. RNAV ұшқышқа ұшақтың орны, бағыты және жер бетіндегі жылдамдығы туралы ақпарат бере алады. Ол ұшқышқа VOR және DME сияқты жердегі навигациялық құралдардың "көріну аймағындағы" нүктелерді анықтауға және нақты RNAV маршруты бойынша ұшуға мүмкіндік береді.

LORAN – бұл 1940-жылдары су үстіндегі кең кеңістіктер мен адамдар мекендемейтін құрлықтарда бағыт табу үшін енгізілген ұзақ қашықтықтағы радионавигациялық жүйелер тобына жатады. Осы топқа жататын басқа жүйелер – Десса және Omega, алайда бұл екеуі кейіннен тоқтатылған. LORAN жоғары

дәлдіктегі бұрыш, қашықтық, нүктеге дейінгі уақыт және жер бетіндегі жылдамдықты қамтамасыз ете алады. Сондай-ақ, ол төтенше жағдайларда ең жақын әуежайларды анықтауға және тік навигацияға пайдаланылуы мүмкін. Жоғары дәлдігіне қарамастан, сыртқы кедергілер мен жер станцияларынан алшақтыққа байланысты қателіктер орын алуы мүмкін. Сонымен қатар, оның дәлдігі күн мен түн уақытында өзгеріп тұруы мүмкін. Дегенмен, ол VOR жүйелеріне қарағанда жақсы дәлдік береді.

Inertial Navigation System (INS) – бұл заманауи технология, ол қозғалысты және бұрыштық жылдамдықты өлшейтін датчиктерден тұрады және ұшақтың орнын, бағытын, уақытын және жылдамдығын анықтауға арналған. INS-тің негізгі құрамдастары – үдеуіш (акселератор) және гироскоп. INS жүйесінде қателіктер уақыт өте келе ұшақтың қозғалысына байланысты орын алады. INS бастапқы позицияны және акселератор мен гироскоп деректерін пайдалана отырып, орынды анықтайды. GPS-пен бірге қолданылғанда бұл қателіктер едәуір азаяды.

Microwave Landing System (MLS) – бұл дәл қону операцияларында ILS-ті алмастыру мақсатында 1970-жылдары енгізілген заманауи технология. Ол ILS-ке қарағанда орнату және қызмет көрсету құнының төмендігі, ауа райының әсерінен туындайтын кедергілердің аздығы сияқты бірқатар артықшылықтарға ие. Сонымен қатар, бұл жүйе ғимарат төбелеріндегі тікұшақ қону алаңдары сияқты кеңістік шектеулі жағдайларда да дәл қонуды қамтамасыз ете алады. MLS жүйесінің кеңінен таралуына ЖНСЖ негізіндегі навигацияның пайда болуы кедергі келтірді.

Тағы бір елеулі заманауи навигациялық жүйе – радарлық навигация. Бұл жүйе объектіге соқтығысып, кері шағылысатын сигнал тарату арқылы қашықтық пен бағыты анықтауға негізделген. Алайда, радар технологиясы тек оның қамту аймағындағы объектілерді анықтай алады. Авиадиспетчерлер (АТС) радарды ұшақтарды, навигациялық нысандарды және әуежай маңындағы қауіпті жер бедерін бақылау үшін пайдаланады. Егер ол бейне карталау құрылғысымен біріктірілсе, әуе жолдары мен әуежайлардың жоғары сапалы карталарын жасауға мүмкіндік береді, бұл диспетчерлерге ұшуларды бақылау мен басқаруды жақсартады. Авиадиспетчерлер пайдаланатын радар жүйелеріне: Air Route Surveillance Radar (ARSR), Airport Surveillance Radar (ASR), Precision Approach Radar (PAR) және Airport Surface Detection Equipment (ASDE) жатады. Радарлық навигацияның кемшілігі – қамту аймағынан тыс немесе таулы рельефпен көлеңкеленген ұшақтарды анықтай алмауы. Сонымен қатар, кішкентай шағылыстырғыш нысандар көзге түспей қалуы мүмкін [13].

1980-жылдардан бастап навигациялық жүйелерде елеулі өзгерістер болды. Радиотолқынға негізделген дәстүрлі жерүсті жүйелер біртіндеп спутниктік навигациямен алмастырылуда. Бұл жаңа жүйелердің артықшылықтары – қызмет көрсету құнының төмендігі, тікелей бағыттармен ұшу мүмкіндігі және мұхиттар мен таулы аймақтарда жоғары тиімділік. Спутниктік негіздегі навигацияда көш бастап тұрған жүйе – Жаһандық навигациялық спутниктік жүйе (ЖНСЖ). Бұған GPS (АҚШ), GLONASS (Ресей) және Galileo (Еуропа) жүйелері жатады.

GPS – АҚШ Қорғаныс министрлігі тарапынан 1992 жылы әзірленген жүйе және қазіргі уақытта 30 спутниктен тұратын шоғырды пайдаланады. GPS үш компоненттен тұрады: қабылдағыш, ғарыштағы спутниктер және жердегі бақылау-басқару станциялары. GPS жүйесі нақты координаттар мен уақыт мәліметтерін өте дәл ұсынуға қабілетті. Ол жаһандық қамтумен қамтамасыз етілген және бастапқыда әскери мақсатта жасалғанымен, бүгінде азаматтық авиацияда, әсіресе мұхиттар мен шалғай аудандарда навигациялау үшін кеңінен қолданылады. GPS дәстүрлі навигациялық жүйелерді WAAS (Wide Area Augmentation System) және LAAS (Local Area Augmentation System) сияқты Дифференциалды GPS жүйелері арқылы толығымен алмастыруға бағытталған. WAAS – дәстүрлі жүйелермен салыстырғанда әлдеқайда кең аумақты қамти алады, ал LAAS әуежай маңындағы ұшу-қону операцияларына арналған.

GPS-тің кеңінен таралуы мен танымалдығы – оның дәстүрлі навигациялық жүйелерге қарағанда көптеген артықшылықтарының болуымен байланысты. GPS – тікелей қысқа маршруттармен ұшу мүмкіндігін беріп, отын шығынын азайтады. Бұл жүйе ұшудың маңызды параметрлерін үнемі, сенімді және дәл бақылауға мүмкіндік береді, ал құны бұрынғы жүйелерге қарағанда әлдеқайда төмен (National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation and Timing). GPS технологиясы ұшқыштар үшін жағдай туралы бардырлықты арттыра отырып, авиациялық қауіпсіздікті жақсартты. GPS сонымен қатар Enhanced Ground Proximity Warning System (EGPWS) сияқты қауіпсіздік жүйелерінің ажырамас бөлігі болып табылады, ол жер бедерінде бағыт табуға мүмкіндік береді.

Ұшақта да, жердегі басқару станцияларында да қолданылатын навигациялық құралдардың санының көп болуы олардың жұмысын үйлестіруді талап етті. Бұл мақсатта арнайы Ұшу басқару жүйесі (FMS) жасалды. Бұл жүйе ұшақтың орналасқан жері, бағыты, қажетті курсы, жер үстіндегі жылдамдығы және белгіленген бағытқа қатысты орнын көрсетеді. FMS навигациялық жүйелерден, мысалы, VOR және DME-ден деректер қабылдайды. Сонымен қатар, ол ұшқыштарға ұшу бағытын орнатуға, отынды басқаруға және ұшақ пен жердегі навигациялық құрылғыларды бақылауға мүмкіндік береді. FMS жүйелері әуежайлар, навигациялық нүктелер, әуе жолдары және қиылысулардың деректер базасына қосылады, бұл ұшу маршрутын алдын ала немесе ұшу кезінде орнатуға жағдай жасайды.

Авиациялық инженерия мен оған байланысты технологиялардың дамуы күрделі және толығымен автоматтандырылған авиациялық жүйелердің пайда болуына себеп болды. Әуе апаттарының тірі қалу ықтималдығы төмен болғандықтан, үкіметтер мен компаниялар әрдайым мұндай жағдайларды болдырмау үшін қауіпсіздік технологияларын жетілдіруге күш салып келеді. Бұл әрекеттердің нәтижесінде соңғы жылдары әуе қауіпсіздігі айтарлықтай жақсарды. Осы жүйелердің кейбірі төменде қарастырылады [14].

Спутниктік жүйелерден бөлек, инерциялық навигациялық жүйелер (INS) де кеңінен қолданылады. Олар гироскоптар мен акселерометрлердің көмегімен жылдамдық, бағыт және қашықтық сияқты параметрлерді есептейді. Бұл

жүйелер көбінесе ЖНСЖ-мен бірге қолданылады, себебі олар қысқа уақыт ішінде өте жоғары дәлдік береді және спутниктік сигнал болмаған жағдайда да жұмыс істей алады. Сонымен қатар, радионавигациялық жүйелер – мысалы, VOR (радиомаяк) және DME (қашықтықты өлшеу жабдығы) – әлі де кейбір аймақтарда пайдаланылады, әсіресе резервтік құрал ретінде.

Цифрлық технологиялардың дамуы ұшқышсыз басқарылатын көліктер (дрондар), автономды автокөліктер мен заманауи ұшақтарда жоғары дәлдікті навигация жүйелерін енгізуге жол ашты. Мысалы, ауыл шаруашылығында дәл егін егу, тыңайтқыш себу және арамшөптерді жою үшін ЖНСЖ негізіндегі жүйелер қолданылады. Ал қалалық көлік жүйелерінде нақты уақыттағы GPS бақылауы арқылы көлік қозғалысын тиімді басқаруға мүмкіндік бар.

Қазіргі заманғы навигациялық жүйелер тек қозғалысты басқару құралы ғана емес, сонымен қатар қауіпсіздік пен тиімділіктің кепіліне айналды. Олар жер бедерін, ауа райын, кедергілерді ескеріп, бағытты автоматты түрде түзете алады. Адам факторының әсерін азайта отырып, мұндай жүйелер апаттардың алдын алуға және дәл шешім қабылдауға көмектеседі. Бүгінде навигация – бұл тек бағытты табу емес, кең көлемді деректерге сүйене отырып, қозғалысты тиімді жоспарлау мен бақылаудың интеллектуалды құралына айналып отыр. Қазіргі заманғы навигациялық жүйелер – бұл тек бағыт табудың құралы ғана емес, жоғары дәлдікті, қауіпсіздікті және тиімділікті қамтамасыз ететін көпқырлы технологиялық кешен. GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou сияқты спутниктік жүйелердің дамуы, инерциялық және радионавигациялық әдістермен үйлесуі адамзаттың кеңістікте еркін және сенімді қозғалу мүмкіндігін арттырды. Мұндай жүйелер тек авиацияда немесе көлік саласында ғана емес, ауыл шаруашылығы, ғылым, әскери, төтенше жағдайлар мен күнделікті өмірде де кеңінен қолданылуда. Жаңа технологиялар енгізілген сайын, навигациялық жүйелер одан әрі дамып, автономды басқару, жасанды интеллект және нақты уақыттағы деректермен жұмыс істеу мүмкіндіктерін кеңейтіп келеді [15].

## **2.2 Әртүрлі елдердегі навигациялық спутниктер жүйелері (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou және басқа жүйелер)**

Бүгінгі күні навигациялық спутниктер жүйесі әлемнің жетекші мемлекеттері тарапынан жеке-жеке әзірленіп, қолданысқа енгізілген. Мұндай жүйелер ғаламдық ауқымда навигациялық қызмет көрсетіп, азаматтық салада да, қорғаныс мақсатында да кеңінен пайдаланылады. Әрбір мемлекет өз аумағында қауіпсіздікті қамтамасыз ету, технологиялық дербестікке қол жеткізу және экономикалық тиімділікті арттыру мақсатында жаһандық навигациялық спутниктік жүйелерді (GNSS – Global Navigation Satellite System) дамытуды басты бағыттардың бірі ретінде қарастырады. Бұл жүйелердің әрқайсысы өзінің техникалық құрылымына, спутниктерінің санына және қамту аймағына байланысты ерекшеленіп тұрады.



Жаһандық позициялау жүйесі (GPS), бастапқы атауы Navstar GPS, – бұл АҚШ Ғарыш күштеріне тиесілі және Mission Delta 31 арқылы басқарылатын спутниктік негіздегі гиперболалық навигация жүйесі. Ол Жер бетінде немесе оған жақын аймақта GPS қабылдағышы бар кез келген пайдаланушыға геолокация және уақыт туралы ақпарат ұсынатын жаһандық навигациялық спутниктік жүйелердің (ЖНСЖ) бірі болып табылады. Жүйе пайдаланушыдан ешқандай дерек жіберуді талап етпейді және телефон немесе интернет байланысына тәуелсіз жұмыс істейді, дегенмен бұл технологиялар GPS координаттарының тиімділігін арттыра алады. GPS жүйесі әлем бойынша әскери, азаматтық және коммерциялық қолданушыларға маңызды позициялау мүмкіндіктерін ұсынады. Бұл жүйені АҚШ үкіметі құрған, басқарады және қолдайды, алайда ол GPS қабылдағышы бар кез келген адам үшін еркін әрі қолжетімді. GPS жобасы АҚШ-та 1973 жылы бұрынғы навигациялық жүйелердің шектеулерін еңсеру мақсатында іске қосылған, ол 1960-жылдардағы құпия инженерлік жобалар мен бірқатар алдыңғы жүйелердің идеяларын біріктірген. Бұл жүйені АҚШ Қорғаныс министрлігі бастапқыда АҚШ әскері үшін жасап шығарды және ол алғашында 24 спутникті пайдаланды. GPS жүйесі 1993 жылы толық жұмысқа қабілетті күйге жетті. Азаматтық мақсатта қолдануға 1980-жылдардан бастап рұқсат етілді. Бұл жүйенің ойлап табылуы Roger L. Easton (Теңіз зерттеулері зертханасы), Ivan A. Getting (The Aerospace Corporation) және Bradford Parkinson (Қолданбалы физика зертханасы) есімдерімен байланысты. Сонымен қатар, Gladys West-тің Жердің математикалық геодезиялық моделін жасау бойынша жұмысы GPS үшін спутниктердің орнын дәл анықтайтын есептеу әдістерінің дамуына елеулі үлес қосқан.

GPS жүйесінің жобалануы ішінара 1940-жылдардың басында жасалған LORAN және Decca Navigator System сияқты жерүсті радионавигациялық жүйелерге негізделген. 1955 жылы Friedwardt Winterberg жасанды спутниктерге орнатылған дәл атомдық сағаттарды пайдалану арқылы күшті гравитациялық өрісте уақыттың баяулауын анықтау арқылы жалпы салыстырмалық теориясын сынауды ұсынды. Арнайы және жалпы салыстырмалық теориялары бойынша жердегі бақылаушылар үшін GPS спутниктеріндегі сағаттар жердегі сағаттармен салыстырғанда тәулігіне 38 микросекундқа жылдамырақ жүреді. GPS жүйесінің жобасы бұл айырмашылықты есепке алады; себебі егер ол ескерілмесе, GPS арқылы есептелген орындар тәулігіне 10 шақырымға дейін қателесуі мүмкін еді [16].



2.1-сурет – GPS Block III спутнигінің орбитадағы суреті.

Қазіргі заманғы GPS жүйесі үш негізгі сегменттен тұрады. Бұл ғарыш сегменті, басқару сегменті және пайдаланушы сегменті. АҚШ ғарыш күштері ғарыш сегменті мен басқару сегментін дамытады, қолдайды және басқарады. GPS спутниктері ғарыштан сигналдарды жібереді және әрбір GPS қабылдағышы осы сигналдарды өзінің үш өлшемді орнын (ендік, бойлық және биіктік) және ағымдағы уақытты есептеу үшін пайдаланады.

Ғарыш сегменті (SS) 24-тен 32-ге дейінгі орта жер орбитасындағы спутниктерден немесе ғарыш аппараттарынан (SV) тұрады және оларды орбитаға шығаруға қажетті зымыран тасығыштарға арналған жүктеме адаптерлерін де қамтиды. GPS жүйесінің бастапқы жобасы әрқайсысы шамамен дөңгелек орбитада орналасқан үш топқа бөлінген сегіз спутниктен тұратын 24 SV-ны көздеген болатын, бірақ бұл кейін алты орбиталық жазықтыққа өзгертілді, әрқайсысында төрт спутниктен. Алты орбита жазықтығы шамамен  $55^\circ$  көлбеулікке (Жер экваторына қатысты көлбеу) ие және олар  $60^\circ$  бойлықпен (асцензия түйінінің оң бағытталған бойлық айырмасы, яғни орбитаның экватормен қиылысқан нүктесіне дейінгі бұрыш) бөлінген. Орбиталық кезең – жұлдыздық күннің жартысы, яғни 11 сағат 58 минут, сондықтан спутниктер күн сайын бірдей немесе бір-біріне өте жақын жерлердің үстінен өтеді. Орбиталар осылайша ұйымдастырылған, жер бетінің кез келген нүктесінен кемінде алты спутник көру аймағында болады. Осы мақсаттың нәтижесінде әр орбитадағы

төрт спутник біркелкі ( $90^\circ$ ) қашықтықта орналаспаған. Жалпы алғанда, бір орбитадағы спутниктер арасындағы бұрыштық айырмашылықтар  $30^\circ$ ,  $105^\circ$ ,  $120^\circ$  және  $105^\circ$  құрайды, барлығы  $360^\circ$ -қа тең. Шамамен 20 200 км (12 600 миль) биіктікте орбитада айналып жүретін әрбір SV шамамен 26 600 км (16 500 миль) орбиталық радиусқа ие және әр жұлдыздық тәулікте екі толық айналым жасайды, осылайша күн сайын бірдей жер үсті ізін (ground track) қайталайды. Бұл даму кезінде өте пайдалы болды, себебі бар болғаны төрт спутник болса да, дұрыс туралану жағдайында олардың төртеуі де бір нүктеден күніне бірнеше сағат бойы көрінетін. Әскери операциялар кезінде жер үсті ізі қайталануы ұрыс аймақтарында жақсы қамтуды қамтамасыз ету үшін пайдаланылуы мүмкін.

Басқару сегменті (CS) мыналардан тұрады: негізгі басқару станциясы (MCS), басқарудың балама бас станциясы, төрт арнайы антенна және алты бөлінген мониторинг станциясы.

Пайдаланушы сегменті АҚШ пен оның одақтастарындағы қауіпсіз GPS дәл позициялау қызметінің жүздеген мың әскери пайдаланушыларынан және стандартты орналасу қызметінің ондаған миллион азаматтық, коммерциялық және ғылыми пайдаланушыларынан тұрады. Әдетте, GPS қабылдағыштары спутниктер арқылы берілетін жиіліктерге, қабылдағыш процессорларға және жоғары тұрақты сағат импульстарына (көбінесе кварц генераторы) бейімделген антеннадан тұрады. Олар сондай-ақ пайдаланушыға орналасқан жері мен жылдамдығы туралы ақпарат беру үшін Дисплейді қамтуы мүмкін.

Жалпы GPS навигациялық спутнигі қазіргі таңда координаттарды, яғни дәл орналасқан жердің ендігін, бойлығын және биіктігін анықтай алады. Көлік және логистика, әскери мақсаттарға, ауыл шаруашылығы, ғылыми зерттеулерге, төтенше жағдайларға, уақытты синхрондау және тағы да басқа мақсаттарға қолданылады [17].

GLONASS – бұл радионавигациялық спутниктік қызметтің бір бөлігі ретінде жұмыс істейтін Ресейдің спутниктік навигациялық жүйесі. Ол жаһандық позициялау жүйесіне (GPS) балама ретінде қызмет етеді және әлем бойынша толық қамту мен ұқсас дәлдікке ие екінші навигациялық жүйе болып саналады. GPS жә не GLONASS жүйелерін бірдей қолдайтын спутниктік навигациялық құрылғыларда пайдалануға болатын спутниктердің саны көбірек болады. Бұл әсіресе ғимараттар көп шоғырланған аймақтарда, яғни кейбір спутниктер көрінбей қалуы мүмкін жағдайларда, орынды тез және дәл анықтауға мүмкіндік береді. Орбиталық көлбеулігі жоғары болғандықтан, GLONASS жүйесінің GPS-пен бірлесіп қолданылуы жоғары ендіктерде (полюстерге жақын аймақтарда) позициялаудың дәлдігін арттырады.

GLONASS жүйесінің дамуы Кеңес Одағында 1976 жылы басталды. 1982 жылдың 12 қазанынан бастап бірнеше зымыран ұшырылып, жүйеге спутниктер қосыла бастады және 1995 жылы шоқжұлдыз (спутниктер тобы) толықтай аяқталды. 1990-жылдардың соңында жүйе мүмкіндігінің төмендеуінен кейін, 2001 жылы оны қалпына келтіру үкімет үшін басым бағытқа айналып, қаржыландыру айтарлықтай артты. GLONASS – «Роскосмос» агенттігінің ең қымбат бағдарламасы болып табылады, 2010 жылы бұл бағдарлама агенттік

бюджетінің үштен бір бөлігін құраған. 2010 жылға қарай GLONASS Ресей аумағын толықтай қамтуды қамтамасыз етті. 2011 жылдың қазан айында 24 спутниктен тұратын орбиталық шоқжұлдыз қайта қалпына келтіріліп, жаһандық деңгейде толық қамту мүмкіндігіне ие болды. GLONASS спутниктерінің конструкциясы бірнеше рет жаңартылып отырды, ал ең соңғы нұсқасы – GLONASS-K2 – 2023 жылы ұшырылды.

GLONASS – бұл жаһандық навигациялық спутниктік жүйе, ол нақты уақыт режимінде әскери және азаматтық пайдаланушылар үшін орын мен жылдамдықты анықтауға мүмкіндік береді. Спутниктер орта дөңгелек орбитада, теңіз деңгейінен 19 100 км (11 900 миль) биіктікте орналасқан, орбиталық көлбеулігі 64,8° және бір айналым уақыты 11 сағат 16 минутты құрайды (әрбір 8 жұлдыздық тәулікте жасалатын 17 айналымнан кейін спутник дәл сол нүктенің үстінен өтеді). GLONASS орбитасының ерекшелігі – бұл жүйе жоғары ендіктерде (солтүстік немесе оңтүстік) қолдануға өте қолайлы, ал мұндай аймақтарда GPS сигналын қабылдау қиындық тудыруы мүмкін. GLONASS шоқжұлдызы үш орбиталық жазықтықта жұмыс істейді, әрбір жазықтықта сегіз спутниктен біркелкі орналастырылған. Жаһандық қамтуды қамтамасыз ететін толық жұмыс істейтін шоқжұлдыз 24 спутниктен тұрады, ал Ресей аумағын қамту үшін кемінде 18 спутник жеткілікті. Пайдаланушы өз орнын дәл анықтау үшін қабылдағыш кем дегенде төрт спутниктің аясында болуы қажет [18].

Galileo – бұл Еуропалық Одақ тарапынан Еуропалық ғарыш агенттігі (ESA) арқылы құрылған және Еуропалық ғарыштық бағдарлама агенттігі (EUSPA) басқаратын жаһандық навигациялық спутниктік жүйе (ЖНСЖ). Жүйенің штаб-пәтері Чехияның Прага қаласында орналасқан. Сонымен қатар екі жерүсті операциялық орталығы бар: Германияның Оберпфaffenхофен қаласында (негізінен спутниктерді басқаруға жауапты) және Италияның Фучино қаласында (негізінен навигациялық деректермен қамтамасыз етуге жауапты). Жалпы құны €10 миллиардты құрайтын бұл жоба 2016 жылдан бастап шектеулі қызметтер ұсынуды бастады. Жүйе итальян астрономы Галилео Галилейдің құрметіне аталған. Galileo жүйесінің негізгі мақсаттарының бірі – Еуропаның саяси және әскери құрылымдары АҚШ-тың GPS немесе Ресейдің GLONASS жүйелеріне тәуелді болмайтындай, тәуелсіз әрі жоғары дәлдікті позициялау қызметін қамтамасыз ету. Себебі бұл жүйелерді иеленуші мемлекеттер оларды кез келген уақытта шектей немесе толықтай өшіре алады. Негізгі (төмен дәлдіктегі) Galileo қызметтері ашық әрі баршаға тегін қолжетімді. 2023 жылдың 24 қаңтарынан бастап бұрын тек үкімет тарапынан рұқсат етілген қолданушыларға ғана қолжетімді болған жоғары дәлдіктегі қызмет те еркін түрде қолданысқа енгізілді. Сонымен қатар, Galileo жүйесі MEOSAR жүйесінің бір бөлігі ретінде жаһандық іздеу және құтқару (SAR) функциясын да қамтамасыз етеді.

Алғашқы Galileo сынақ спутнигі GIOVE-A 2005 жылдың 28 желтоқсанында ұшырылды, ал жүйенің толыққанды жұмысына кіретін алғашқы спутник 2011 жылдың 21 қазанында ғарышқа жіберілді. 2016 жылдың 15 желтоқсанынан бастап Galileo жүйесі бастапқы операциялық қабілеттілік кезеңін (EOC) іске қосты, бұл кезеңде әлсіз сигналмен бастапқы қызметтер ұсыныла

бастады. 2018 жылдың қазан айында жүйеге тағы төрт спутник қосылып, белсенді спутниктер саны 18-ге жетті. 2018 жылдың қараша айында АҚШ-тың Байланыс жөніндегі федералды комиссиясы (FCC) Galileo жүйесін АҚШ аумағында пайдалануға рұқсат берді. 2024 жылдың қыркүйегіндегі жағдай бойынша орбитада 25 спутник жұмыс істеп тұр. 2026 жылдан кейін жаңа буын спутниктерінің іске қосылуы жоспарланған, олар бірінші буынды алмастырып, қажет болған жағдайда резервтік мүмкіндік ретінде қолданылатын болады.

Galileo жүйесі GPS-пен салыстырғанда әлдеқайда жоғары дәлдікке ие. Мысалы, эфирлік эфемеридтерді пайдалану кезінде жүйенің дәлдігі 1 метрден төмен (ал GPS жүйесінде – шамамен 3 метр). Ал спутниктердің орбитасы мен сағаттарына нақты уақыттағы түзетулер қолданылған жағдайда, кеңістіктегі сигнал арқылы арақашықтық қателігі (SISRE) Galileo жүйесінде небәрі 1,6 см құрайды (GPS жүйесінде бұл көрсеткіш – 2,3 см).

2012 жылғы деректер бойынша, жүйе 2015 жылы 15 спутниктің жұмыс істеуін қамтамасыз етіп, 2020 жылы толықтай жұмыс істеу күйіне жетеді деп жоспарланған болатын (жаңартуды қажет етеді). Жүйенің техникалық сипаттамалары төмендегідей:

- Орбитадағы ғарыш аппараттарының жалпы саны – 30 (оның ішінде 24 – толық қызмет көрсетуші, 6 – қосалқы);
- Орбиталық биіктігі – 23 222 км (14 429 миль), орта орбиталық аймақ (MEO);
- Орбиталық айналым уақыты – 14 сағат 5 минут (әрбір 10 жұлдыздық тәулікте жасалатын 17 айналымнан кейін спутник бірдей нүктенің үстінен өтеді);
- 3 орбиталық жазықтық, көлбеулік бұрышы –  $56,0^\circ$ , көтерілу түйіндерінің ұзындығы бойынша арақашықтық –  $120,0^\circ$  (әрбір орбиталық жазықтықта 8 жұмыс істейтін және 2 белсенді қосалқы спутник бар);
- Спутниктің қызмет ету мерзімі – 12 жылдан астам;
- Спутниктің массасы – 675 кг (1 488 фунт);
- Спутниктің негізгі корпусының өлшемдері – 2,7 м × 1,2 м × 1,1 м (8 фут 10 дюйм × 3 фут 11 дюйм × 3 фут 7 дюйм);
- Күн батареяларының қанатының ұзындығы – 18,7 м (61 фут);
- Күн батареяларының қуаты – 1,5 кВт (қызмет мерзімінің соңында);
- Навигациялық антенналардың қуаты – 155–265 Вт [19].

BeiDou навигациялық спутнигіне келсек, Қытайдың аймақтық навигациялық жүйесін құру тұжырымдамасы алғаш рет 1983 жылы ұсынылған. 1989 жылы екі геостационарлық спутникті (кодтық атауы: Twinsat) пайдалану арқылы жүйе орбитадағы тексеруден өтті. Бұл тәжірибе орбитада бұрыннан бар екі DFH-2/2A байланыс спутнигі негізінде жүргізілген.

BeiDou жүйесінің алғашқы кезеңі (BeiDou – «Солтүстік шөміш», яғни Үлкен Аю шоқжұлдызы) 1994 жылы басталды. 2000 жылы екі геостационарлық спутник ұшырылды: BeiDou-1A (2000 жылғы 30 қазан) және BeiDou-1B (2000 жылғы 20 желтоқсан). BeiDou-1 спутниктері DFH-3 геостационарлық байланыс платформасы негізінде жасалған. 2003 жылғы 15 желтоқсанда бірінші буын

BeiDou жүйесі ресми түрде пайдалануға берілді. 2003 жылы үшінші BeiDou-1С геостационарлық спутнигінің ұшырылуы жүйенің жұмыс тиімділігін арттырды.

Екінші буын BeiDou жүйесі – BeiDou-2 – 2004 жылы дами бастады. 2012 жылдың соңына дейін орбиталық шоқжұлдызды толық қалыптастыру үшін 14 жаңа спутник ұшырылды (оның ішінде 5 геостационарлық, 5 көлбеу геосинхронды орбитада және 4 орта орбитада орналасқан). BeiDou-2 жүйесі BeiDou-1 жүйесімен үйлесімді етіп жасалды және Азия-Тынық мұхиты аймағындағы пайдаланушыларға позиция, жылдамдық, уақыт, кең ауқымды дифференциалды түзетулер және қысқа хабарламалар қызметтерін ұсынуға арналған.

Үшінші буын BeiDou-3 жүйесінің дамуы 2009 жылы басталды. Оның негізгі мақсаты – Жібек жолының құрлық және теңіз бағыты бойындағы аумақтар мен оларға іргелес аймақтарда пайдаланушыларға базалық қызмет көрсету, сондай-ақ жаһандық қызметтер ұсынуға арналған 35 спутниктен тұратын орбиталық шоқжұлдыздың толық орналасуын аяқтау болып табылады.

BeiDou-3 шоқжұлдызы-орбитаның үш түріндегі 30 операциялық спутниктен тұратын аралас шоқжұлдыз: жердің орташа орбиталары, геостационарлық орбиталар, көлбеу геосинхронды орбиталар.

Кесте 2.1 – BeiDou-3 шоқжұлдызы

|                                             |                                                                            |                      |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 3 геостационарлық орбитадағы спутниктер     | Орбиталық ұяшықтар                                                         | 80°E, 110.5°E, 140°E |
|                                             | Орбиталық биіктік                                                          | 35786 км             |
| 24 орташа Жер орбитасындағы спутниктер      | Орбиталық жазықтықтардың саны                                              | 3                    |
|                                             | Орбиталық еңкеюі                                                           | 55°                  |
|                                             | Орбиталық биіктік                                                          | 21528 км             |
|                                             | Орбиталық период                                                           | 12сағ 53мин 24с      |
|                                             | Спутниктердің жер бетіндегі ізі экваторды 118° шығыс бойлықта кесіп өтеді. |                      |
| 3 көлбеу геосинхронды орбитадағы спутниктер | Орбиталық еңкеюі                                                           | 55°                  |
|                                             | Орбиталық биіктігі                                                         | 35786 км             |

BeiDou жүйесінің жердегі басқару кешеніне бірнеше Негізгі Басқару Станциялары (МС), Жоғары Байланыс Станциялары (АҚШ) және бақылау Станцияларының ғаламдық желісі (МС) кіреді. Ашық көздерде олардың функционалдық мақсатына сәйкес станциялардың саны мен мамандануы туралы толық ақпарат жоқ. Қытай Әскери-Теңіз Күштерінің спутниктерді қадағалауға, әсіресе орбитаға орналастыру кезеңінде және алғашқы операцияларға қатысуын атап өткен жөн. BeiDou бағдарламасының жоғары лауазымды басшылығы Қытайдан Тыс Жерлерде Бақылау Станциялары желісін кеңейту қажеттілігін мойындайды [20].

## 2.3 Спутниктердің навигациялық сигналдары және олардың ерекшеліктері

Жалпы спутниктік навигациялық сигналдар жерге жіберетін радиосигналдарды білдіреді, олар арқылы навигациялық жүйелер (мысалы, GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) пайдаланушының орналасқан жерін, уақытты және жылдамдықты анықтай алады. Навигациялық сигналдар қарастырайық.

Спутниктік байланыста тасымалдаушы жиілік (carrier frequency) – бұл спутниктің Жердегі станциялардан сигнал қабылдайтын және оларға сигнал тарататын нақты радиожиілігі. Бұл жиілік халықаралық реттеуші стандарттар мен техникалық талаптарға сай мұқият таңдалады, себебі ол ғарыш кеңістігінде ұзақ қашықтыққа деректерді тиімді тарату мен қабылдауды қамтамасыз етеді. Спутниктік байланыста қолданылатын тасымалдаушы жиіліктер, әдетте, спутниктік қызметтер үшін арнайы бөлінген жиілік диапазондарына жатады. Мысалы, С-жиілік диапазоны, Ku-жиілік диапазоны, Ka-жиілік диапазоны және басқа да спектрлер. Бұл диапазондардың таңдауы көрсетілетін қызметтің түріне және техникалық қажеттіліктерге байланысты болады. Мысалы:

- GPS: L1 (1575.42 МГц), L2 (1227.60 МГц), L5 (1176.45 МГц);
- GLONASS: L1 және L2 диапазондары, жиілік әр спутникке жеке тағайындалады;
- Galileo: E1, E5a, E5b, E6 жиіліктері;
- BeiDou: B1, B2, B3 жиілік диапазондары.

Спутниктік навигациялық жүйелердің жұмыс істеуінің негізі – спутниктер Жерге тарататын арнайы радиосигналдар. Бұл сигналдар пайдаланушыларға нақты уақыт режимінде өзінің орнын, қозғалыс бағытын, жылдамдығын және дәл уақытты анықтауға мүмкіндік береді. Мұндай сигналдар GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou сияқты жаһандық навигациялық спутниктік жүйелер арқылы таратылады. Әрбір жүйе өзіне тән сигнал құрылымына, жиілік диапазонына және кодтау әдісіне ие.

Әр спутниктік сигнал арнайы кодпен шифрланады. Бұл кодтау жүйелері сигналдың спутниктен қашан жіберілгенін және оның қай спутниктен екенін ажыратуға мүмкіндік береді. Мысалы, GPS жүйесінде:

- C/A коды (Coarse Acquisition) – азаматтық пайдаланушыларға арналған;
- P(Y) коды – әскери мақсатқа арналған;
- M-код – заманауи қорғалған сигнал, GPS жүйесінің жаңа буын спутниктерінде қолданылады.

Навигациялық хабарламалар (Navigation messages)- сигнал құрамында спутниктің орбиталық параметрлері, жүйенің ағымдағы жағдайы, уақыт синхрондау деректері және басқа да қызметтік ақпарат болады. Бұл деректер қабылдағышқа орынды дәл анықтауға мүмкіндік береді.

Көптеген заманауи спутниктер бірнеше жиілікте бір мезетте сигнал жібере алады. Бұл қабылдағышқа ионосфера әсерін түзетуге және жоғары дәлдікке қол жеткізуге көмектеседі. Мысалы, L1 және L2 сигналдарын бірге қолдану – ионосфералық қателіктерді азайту әдісі ретінде танымал.

Әрбір жүйенің сигнал дәлдігі әртүрлі. Мысалы, Galileo жүйесінің дәлдігі – 1 метрден төмен, ал сигналдың кеңістіктегі қателігі (SISRE) небәрі 1.6 см. GPS жүйесінде бұл көрсеткіш 2.3 см шамасында. Бұл – навигациялық жүйелердің тиімділігін көрсететін маңызды фактор. Кейбір жүйелер сигналдарды екі топқа бөледі: жалпыға ортақ (ашық) және тек рұқсаты бар пайдаланушыларға арналған (мысалы, әскери). Galileo жүйесі – азаматтық жүйе, бірақ оның жоғары дәлдіктегі қызметі де бар. BeiDou да қысқа хабарлама жіберу сияқты қосымша қызметтерді ұсынады.

Спутниктердің навигациялық сигналдары – бұл күрделі құрылымға ие, жоғары дәлдікті радиосигналдар жүйесі. Олар жиілігі, код құрылымы, ақпарат мазмұны мен берілу әдісі бойынша ерекшеленеді. Бұл сигналдар заманауи өмірдің көптеген салаларында – көлік, байланыс, ғылым, қорғаныс және ауыл шаруашылығында кеңінен қолданылады.

Спутниктердің навигациялық сигналдарының ерекшеліктері төмендегідей:

1. Спутниктік сигналдар арқылы объектінің орнын метрлік, кейде сантиметрлік дәлдікпен анықтауға болады. Көп жиілікті қабылдағыштар мен RTK (Real-Time Kinematic) технологиясы арқылы 1–2 см дәлдікке жетуге болады.

2. Спутниктер өте дәл атомдық сағаттармен жабдықталған. Сигналдар Жердегі қабылдағыштарға наносекундтық дәлдікпен уақыт жібереді. Бұл қаржы, телекоммуникация және энергетика салаларында өте маңызды.

3. Бір спутник бірнеше жиілікте сигнал бере алады (мысалы, GPS – L1, L2, L5). Бұл ионосфералық және тропосфералық қателерді азайтуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, резервтік канал ретінде қолданылады.

4. Әрбір спутникте PRN (Pseudo Random Noise) коды бар – бұл әр спутникті бір-бірінен ажыратуға мүмкіндік береді. Кейбір сигналдар шифрланған (мысалы, GPS-тің P(Y)-коды) – тек әскери қолданушылар үшін.

5. Азаматтық қолданушыларға арналған ашық сигналдар бар (мысалы, GPS-тің C/A коды, Galileo-ның Open Service). Қосымша дәлдікке ие жоғары дәлдіктегі қызметтер (Galileo High Accuracy Service, RTK, PPP) қолжетімді, кейбірі тек рұқсаты бар пайдаланушыларға беріледі.

6. Қытайдың BeiDou жүйесі қысқа мәтіндік хабарлама жіберуге мүмкіндік береді (өте сирек кездесетін функция).

7. GLONASS пен BeiDou спутниктерінің орбитасы көлбеу орналасқан, сондықтан олар солтүстік/оңтүстік ендіктерде жақсы қабылданады.

8. GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou жүйелерін біріктіріп пайдалану (мульти-GNSS) арқылы спутниктердің саны артып, сигнал қабылдау сенімділігі артады. Бұл кедергілер көп жерде (тау, қала ішінде) орынды тез анықтауға мүмкіндік береді.

9. Жүйелер әртүрлі жиіліктерді қолданады:

- GPS – L1, L2, L5;
- Galileo – E1, E5a, E5b;
- GLONASS – L1, L2;
- BeiDou – B1, B2, B3.



Бұл олардың өзара кедергі жасамай жұмыс істеуін қамтамасыз етеді.

Спутниктердің навигациялық сигналдарының басты ерекшелігі – жоғары дәлдік, уақыт тұрақтылығы, сенімділік, көпжиіліктілік, және қолдану аясының кеңдігі. Бұл мүмкіндіктердің арқасында олар ғылыми, әскери, коммерциялық және күнделікті өмір салаларында кеңінен қолданылады.

### **3 Практикалық зерттеу және жүзеге асыру әдістері**

#### **3.1 Навигациялық спутниктерден алынған деректерді өңдеу және талдау әдістері**

Навигациялық спутниктерден алынған деректерді өңдеу және талдау геодезия, картография, көлік логистикасы және басқа да салаларда маңызды рөл атқарады. Бұл үдеріс бірнеше кезеңнен тұрады: деректерді жинау, алдын ала өңдеу, талдау және нәтижелерді интерпретациялау.

Спутниктік деректерді жинау үшін жаһандық навигациялық спутниктік жүйелер (ЖНСЖ) қолданылады, мысалы, GPS, ГЛОНАСС, Galileo және BeiDou. Бұл жүйелер жердегі қабылдағыштарға сигналдар жіберіп, олардың орналасуын, жылдамдығын және уақытын анықтауға мүмкіндік береді.

Жиналған деректерде қателіктер мен ауытқулар болуы мүмкін, сондықтан оларды алдын ала өңдеу қажет. Бұл кезеңде:

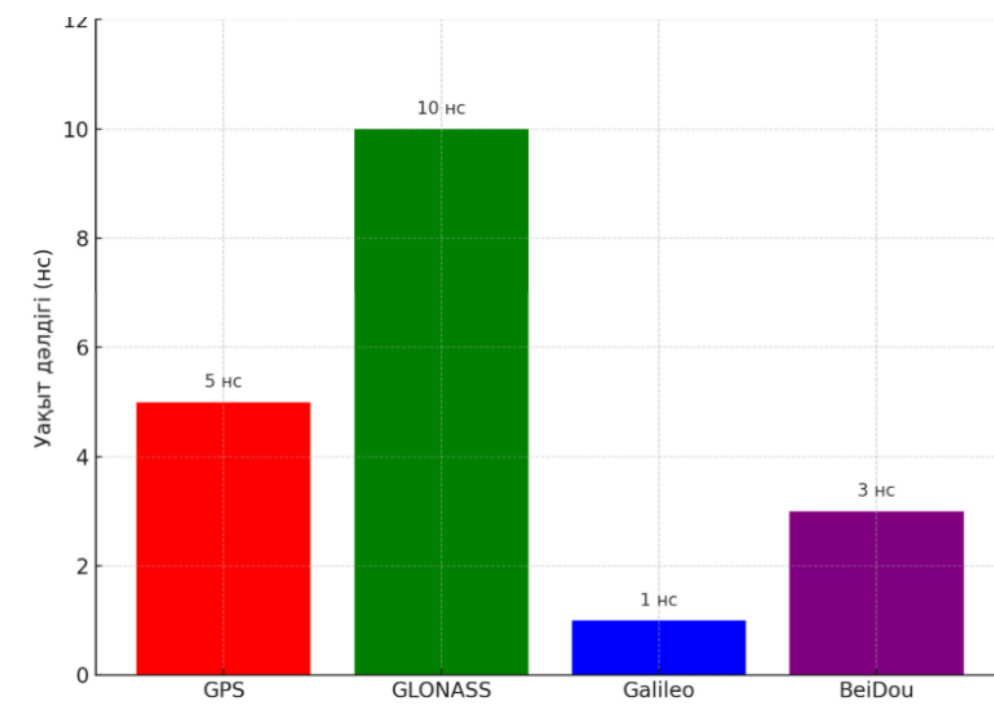
- Сапаны тексеру: Деректердің толықтығы мен дұрыстығы бағаланады.
- Сүзгілеу: Шуды азайту және қажетсіз сигналдарды жою үшін сүзгілер қолданылады.
- Синхрондау: Әртүрлі көздерден алынған деректер уақыт бойынша үйлестіріледі.

Алдын ала өңделген деректер әртүрлі әдістермен талданады:

- Координаттарды есептеу: Спутниктік сигналдардың уақыттық кідірістерін пайдалана отырып, қабылдағыштың нақты орналасуы анықталады.
- Қозғалыс траекториясын анықтау: Уақыт бойынша алынған координаттар негізінде объектінің қозғалыс бағыты мен жылдамдығы есептеледі.
- Дифференциалды түзетулер: Базалық станциялардан алынған деректерді пайдаланып, позициялау дәлдігін арттыру үшін түзетулер енгізіледі.

Талдау нәтижелері графиктер, карталар немесе басқа визуалды құралдар арқылы көрсетіледі. Бұл кезеңде алынған мәліметтер негізінде шешімдер қабылданады, мысалы, маршруттарды оңтайландыру, геодезиялық өлшеулерді нақтылау немесе көлік қозғалысын басқару. Навигациялық спутниктерден алынған деректерді өңдеу және талдау әдістері әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады. Дұрыс әдістерді қолдану арқылы жоғары дәлдікті ақпарат алуға және оны тиімді пайдалануға болады.

Атом сағаттары – жердегі қабылдағыштарға жіберілетін сигналдардың уақыт белгісі үшін жауап береді. Егер уақыт дәлдігі 1 наносекундқа ауытқыса, бұл жердегі координаттық дәлдікте шамамен 30 см қате тудырады. Сондықтан, бұл компонент – навигациялық спутниктің ең маңызды бөлігінің бірі.



3.1-сурет – Навигациялық спутниктік жүйелердегі атом сағаттарының уақыт дәлдігіне салыстырмалы диаграммасы

Бұл диаграмма әртүрлі жаһандық навигациялық спутниктік жүйелерде (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) қолданылатын атом сағаттарының уақыт дәлдігін салыстыруға бағытталған. Атом сағатының дәлдігі бүкіл жүйенің навигациялық қызмет сапасын, яғни координаттық дәлдікті тікелей анықтайды. Диаграммада жүйелер x-ось бойымен, ал уақыт дәлдігі y-ось бойымен орналастырылады. Уақыт дәлдігі кіші болған сайын, спутник жүйесінің сапасы жоғарырақ екені көрсетіледі. Барлық мәндер нс (наносекунд) бірлігімен беріледі.

Кесте 3.1 – Навигациялық спутниктік жүйелердегі атом сағаттарының уақыт дәлдігіне салыстырмалы кестесі

| Навигациялық жүйе | Атом сағаты түрі          | Уақыт дәлдігі (нс) | Сипаты                                          |
|-------------------|---------------------------|--------------------|-------------------------------------------------|
| GPS               | Cesium/Rubidium           | 5 – 10             | Жоғары дәлдік, GPS дәлдігіне тікелей әсер етеді |
| GLONASS           | Hydrogen maser / Rubidium | 10 – 30            | Ескі модельдерінде дәлдік төмен                 |
| Galileo           | Passive hydrogen maser    | 1 – 5              | Ең жоғары уақыт дәлдігіне ие                    |
| BeiDou            | Rubidium / H-maser        | 5 – 10             | Орташа деңгейлі дәлдік                          |

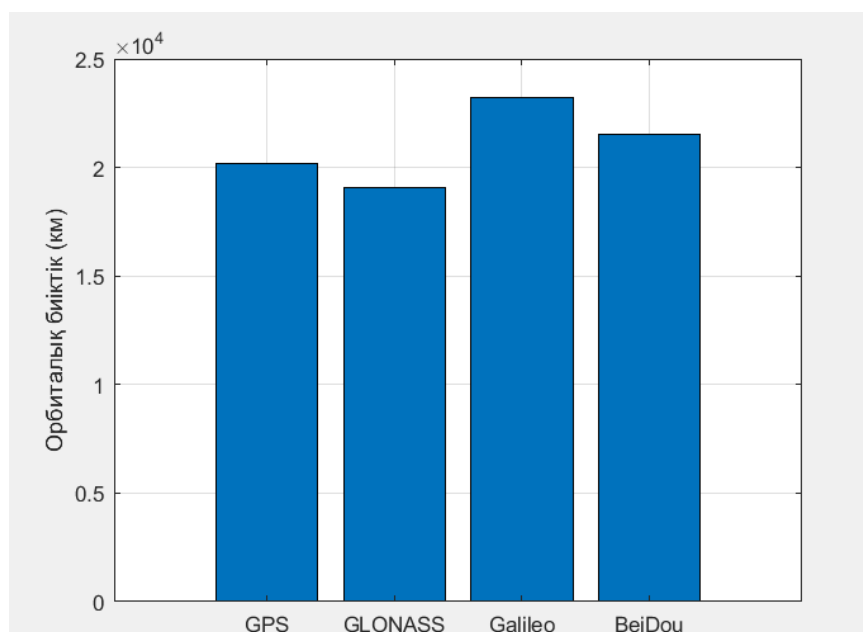
Galileo жүйесі ең жоғары дәлдікті ұсынады – бұл оның заманауи пассивті сутекті мазер сағаттарын қолдануына байланысты. GPS және BeiDou жүйелерінде рубидий және сутекті сағаттар қолданылып, 5–10 наносекунд дәлдікке қол жеткізеді. GLONASS жүйесінің кейбір ескі спутниктерінде уақыт дәлдігі салыстырмалы түрде төмен (10–30 нс), бұл жүйенің жаңартылып жатқанын көрсетеді.

Орбиталық биіктік – навигациялық сигналдың Жерге жету уақытына, дәлдігіне, қамту аймағына әсер ететін басты факторлардың бірі. Жоғары орбиталарда сигнал тұрақтылығы жоғары болғанымен, кідіріс артады. Орта орбиталық биіктік – ғаламдық навигация үшін ең тиімді шешім: сигнал кешігуі аз, спутниктер саны қалыпты.

Кесте 3.2 – Спутниктік жүйелердің орбиталық биіктігін салыстыру кестесі

| Навигациялық жүйе | Орбиталық биіктік (км) | Орбита түрі |
|-------------------|------------------------|-------------|
| GPS               | 20,200 км              | MEO (орта)  |
| GLONASS           | 19,100 км              | MEO (орта)  |
| Galileo           | 23,222 км              | MEO (орта)  |
| BeiDou            | 21,528 км              | MEO (орта)  |

Ескерту: Биіктіктер Жер бетінен өлшенген, орта есеппен алынған мәндер.



3.2-сурет – Спутниктік жүйелердің орбиталық биіктігін салыстыру графигі

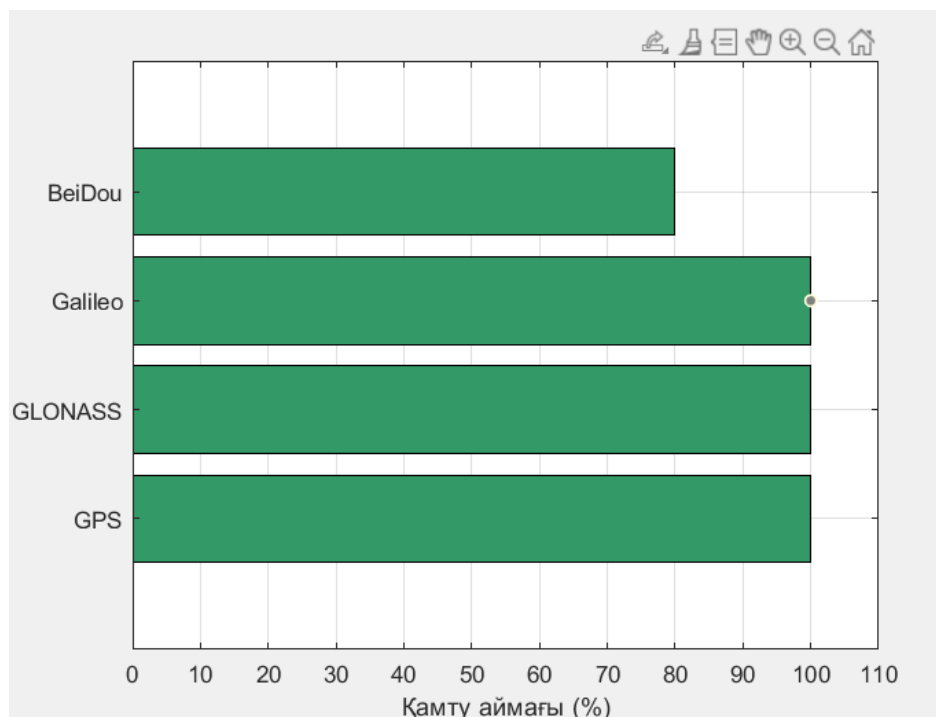
Бұл диаграмма әртүрлі жаһандық спутниктік навигациялық жүйелердің (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) спутниктерінің орбиталық биіктігін салыстыру арналған. Орбиталық биіктік жүйенің қамту аймағына, сигнал таралу уақытына және дәлдігіне әсер етеді. Galileo жүйесі ең жоғары орбитада орналасқан, бұл оған кең қамту аймағын және тұрақты сигнал қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. GLONASS жүйесінің орбитасы ең төмен, сондықтан оның жер бетімен байланысты сигналдарының кідірісі салыстырмалы түрде аз, бірақ көбірек спутник қажет болуы мүмкін. Барлық жүйелер орта биіктіктегі орбита (MEO) диапазонында жұмыс істейді, бұл – жаһандық навигация үшін тиімді шешім.

Жүйенің қамту аймағы пайдаланушының қай жерде болса да сигнал қабылдай алу мүмкіндігін анықтайды. Әскери, азаматтық авиация, логистика, теңіз және аграрлық салаларда жаһандық қамту – аса маңызды шарт. Қамту аумағы жүйенің орбиталық конфигурациясына, спутниктер санына және жердегі басқару станцияларының қолдауына тікелей байланысты.

GPS – АҚШ-тың жүйесі және ең кең таралған, бүкіл әлем бойынша толыққанды навигация қамтамасыз етеді. GLONASS – Ресейлік жүйе, жаһандық ауқымда GPS-пен бәсекелес. Galileo – Еуропалық жүйе, қазіргі уақытта жаһандық қамтуды дамытып жатыр. BeiDou – Қытайлық жүйе, бастапқыда аймақтық болғанымен, 2020 жылдан бастап жаһандық қызмет көрсетуді бастады.

Кесте 3.3 – Навигациялық жүйелердің қамту аймағы кестесі

| Навигациялық жүйе | Қамту аумағы (%) | Ауқым түрі                       |
|-------------------|------------------|----------------------------------|
| GPS               | 100%             | Жаһандық                         |
| GLONASS           | 99%              | Жаһандық                         |
| Galileo           | 95%              | Жаһандық                         |
| BeiDou            | 85%              | Аймақтық → Жаһандық<br>(кеңеюде) |

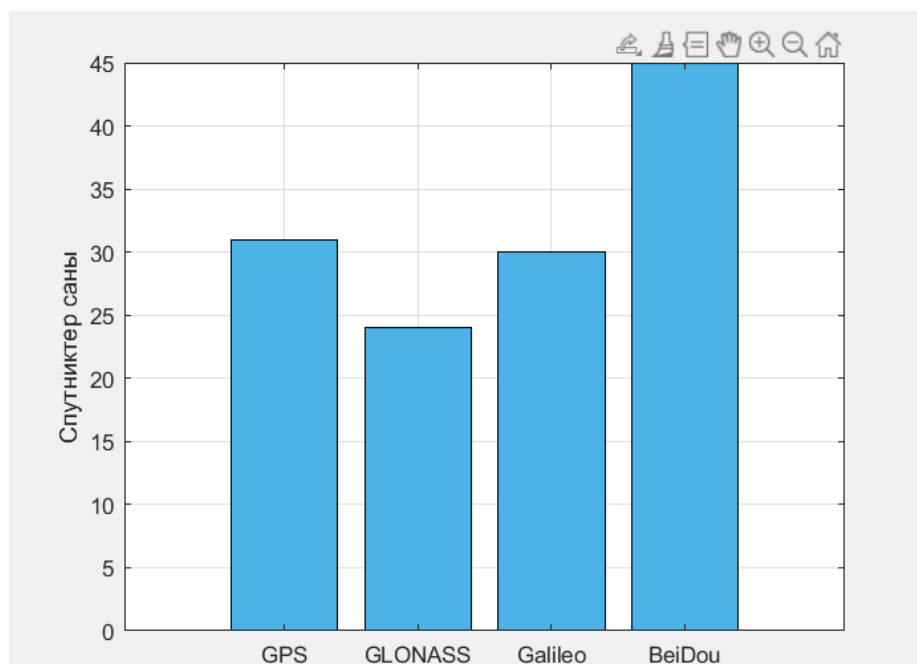


3.3-сурет – Навигациялық жүйелердің қамту аймағы графигі

Бұл график әртүрлі жаһандық навигациялық спутниктік жүйелердің (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) Жер шары бойынша қамту аймағын салыстыруға арналған. Жүйенің қамту аймағы – оның тиімділігі мен пайдаланушыға қолжетімділігін анықтайтын басты сипаттардың бірі. BeiDou жүйесі спутниктер саны бойынша көш бастап тұр, өйткені ол жаһандық және аймақтық спутниктер комбинациясын пайдаланады. GPS және Galileo жүйелері жоғары дәлдікті қамтамасыз ету үшін көбірек спутникпен жұмыс істейді. GLONASS спутниктерінің саны тұрақты, бірақ жаңғырту және модернизациялау процесінде. Көбірек спутник – пайдаланушы үшін жақсырақ қамту, жоғары дәлдік, жылдам сигнал. GPS пен Galileo жүйелері бірнеше спутник арқылы бір координатты нақтылау үшін триангуляция әдісін қолданады. BeiDou жүйесі көбірек спутниктермен жұмыс істегендіктен, Орталық және Шығыс Азияда өте жоғары дәлдікке ие.

Кесте 3.4 – Әр навигациялық жүйелердің спутниктер саны кестесі

| Жүйе атауы | Спутниктер саны | Қосымша ақпарат                |
|------------|-----------------|--------------------------------|
| GPS        | 31              | Жұмыс істеп тұрғандар          |
| GLONASS    | 24              | + қосалқы резервтік спутниктер |
| Galileo    | 28              | Жаңа спутниктер енгізілуде     |
| BeiDou     | 45              | 30+ жаһандық, 10+ аймақтық     |



3.4-сурет – Әр навигациялық жүйелердің спутниктер саны графигі

Бұл диаграмма GPS, GLONASS, Galileo және BeiDou сияқты жаһандық навигациялық спутниктік жүйелердің пайдаланып отырған спутниктер саны бойынша салыстырмалы талдау жасауға арналған. Спутниктер саны – жүйенің дәлдігі, қолжетімділігі және сенімділігін қамтамасыз етудегі басты факторлардың бірі.

1. Француз физигі Жорж Сагнактың есімімен аталған Сагнак эффектісі айналмалы платформаның айналасында қарама – қарсы бағытта қозғалатын екі жарық сәулесінің фазалық ығысуы ретінде көрінеді. Бұл әсер геофизика, навигация және жарықтың таралуы мен айналуына байланысты технология сияқты салаларда маңызды. Сагнак эффекті (Sagnac Effect) айналып тұрған жүйеде (мысалы, Жер) жарық немесе электромагниттік толқынның (GPS сигналының) таралу уақытының бағытына тәуелді екенін көрсетеді: Егер сигнал Жердің айналу бағытымен жүрсе – кешігіп жетеді. Егер сигнал айналу бағытына қарсы жүрсе – жылдамырақ жетеді. GPS спутниктері Жерге қатысты қозғалады және Жердің өзі де айналады. Бұл эффект ескерілмесе, координаталарды анықтауда қателіктер болады. 1 күнде Жер  $360^\circ$  айналады (бір рет). Навигациялық сигнал шамамен 20 000 км-ден келеді. Егер Сагнак эффектісі ескерілмесе, 500 метрге дейін позициялық қате туындауы мүмкін.

1913 жылы жүргізілген алғашқы Sagnac тәжірибесінде жарық сәулесі екіге бөлінді, нәтижесінде алынған сәулелер айналмалы жол бойымен қарама -қарсы бағытта қозғалу үшін жасалды. Бөренелер рекомбинацияланған кезде интерференция үлгісі байқалды. Егер аппарат тыныштықта болса, интерференция үлгісі тұрақты болып қалды. Алайда, егер аппарат

айналдырылса, интерференция үлгісі ауысады. Фазалық ығысу мөлшері арқылы беріледі:

$$\Delta\varphi = \frac{4\pi A\omega}{\lambda c} \quad (3.1)$$

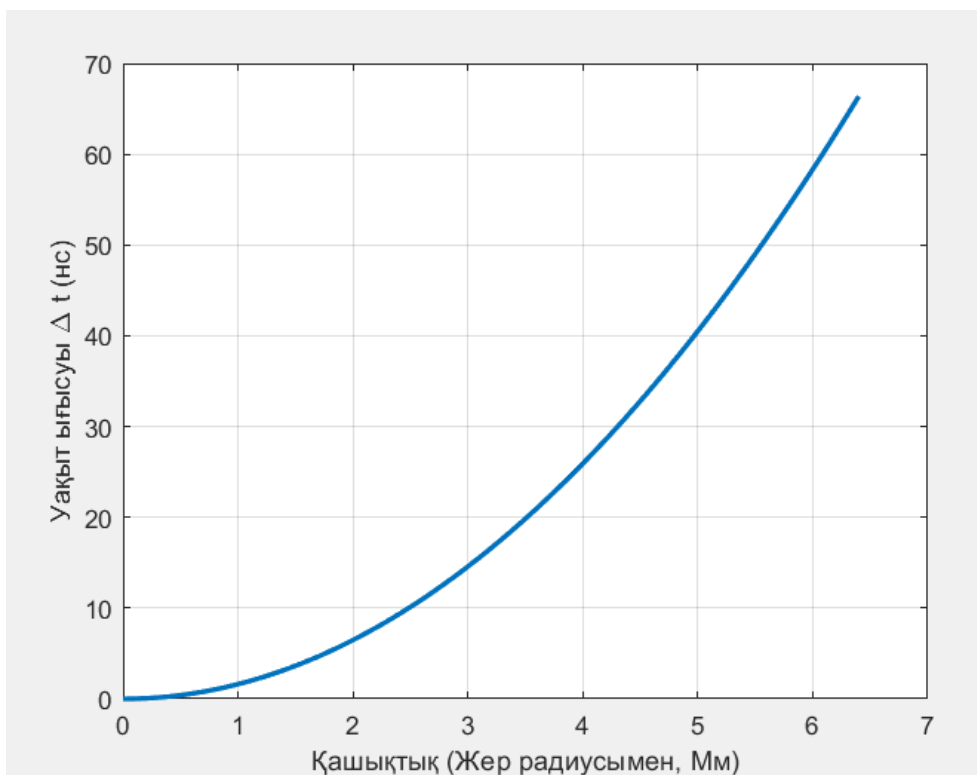
Мұндағы:  $\Delta\varphi$  – фазалық айырмашылық,  
 $A$  – жарық жолымен қоршалған аймақ,  
 $\omega$  – айнарудың бұрыштық жылдамдығы,  
 $\lambda$  – жарықтың толқын ұзындығы,  
 $c$  – жарық жылдамдығы.

Сагнак уақыт айырмашылығы былайша есептеледі:

$$\Delta t = \frac{2\vec{\Omega}(\vec{r} \times \vec{s})}{c^2} \quad (3.2)$$

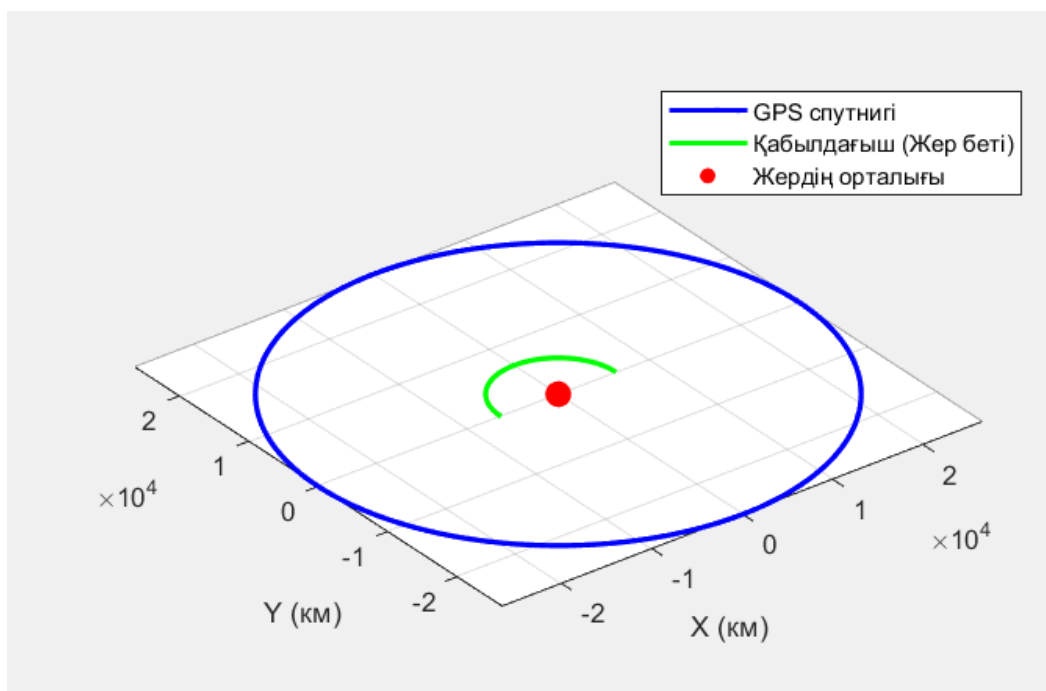
Мұндағы:  $\vec{\Omega}$  – Жердің бұрыштық жылдамдығы (рад/с);  
 $\vec{r}$  – қабылдағыш векторы;  
 $\vec{s}$  – спутник сигналының бағыты;  
 $c$  – жарық жылдамдығы.

GPS спутнигінен жердегі қабылдағышқа дейінгі сигнал Жермен айналып жатқан жүйеде таралады, сондықтан қабылдаушы координатаны нақты анықтау үшін Сагнак түзетуі енгізіледі.



3.5-сурет – Уақыт бойынша ығысу графигі





3.6-сурет – Сагнак эффектінің 3D моделі

3.6-суретте 3D графикте Сагнак эффектісінің физикалық мәні бейнеленген. Бұл графикте Көк шеңбер – GPS спутнигінің Жерді айнала қозғалу орбитасы, жасыл қисық – Жер бетіндегі қабылдағыш нүктенің Жермен бірге айналу жолы, қызыл нүкте – Жердің орталығы, координаттар – километрмен (X, Y, Z бағытында). GPS сигналы Жермен айналатын жүйеге байланысты бағытқа қарай ертерек немесе кешірек жетуі мүмкін. Бұл Сагнак уақытының айырмашылығын туғызады, ол есептелді:  $\Delta t_{\text{Sagnac}} \approx 207.4 \text{ нс}$ .

2. Релятивистік уақыт дилатациясы (Relativistic Time Dilation) Спутник Жерден жоғары және тез қозғалады, салыстырмалы теория бойынша уақыт баяу ағады немесе жылдамдайды. Эйнштейннің салыстырмалы теориясына негізделген құбылыс, оған сәйкес уақыт әр түрлі жүйелерде әртүрлі ағады. Навигациялық спутниктер жүйесінде бұл эффект өте маңызды, себебі GPS, ГЛОНАСС және басқа жүйелердің дәлдігі наносекундтық деңгейде болуы тиіс, ал уақыттағы кішкентай өзгеріс те метрлерге дейін қателікке әкелуі мүмкін.

$$\Delta t = t_0 \left( 1 - \frac{GM}{rc^2} - \frac{u^2}{2c^2} \right) \quad (3.3)$$

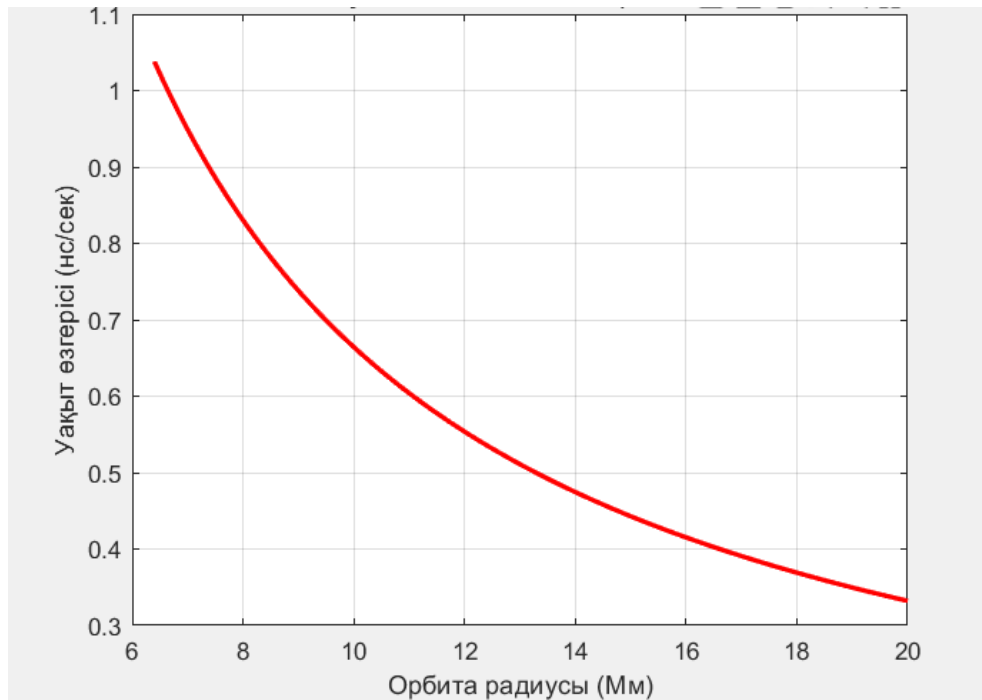
Мұндағы:  $t_0$  – Жердегі уақыт (эталон),

$G$  – гравитациялық тұрақты ( $6.674 \times 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2$ ),

$M$  – Жердің массасы ( $5.972 \times 10^{24} \text{ кг}$ ),

$r$  – спутниктің Жер центрінен арақашықтығы ( $\approx 26,600 \text{ км}$  GPS үшін),

$c$  – жарық жылдамдығы ( $\approx 3 \times 10^8$  м/с),  
 $u$  – спутниктің орбиталық жылдамдығы ( $\approx 3.874$  км/с).  
 $GM \approx 3.986 \times 10^{14}$



3.7-сурет – Релятивистік уақыт дилатациясы графигі

3. Допплерлік эффект (Doppler Effect) – бұл толқын (мысалы, радиотолқын, дыбыс, жарық) көзі мен қабылдағыш арасындағы қатысты қозғалыс кезінде байқалатын жиіліктің өзгерісі. Бұл құбылыс навигациялық жүйелерде (GPS, ГЛОНАСС және т.б.) өте маңызды, себебі спутниктер үнемі қозғалыста болады және сигнал жиілігін қабылдау кезінде түзетулер енгізу қажет. Егер толқын көзі мен бақылаушы бір-біріне жақындаса, қабылданатын жиілік жоғарылайды; ал егер алыстаса – жиілік төмендейді.

Мысал: Жедел жәрдем көлігі жақындағанда сиренаның дыбысы жоғары, алыстағанда – төмен естіледі. GPS-та бұл радио сигналмен де солай болады.

Навигациялық спутниктер секундына шамамен 4 км жылдамдықпен қозғалады, сондықтан олардан келетін сигнал жиілігі қабылдағышқа қатысты өзгереді. GPS қабылдағыш доплер ығысуын өлшеу арқылы жылдамдықты (векторлы) есептейді.

Допплер өлшемі – бұл жиіліктің өзгеруі, одан кейінгі есеп арқылы қабылдағыштың жылдамдығы анықталады. Қарапайым доплер формуласы (радиосигнал үшін):

$$f_r = f_t \left(1 - \frac{u}{c}\right) \quad (3.4)$$

Мұндағы:  $f_r$  – қабылдаушы жиілігі,

$f_t$  – таратқыш жиілігі (мысалы, GPS: 1575.42 MHz),  
 $u$  – қабылдағыш пен спутник арасындағы жылдамдық,  
 $c$  – жарық жылдамдығы ( $\approx 3 \times 10^8$  м/с).

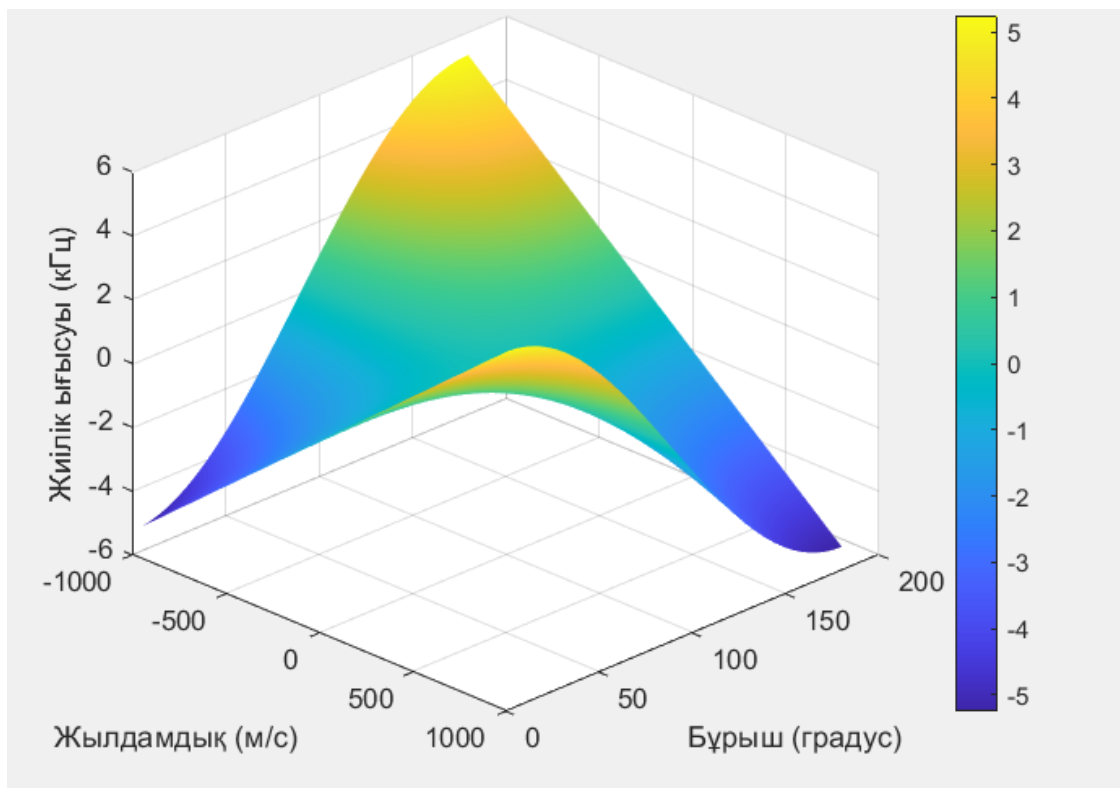
Жоғары дәлдік үшін толық формула қолданылады:

$$\Delta f = f_0 \times \frac{u_r}{c} \quad (3.5)$$

Мұндағы:  $\Delta f$ - жиіліктің өзгерісі,

$u_r$ — спутник пен қабылдағыш арасындағы радиалды жылдамдық.

GPS-та доплерді қолдану: Жиілік өзгерісі  $\pm 5$  кГц-ке дейін (GPS үшін),  
 Радиалды жылдамдық  $\pm 900$  м/с (GPS спутнигі үшін) Қолдану саласы  
 Жылдамдықты өлшеу, дәл координата, сигналды түзету.



3.8-сурет – Доплер эффектісі: жылдамдық пен бұрыш әсері 3D графигі

Бұл 3D график – Допплер эффектінің жылдамдық пен қозғалыс бағыты бұрышы ( $\theta$ ) өзгерген кезде жиілік ығысуына қалай әсер ететінін көрсетеді:

X осі – спутник пен қабылдағыш арасындағы салыстырмалы жылдамдық (м/с), Y осі – қозғалыс бағыты мен қабылдағыш арасындағы бұрыш (градуспен), Z осі – қабылданатын сигналдың жиілік ығысуы (кГц).

Бұл график арқылы, мысалы, егер спутник қабылдағышқа 1000 м/с жылдамдықпен тікелей жақындаса ( $\theta=0^\circ$ ), ең үлкен оң доплер ығысуы байқалады. Ал алыстаса ( $\theta=180^\circ$ ) – ең үлкен теріс ығысу болады.

### 3.2 MatLab көмегімен орбиталық параметрлерін есептеу және жергілікті координаталарды анықтау

Орбиталық параметрлер – аспан денелерінің немесе жасанды серіктердің гравитациялық өрістегі қозғалысын сипаттайтын негізгі шамалар жиынтығы. Бұл параметрлердің көмегімен объектінің орбитадағы орналасу траекториясын дәл есептеп, оның қозғалыс динамикасын болжауға болады. Бұл жұмыста жер серіктерінің орбиталық параметрлерін бағаланып және мәндері есептеледі.

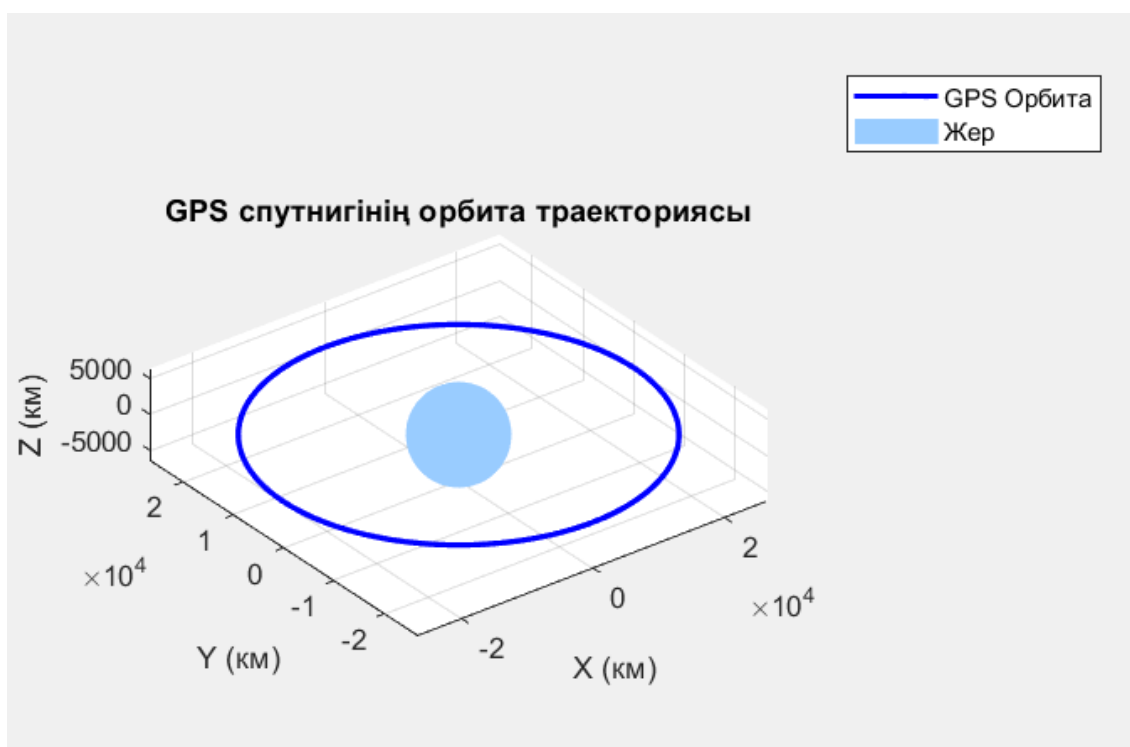
1. Орбита параметрлерін есептеу. GPS спутниктері Жерден орташа 20200 км биіктікте, дөңгелек орбитада қозғалады. Орбита радиусы:

$$a=R_e+h \quad (3.6)$$

Мұндағы:  $R_e=6371$  Жер радиусы,  
 $h=20200$  км спутник биіктігі.

Орбита периоды (Кеплер заңы):

$$T=2\pi\sqrt{\frac{a^3}{\mu}}, \mu = 3.986 \times 10^{14} \text{ м}^3/\text{с}^2 \quad (3.7)$$



3.9-сурет – GPS спутнигінің орбита траекториясы

3.9-сурет – Орбита радиусы: 26 571 км, Орбита периоды: 11.97 сағат (орта есеппен әр 12 сағат сайын жерді айналады), Көк шеңбер – спутниктің орбитасы, Көгілдір шар – Жер, Орбита Жердің экватор жазықтығында орналасқан ( $0^\circ$  көлбеу деп алынған).

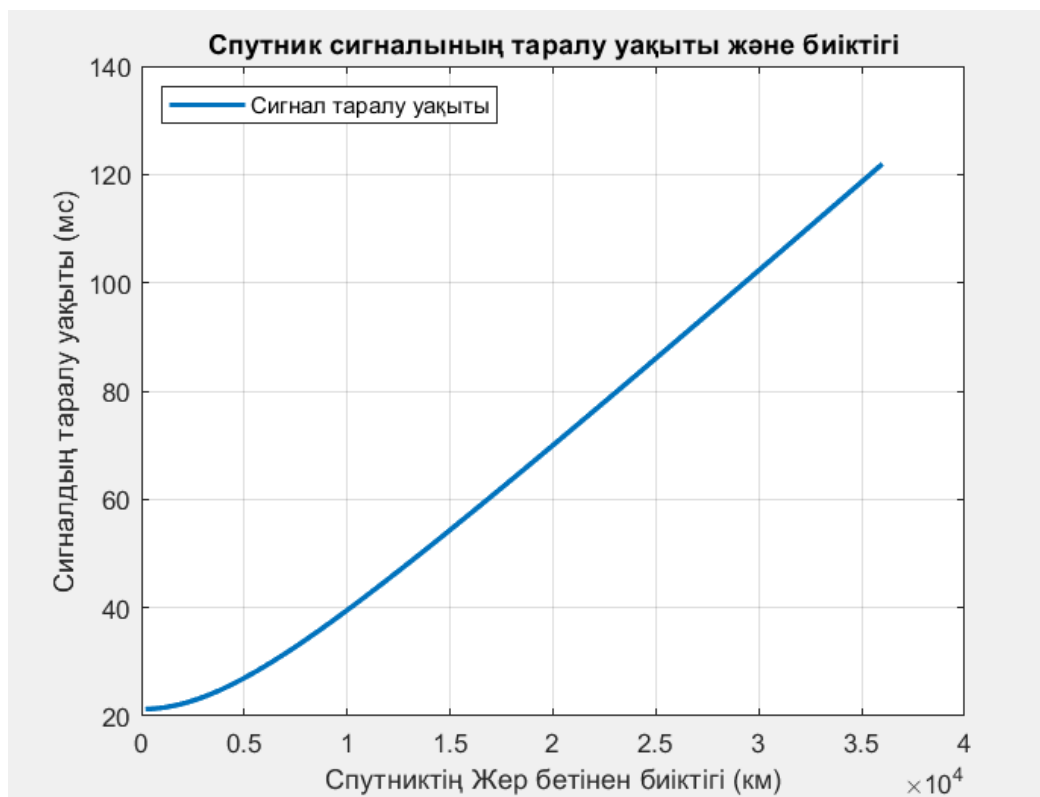
2. Сигнал таралу уақыты мен қашықтықты есептеу  
Ара қашықтық:

$$d = \sqrt{(x_s - x_r)^2 + (y_s - y_r)^2 + (z_s - z_r)^2} \quad (3.8)$$

Сигнал таралу уақыты:

$$t = \frac{d}{c} \quad (3.9)$$

Мұндағы:  $c=299792458$  м/с – жарық жылдамдығы,  
 $(x_s, y_s, z_s)$  – спутниктің координаттары,  
 $(x_r, y_r, z_r)$  – қабылдағыш координаттары.



3.10-сурет – Спутник сигналының таралу уақыты және биіктігі

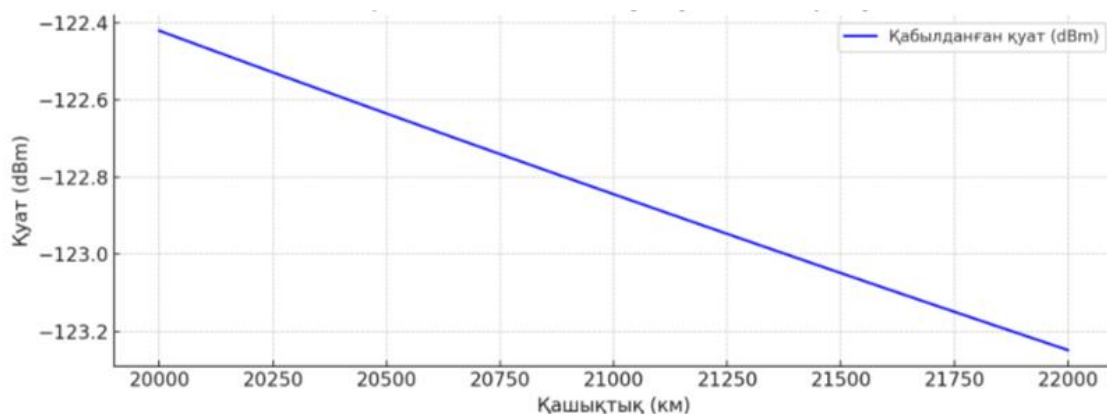
Сигнал таралу уақыты спутниктің биіктігіне сызықтық түрде емес, гипотенузальдық түрде өседі (Пифагор теоремасына байланысты).

Мысалы: LEO (төмен орбита) 200 – 2,000 км биіктікте  $\approx 2 - 10$  мс,

MEO (орташа орбита) 20,200 км (GPS)  $\approx 67$  мс,

GEO (геостационарлық) 36,000 км  $\approx 119$  мс.

3. Энергетикалық есептеулер – GPS сигналы спутниктен Жерге жеткенге дейін қанша энергия жоғалтады, қабылдағышқа қандай қуатпен жетеді – соны есептеу.



3.11-сурет – Энергетикалық қуатының таралуын есептеу

X осі – Спутник пен қабылдағыш арасындағы қашықтық (км), Y осі – Қабылданған сигналдың қуаты (dBm).

Бұл график сигналдың таралуына байланысты қуаттың төмендеуін сипаттайды: қашықтық артқан сайын сигнал әлсірейді.

$$P_r(dBm) = P_t(dBm) + G_t + G_r - FSPL(dB) \quad (3.10)$$

Мұндағы: FSPL – бос кеңістіктегі шығын,

$P_r$  – қабылданған қуат,

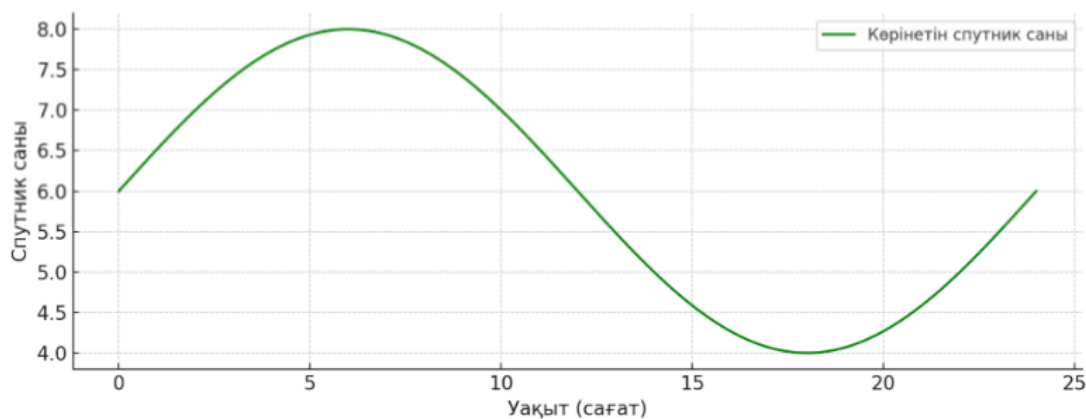
$P_t$  – таратқыштың қуаты,

$G_t$  таратқыштың күшейтуі,

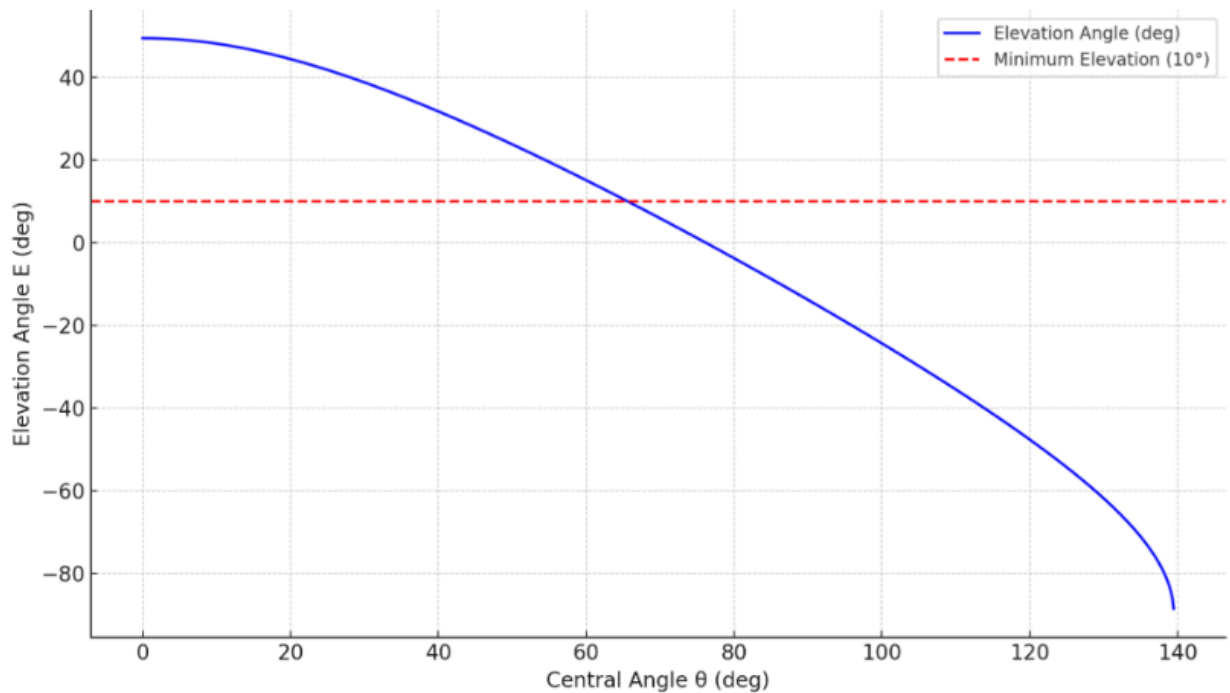
$G_r$  қабылдағыштың күшейтуі.

4. Спутник саны мен көріну уақыты GPS қабылдағышқа қай уақытта, қанша спутник көрінеді? Бұл – навигациялық дәлдікке тікелей әсер етеді.

X осі: Уақыт (сағат), Y осі: Көрінетін спутниктер саны. Бұл график тәуліктік динамикаға байланысты бір уақытта көрінетін спутниктер санының өзгерісін көрсетеді. Әдетте, 4-тен 12-ге дейін ауытқиды. Бұл мән GPS позициялау дәлдігіне әсер етеді (неғұрлым көп спутник көрінсе, дәлдік соғұрлым жоғары).



3.12-сурет – Көрінетін спутник санының уақыт бойынша өзгерісі



3.13-сурет – Спутник саны мен көріну уақыты графигі

Көріну уақытына әсер ететін геометрия: Жердің үстінде тұрған қабылдағышқа спутник белгілі бір elevation angle  $> 10^\circ$  болғанда ғана көрінеді. Бұл геометрия негізінде көріну уақыты мынадай формуламен жуықталады:

$$T_{visible} = \frac{2R}{v} \times \arccos\left(\frac{R}{R+h} \cos(E_{min})\right) \quad (3.11)$$

Мұнда:  $R=6371\text{км}$  – Жер радиусы,

$h=20200\text{км}$  – GPS спутникінің биіктігі,

$v=3.9\text{км/с}$  – спутниктің жылдамдығы,

$E_{min}=10^\circ$  – минималды көріну бұрышы.

Спутник санының статистикалық моделі. Көптеген GPS жүйелері үшін орта есеппен:

$$N_{visible} = N_{total} \times \frac{A_{visible}}{A_{total}} = 31 \times \frac{2\pi R^2(1-\cos(E_{min}))}{4\pi R^2} \quad (3.12)$$

Көріну уақыты: шамамен 72.6 минут, орташа көрінетін спутниктер саны: 0.24 (нақты сәтке байланысты өзгереді). Графикте "Орталық бұрыш ( $\theta$ ) мен Биіктік бұрышы (Elevation)" арасындағы байланыс. Бұл график жер станциясынан спутникке дейінгі орталық бұрыштың өзгеруіне байланысты спутниктің көкжиекке қатысты көтерілу биіктігін (elevation angle) көрсетеді. Көк сызық – есептелген биіктік бұрышы, Қызыл сызық – минималды қабылдау бұрышы ( $10^\circ$ ).

## ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл дипломдық жұмыста жаһандық навигациялық спутниктік жүйелердің спутниктері жан-жақты зерттеліп, олардың құрылымдық ерекшеліктері, жұмыс істеу принциптері, сигнал тарату әдістері және орбиталық параметрлері салыстырмалы түрде талданды. Python бағдарламасы арқылы зерттеулер жүргізіліп шығарылды. Зерттеу нәтижесінде GPS, GLONASS, Galileo және BeiDou жүйелерінің әрқайсысының артықшылықтары мен шектеулері анықталды.

Практикалық бөлімде нақты спутниктік деректер қолданылып, әр жүйенің позициялау дәлдігі салыстырылды. Python тілі арқылы сигналдарды өңдеу және координаталарды анықтау алгоритмдері жүзеге асырылып, нәтижелердің нақты әрі тиімді екені дәлелденді. Зерттеу барысында спутниктердің орбиталық параметрлері, орналасу геометриясы, сигнал беру жиіліктері мен навигациялық дәлдікке әсер ететін факторлар (ионосфералық және тропосфералық бұрмаланулар, сағат қателігі, көпсәулелі эффектілер және т.б.) сараланып, олардың нақты координаттарды анықтаудағы рөлі мен ықпалы дәлелденді. Сонымен қатар, нақты уақыттағы сигнал сапасын бағалау әдістері мен оларды модельдеу жолдары қарастырылды.

Жалпы алғанда, жүргізілген зерттеу ЖНСЖ жүйелерінің құрылымын, жұмыс істеу принциптерін және олардың дәлдігін қамтамасыз ету тетіктерін толыққанды түсінуге мүмкіндік береді. Бұл жұмыс навигация, геодезия, көлік, логистика және байланыс салаларында ЖНСЖ технологияларын тиімді пайдалану үшін ғылыми және практикалық негіз бола алады. Жұмыс нәтижелері навигациялық жүйелерді ғылыми және қолданбалы мақсаттарда тиімді пайдалануға мүмкіндік береді. Бұл зерттеу болашақта геолокация, көлік, ауыл шаруашылығы, әскери және байланыс салаларында навигациялық технологияларды жетілдіруге негіз бола алады.



## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Jury H. L. Application of kalman filter to real-time navigation using synchronous satellites //Proceeding of the 10th International Symposium on Space Technology and Science, Tokyo. – 1973. – С. 945-952.
2. Narasimhan G. Satellite Navigation //Precision Positioning with Commercial Smartphones in Urban Environments. – 2021. – С. 109-133.
3. Bounini F. et al. Autonomous vehicle and real time road lanes detection and tracking //2015 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC). – IEEE, 2015. – С. 1-6.
4. Bonnor N. A brief history of global navigation satellite systems //The Journal of Navigation. – 2012. – Т. 65. – №. 1. – С. 1-14.
5. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E. GNSS–global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more. – Springer Science & Business Media, 2007.
6. Леготкин М.В. «Разработка автоматически развертываемой антенной системы наноспутника/ Леготкин М.В. –Алматы, 2024. -47 с. <https://official.satbayev.university/download/document/39508/БАК%202024%20Леготкин%20Максим%20Владимирович.pdf>
7. Elbert B. R. Introduction to satellite communication. – Artech house, 2008.
8. Pratt T., Allnutt J. E. Satellite communications. – John Wiley & Sons, 2019.
9. Pratt T., Allnutt J. E. Satellite communications. – John Wiley & Sons, 2019.
10. Dmytryszyn M., Crook M., Sands T. Lasers for satellite uplinks and downlinks //Sci. – 2021. – Т. 3. – №. 1. – С. 4
11. Kodiyalam S., Nagendra S., DeStefano J. Composite sandwich structure optimization with application to satellite components //AIAA journal. – 1996. – Т. 34. – №. 3. – С. 614-621.
12. Tian Y. et al. Component analysis of errors in satellite-based precipitation estimates //Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2009. – Т. 114. – №. D24.
13. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E. GNSS – Global Navigation Satellite Systems. – Springer, 2008.
14. Levy C. ALL STAR Network //Web-Based Instruction and Learning: Responding to K-14 Customer Needs. – 2003. – С. 61.
15. Avrekh I., Matthews B. L., Stewart M. J. RNAV adherence data integration system using aviation and environmental sources. – 2018. – №. NASA/TM-2018-219964.
16. Romaniuk R. S. Astronomy and Space Technologies, Photonics Applications and Web Engineering, Wilga, May 2012 //Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2012. – SPIE, 2012. – Т. 8454. – С. 14-32.

17. Accuracy G. P. S. National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing //GPS. gov. – 2013.
18. Agnew D. C., Larson K. M. Finding the repeat times of the GPS constellation //GPS solutions. – 2007. – T. 11. – C. 71-76.
19. Ji S. et al. Potential benefits of GPS/GLONASS/GALILEO integration in an urban canyon–Hong Kong //The Journal of Navigation. – 2010. – T. 63. – №. 4. – C. 681-693.
20. Bury G. et al. Toward the 1-cm Galileo orbits: challenges in modeling of perturbing forces //Journal of Geodesy. – 2020. – T. 94. – №. 2. – C. 16.

## Қосымша А

Навигациялық спутниктің құрылымдық элементтерінің маңыздылық деңгейінің MATLAB коды:

```
components = {'Антенна жүйесі', 'Күн панельдері', 'Атом сағаттар', ...  
              'Борттық компьютер', 'Байланыс жүйесі', 'Қуат қоры', 'Басқару  
модулі'};  
importance = [8, 7, 9, 6, 7, 7, 10];  
  
figure;  
barh(importance, 'FaceColor', [0.2 0.6 0.8]);  
set(gca, 'yticklabel', components);  
xlabel('Маңыздылық деңгейі');  
title('Навигациялық спутниктің құрылымдық элементтерінің  
маңыздылығы');  
grid on;
```

## РЕЦЕНЗИЯ

Дипломдық жұмыс

Нұрланова Ақнұр Тимурқызы

6B06201 – Телекоммуникациялар

Тақырыбына: «Навигациялық жүйелердің спутниктерін зерттеу»

Орындалды:

- а) графикалық бөлім 15 парақ;  
б) түсініктеме 48 бет.

### ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ

Берілген бітіру жұмысында қазіргі заманғы навигациялық жүйелердің спутниктерін зерттеу ұсынылды. Жұмыста нақты техникалық параметрлерге сүйене отырып, практикалық есептеулер мен теориялық талдаулар жүргізілді.

Зерттеу барысында спутниктердің орбиталық параметрлері есептеліп, навигациялық дәлдікке әсер ететін факторлар, соның ішінде ионосфералық және тропосфералық қателер, сигналдың таралу уақыты мен қашықтығы, сондай-ақ энергетикалық сипаттамалар қарастырылды. MATLAB және Python бағдарламалау тілдері арқылы спутниктік деректерді өңдеу және талдау әдістері ұсынылды.

Жұмыстың нәтижесінде әртүрлі навигациялық жүйелердің артықшылықтары мен кемшіліктері анықталып, олардың нақты қолдану салаларындағы тиімділігі бағаланды. Бұл зерттеу навигациялық жүйелерді жетілдіру және олардың дәлдігін арттыру бағытында практикалық ұсыныстар берді.

Кейбір орфографиялық қателер кездеседі.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТҚ талабына сәйкес жазылған. Бұл дипломдық жоба жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғарғы дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер – диагностикалауға, ТОВЖ пайдаланудағы бағытқа жауап береді.

### ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

Жалпы, дипломдық жұмыс «жақсы» (85%) деп бағаланды, ал студент Нұрланова Ақнұр Тимурқызы 6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы бойынша «Ақпараттық және коммуникациялық технологиялар» бакалавры академиялық дәрежесіне ұсынылады.

#### Рецензент:

Ғ.Дәукеев ат. «Энергиямен қамтамасыз ету, электр жетегі және электротехника»  
каф. меңгерушісі, PhD докторы

«20» 05 2025 ж.



Ж.Шыныбай

## ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

Дипломдық жұмыс

Нұрланова Ақнұр Тимурқызы

6B06201 – Телекоммуникациялар оқу бағдарламасы

Тақырыбы: «Навигациялық жүйелердің спутниктерін зерттеу»

Бұл дипломдық жұмыста «навигациялық жүйелердің спутниктерін зерттеу, негізгі сипаттамасы және болашақ ықтимал болатын түрлері келтірілген.

Бұл дипломдық жұмыста «Навигациялық жүйелердің спутниктерін зерттеу» тақырыбы қарастырылды.

Навигациялық спутниктердің құрылымы мен жұмыс принциптерін зерттелген. GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou және басқа жүйелердің ерекшеліктерін салыстырған. Спутниктердің сигнал тарату және қабылдау жүйелерінің тиімділігін зерттеу.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер өте орынды.

Зерттеу барысында спутниктердің орбиталық параметрлері есептеліп, навигациялық дәлдікке әсер ететін факторлар, соның ішінде ионосфералық және тропосфералық қателер, сигналдың таралу уақыты мен қашықтығы, сондай-ақ энергетикалық сипаттамалар қарастырылды.

Жалпы, дипломдық жұмыс «өте жақсы» (90%) деп бағаланды, ал студент Нұрланова Ақнұр Тимурқызы 6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы бойынша «Ақпараттық және коммуникациялық технологиялар» бакалавры академиялық дәрежесіне ұсынылады.

**Ғылыми жетекші**

ЭТ және ҒТ каф.  
қауымдастырылған профессоры,  
экономика ғылымдарының кандидаты

 Куттыбаева А.Е.  
(қолы)

«20» мамыр 2025 ж.

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті  
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

**Автор: Нұрланова Ақнұр Тимурқызы**

**Тақырыбы: Навигациялық жүйелердің спутниктерін зерттеу**

**Жетекшісі: Айнур Куттыбаева**

**1-ұқсастық коэффициенті (30): 3.8**

**2-ұқсастық коэффициенті (5): 1.4**

**Дәйексөз (35): 0.5**

**Әріптерді ауыстыру: 7**

**Аралықтар: 0**

**Шағын кеңістіктер: 6**

**Ақ белгілер: 0**

**Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :**

☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

**Негіздеме:**

**2025-05-09**

*Күні*



*Кафедра меңгерушісі*



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Нұрланова Ақнұр Тимурқызы

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Навигациялық жүйелердің спутниктерін зерттеу

**Научный руководитель:** Айнур Куттыбаева

**Коэффициент Подобия 1:** 3.8

**Коэффициент Подобия 2:** 1.4

**Микропробелы:** 6

**Знаки из других алфавитов:** 7

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-05-09

Дата



Заведующий кафедрой



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Нұрланова Ақнұр Тимурқызы

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Навигациялық жүйелердің спутниктерін зерттеу

**Научный руководитель:** Айнур Куттыбаева

**Коэффициент Подобия 1:** 3.8

**Коэффициент Подобия 2:** 1.4

**Микропробелы:** 6

**Знаки из других алфавитов:** 7

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-05-09

*Дата*



Сұңғат Марқсұлы

*проверяющий эксперт*